

## GRACILOPLASTYKA, ELEKTROSTYMULACJA, ELEKTROMIOGRAFIA. IMPLIKACJE KLINICZNE ZJAWISK ELEKTROFIZJOLOGICZNYCH ZACHODZĄCYCH W NEO-ZWIERACZU WYTWORZONYM Z MIĘŚNIA SMUKŁEGO

### GRACILOPLASTY, ELECTROSTIMULATION, ELECTROMYOGRAPHY. CLINICAL IMPLICATIONS OF ELECTROPHYSIOLOGICAL PHENOMENA IN THE NEO- SPHINCTER CREATED FROM THE GRACILIS MUSCLE

MICHAŁ ROMANISZYN, PIOTR WAŁĘGA

Z III Kliniki Chirurgii Ogólnej Uniwersytetu Jagiellońskiego Collegium Medicum w Krakowie  
(3<sup>rd</sup> Department of General Surgery, Jagiellonian University Collegium Medicum in Cracow)  
Kierownik: prof. dr hab. W. Nowak

**Celem pracy** było porównanie zjawisk elektrofizjologicznych zachodzących w transponowanym w dno miednicy mięśniu smukłym uda, poddawany ciągłej elektrostymulacji wszczepionym stymulatorem lub regularnej stymulacji urządzeniem zewnętrznym, jak również odległych wyników czynnościowych przeprowadzonych zabiegów.

**Materiał i metodyka.** Włączono do analizy łącznie 27 pacjentów. Grupa badana składała się z 7 pacjentów po zabiegu graciloplastyki dynamicznej, 11 pacjentów po graciloplastyce z następową stymulacją przezodbytową, 4 pacjentów po graciloplastyce ze stymulacją przezskórną, oraz 5 pacjentów po graciloplastyce bez stymulacji. We wszystkich grupach wykonano powierzchniowe badania elektromiograficzne pętli transponowanego mięśnia smukłego, zapisy u każdego chorego porównywano z zapisem z mięśnia smukłego pozostawionego na udzie. Ponadto, każdy badany przebył ocenę rezultatów czynnościowych zabiegu, jak również anorektalne badania manometryczne.

**Wyniki.** W badaniu elektromiograficznym częstotliwość potencjałów czynnościowych jednostek motorycznych mięśnia smukłego uda w położeniu *in situ* wynosiła średnio 64 Hz, a po transpozycji i okresie stymulacji mięśnia – średnio 62 Hz. Nie stwierdzono zatem istotnych statystycznie różnic w częstotliwości potencjałów czynnościowych przed i po zabiegu w żadnej z analizowanych grup, ani też pomiędzy grupami o różnych metodach stymulacji ( $p > 0,05$ ). Stwierdzono natomiast istotną korelację między rezultatem klinicznym po zabiegu graciloplastyki a średnią amplitudą sygnału EMG z nad transponowanego mięśnia, oraz między amplitudą sygnału EMG transponowanego mięśnia a ciśnieniem podstawowym w kanale odbytniczym. W ocenie pozostałych parametrów manometrycznych nie stwierdzono istotnych zależności.

**Wnioski.** Pomimo zastosowania różnych metod stymulacji w przebiegu pooperacyjnym, w tym kosztownych wszczepialnych stymulatorów, nie zaobserwowano różnic w funkcjonowaniu transponowanego mięśnia smukłego na poziomie elektrofizjologicznym w porównaniu do mięśnia pozostawionego *in situ*. Nie wykazano również w niniejszym badaniu przewagi graciloplastyki dynamicznej nad stymulacją mięśnia drogą przezodbytową lub przezskórną.

**Słowa kluczowe:** dynamiczna graciloplastyka, elektrostymulacja, elektromiografia, manometria anorektalna

**The aim of the study** was to compare the electrophysiological phenomena occurring in the gracilis muscle, transposed into the pelvic floor during the graciloplasty procedure, subjected to continuous electrical stimulation by means of implanted stimulator, or regular stimulation by means of an external device, as well as the long-term functional results of the graciloplasty procedure.

**Material and methods.** A total of 27 patients were included in the analysis. The study group consisted of 7 patients after dynamic graciloplasty, 11 patients after graciloplasty followed by transrectal stimulation, 4 patients after graciloplasty with transcutaneous stimulation, and 5 patients after graciloplasty without any stimulation. All patients had a surface electromyographic examination of the transposed gracilis muscle performed, the signal for each patient was compared to the signal acquired from a non-transposed gracilis in the same patient. In addition, each subject underwent a clinical operation results assessment, as well as an anorectal manometry examination.

**Results.** In the electromyographic examination, the mean frequency of motor units action potentials of the gracilis muscle in the thigh was 64 Hz, and in the muscle after transposition and stimulation period mean frequency was 62 Hz. There was no statistically significant difference in the frequency of action potentials before and after treatment in any of the analyzed groups, or between groups with different methods of stimulation ( $p > 0.05$ ). We found a significant correlation between the clinical outcome of the procedure, and the average amplitude of the EMG signal from the transposed muscle, as well as between the amplitude of the EMG signal and the basal pressure in the anal canal in manometric examination. There were no significant correlations in the remaining manometric parameters.

**Conclusions.** Despite the different methods of postoperative stimulation, including expensive implantable stimulators, there was no difference in the electrical activity between the transposed gracilis muscle, and the gracilis muscle left in situ. There was no significant advantage of the dynamic graciloplasty procedure over the graciloplasty with transanal or transcutaneous stimulation.

**Key words:** dynamic graciloplasty, electrical stimulation, electromyography, anorectal manometry

## Nietrzymanie stolca

Nietrzymanie stolca jest schorzeniem znacząco wpływającym na jakość życia osób obu płci i w każdym wieku. Według piśmiennictwa dotyczy od 7,7 do nawet 20,7% dorosłych, w zależności od badanej populacji (1). Leczenie nietrzymania stolca zależy jest od jego etiologii i obejmuje zarówno metody zachowawcze (dietetyczno-farmakologiczne, trening biofeedback, elektrostymulacje przezodbytowe), jak i chirurgiczne (2). Obecnie natomiast nie ma metody, która umożliwiłaby całkowite odtworzenie lub zastąpienie niewydolnych zwieraczy odbytu. Przy uszkodzeniach mięśni zwieraczy do ok. 1/3 ich obwodu możliwa jest rekonstrukcja zwieraczy sposobem „na zakładkę” (overlapping sphincter repair). Skuteczność zabiegów rekonstrukcyjnych zależy jest jednak od wielu czynników, począwszy od przyczyny i rozległości uszkodzenia, a skończywszy na stanie unerwienia dna miednicy, stąd niezwykle istotna jest prawidłowa kwalifikacja chorych do poszczególnych rodzajów leczenia (3). Ponadto, przy poważniejszych uszkodzeniach lub całkowitym (np. wrodzonym) braku zwieraczy odbytu, rekonstrukcja pierścienia zwieraczy tym sposobem jest technicznie niemożliwa. Dodatkowo, istnieje duża grupa chorych, u których nietrzymanie stolca wynika nie z uszkodzenia mięśni zwieraczy, lecz ma etiologię neurogeną (4), co wobec całkowitego braku kontroli nad zwieraczami uniemożliwia

## Faecal incontinence

Faecal incontinence is a condition significantly affecting the quality of life of people of both genders and at any age. According to the literature, it affects from 7.7% to as many as 20.7% of adults, depending on the studied population (1). The treatment of faecal incontinence depends on its aetiology and involves both conservative (dietary-pharmacological, biofeedback training, transrectal electrostimulations) and surgical methods (2). Currently, there is no method that would allow complete restoration or replacement of insufficient anal sphincters. In the case of damage to the sphincter muscles extending up to approx. 1/3 of their circumference, there is a possibility of overlapping sphincter repair, but the success of reconstructive procedures depends upon many factors, from the cause and extent of the damage to the state of innervation of the pelvic floor, so correct qualification patients for appropriate treatment types is of extreme importance (3). Furthermore, in the case of more severe damage or complete (e.g. congenital) lack of the anal sphincters, it is technically impossible to use this method to reconstruct the sphincter ring. In addition, there is a large number of patients, in whom faecal incontinence is not a result of sphincter muscle damage, but rather has neurogenic aetiology (4). This, given the complete lack of control over the sphincters, prevents conservative treat-

leczenie zachowawcze, a w przypadku uszkodzenia unerwienia obwodowego nierzadko wyklucza również metody oparte na elektrostymulacji korzeni nerwów krzyżowych (sacral nerve stimulation, SNS).

U takich chorych, którzy decydują się na leczenie operacyjne w nadziei na choć częściowe poprawienie kontroli defekacji zabiegami „ostatniego kroku” (przed wyłonieniem definitywnej stomii) pozostają zabiegi z wszczepem sztucznych zwieraczy (artificial bowel sphincter) (5) i transpozycje własnych mięśni pacjenta. Ponieważ według obszernego piśmiennictwa i doświadczeń autorów sztuczne wszczepy obciążone są dużym odsetkiem niepowodzeń (6, 7, 8), a wykorzystanie mięśni pośladkowych (gluteoplastyka w różnych modyfikacjach) stosowane jest rzadko i na wyselekcjonowanych grupach chorych operowanych w wyspospecjalistycznych ośrodkach (9), niniejsza praca koncentruje się na zabiegach z użyciem mięśnia smukłego uda.

### Graciloplastyka

Zabieg transpozycji mięśnia smukłego w dno miednicy w celu stworzenia dodatkowej bariery poprawiającej kontrolę wypróżnień został opisany po raz pierwszy przez *Pickrella* i wsp. w 1952 r. (10). W trakcie zabiegu mięsień smukły uda jest wypreparowywany na całej swojej długości, a jego dystalny przyczep (przy tzw. „gęziej stopce”) jest odcinany. Proksymalny przyczep pozostawia się *in situ*. Kluczowe dla powodzenia całego zabiegu na tym etapie jest zidentyfikowanie i zachowanie proksymalnego pęczka naczyniowo-nerwowego, który jest głównym źródłem ukrwienia mięśnia, a także prowadzi gałąź nerwu zasłonowego, zapewniającego unerwienie mięśnia smukłego. Główną trudność stanowi fakt, iż według badań anatomicznych i elektrofizjologicznych ów pęczek naczyniowo-nerwowy nie tylko wykazuje dużą zmienność położenia pomiędzy pacjentami, ale może być położony inaczej na prawym i lewym udzie danego pacjenta (11). Po wypreparowaniu i uwolnieniu mięśnia tunelizuje się tkanki wokół odbytu i tworzy się pętlę wokół kanału odbytniczego w konfiguracji „alfa” lub „delta”, doszywając ściętno mięśnia do tkanki podskórnej odpowiednio po tej samej lub przeciwnej stronie (12). Na tym etapie *Rosen* wprowadził pewną modyfikację pętli „alfa” przeprowadza-

ment and, in the case of damage to peripheral innervation, often also excludes methods based on the sacral nerve stimulation (SNS).

In such patients, who nevertheless decide to undergo surgical treatment, hoping for at least partial improvement in defecation control, the last-step procedures (before formation of a definitive stoma) remain those involving implantation of artificial bowel sphincters (5) and transpositions of the patient's own muscles. Since, based on ample literature and the authors' own experience, artificial implants are associated with a high failure rate (6, 7, 8) and the use of gluteal muscles (different modifications of gluteoplasty) is performed rarely and in selected groups of patients operated in highly specialised centres (9), this paper focuses on procedures using the gracilis muscle of the thigh.

### Graciloplasty

The procedure of transposing the gracilis muscle into the pelvic floor in order to create an additional barrier improving control over bowel movements was first described by *Pickrell* in 1952 (10). During the procedure, the gracilis muscle is dissected at all its length, with its distal attachment (at the so-called “goose foot”) cut off. The proximal attachment is left *in situ*. At this stage, it is crucial for the success of the entire procedure to identify and preserve the proximal neurovascular bundle, which is the main source of blood supply of the muscle and also leads the obturator nerve branch innervating the gracilis muscle. The main difficulty is the fact that, based on anatomical and electrophysiological studies, this neurovascular bundle not only is characterised by high interpersonal variation in location, but it can also have different locations in the same patient's right and left thighs (11). After dissecting and releasing the muscle, tissues around the anus are tunnelled and a loop in the “alpha” or “delta” configuration is formed around the anal canal, by suturing the muscle tendon to the subcutaneous tissue, on the same or opposite side, as appropriate (12). At this stage, *Rosen* introduced a modification of the “alpha” loop, directing the tendon through a split belly of the muscle (“split-sling”) (13). This was the last step of the graciloplasty procedure, which resulted in the gracilis

jąc ściętno przez rozszczepiony brzusec mięśnia („split-sling”) (13). Na tym etapie zabieg graciloplastyki się kończył, a w jego wyniku pętla transponowanego mięśnia smukłego tworzyła dodatkową, pasywno-aktywną barierę ułatwiającą kontrolę wypróżnień.

#### Elektrofizjologia mięśni szkieletowych i jej konsekwencje

Dość szybko okazało się, że szybkokurczliwy, łatwo męczliwy mięsień smukły nie jest w stanie w pełni zastąpić wolnokurczliwych mięśni zwieraczy i dna miednicy. Spowodowane jest to przewagą włókien mięśniowych typu II (FT – fast twitch), podczas gdy w mięśniach dna miednicy i zwieracza zewnętrznym przeważają włókna typu I (ST – slow twitch), co umożliwia utrzymanie przez te mięśnie tonicznego skurczu przez dłuższy czas przy impulsacji o niższej częstotliwości (14). Na podstawie badań eksperymentalnych stwierdzono, iż rodzaj włókien mięśniowych w ramach jednostki motorycznej mięśnia (którą stanowi komórka alfa-motoneuronu wraz z kontaktującymi się z wypustkami jej aksonu komórkami mięśniowymi) jest zależny od częstotliwości impulsacji neuronu (15, 16) – lub jakiegokolwiek innego źródła pobudzenia elektrycznego (17-20). Tym sposobem powstały pierwsze modyfikacje pierwotnej techniki, z zastosowaniem stymulacji transponowanego mięśnia (21).

Kolejnym etapem rozwoju tej techniki była tzw. graciloplastyka dynamiczna, rozwinięta niezależnie przez *Baetena* (22) i *Williamsa* (23). Procedura ta związana jest z wszczepieniem stymulatora wraz z elektrodami w pobliże wspomnianego wcześniej pęczka naczyniowo-nerwowego lub w sam mięsień. Implantacja stymulatora zapewniającego stałe pobudzenie mięśnia poprawiła uzyskiwane wyniki (24, 25). Okazało się jednak, że nadal istnieje duża zmienność w zakresie kontroli kontynencji u operowanych chorych. Istotną okazała się również kwestia wysokiego odsetka powikłań, związanych z wszczepionym stymulatorem, stanowiącym ciało obce i poważny czynnik ryzyka infekcji. Powikłania pooperacyjne dotyczą nawet 74% operowanych pacjentów, a u 40% konieczna jest ponowna operacja (26). Większość raportowanych w publikacjach powikłań tej procedury związana jest właśnie z obecnością stymulatora i połączonych z nim

muscle loop forming an additional passive-active barrier facilitating bowel movement control.

#### Electrophysiology of skeletal muscles and its consequences

It emerged quite soon that the fast-twitch easily fatigable gracilis muscle cannot fully substitute the slow-twitch muscles of the sphincters and pelvic floor. This is caused by a predominance of type 2 (fast-twitch, FT) muscle fibres, whereas in the muscles of the pelvic floor and external sphincter a majority of muscle fibres are type 1 (slow-twitch, ST) fibres, which enables these muscles to maintain tonic contraction for a longer time at a lower-frequency stimulation (14). Experimental studies revealed that the type of muscle fibres within a motor unit of a muscle (consisting of an alpha motor neuron cell along with muscle cells remaining in contact with its axon projections) depends on the frequency of impulsion of the neuron (15, 16) – or any other source of electric stimulation (17-20). This way the first modifications of the original technique emerged, using stimulation of the transposed muscle (21).

The next step in the development of this technique was so-called dynamic graciloplasty, developed independently by *Baeten* (22) and *Williamsa* (23). This procedure involves implantation of a stimulator along with electrodes near the previously mentioned neurovascular bundle, or into the muscle itself. Implantation of a stimulator providing constant stimulation of the muscle improved the outcomes (24, 25), although it soon turned out there was still high variability in continence control in patients undergoing the surgery. Another important question that emerged was a high rate of complications associated with the implanted stimulator, which is a foreign body and a serious risk factor for infections. Postoperative complications affect as many as 74% of operated patients, and 40% of them require re-operation (26). It is the presence of the simulator and attached electrodes that is the cause of a majority of complications of this procedure reported in the literature (implantation site infections, electrode dislocation and fibrosis, skin damage over the electrodes, stimulator failure, chronic pain at implanta-



elektrod (infekcje miejsca implantacji, przedmieszczenie i włóknienie elektrod, uszkodzenie skóry nad elektrodami, awaria stymulatora, przewlekłe dolegliwości bólowe w okolicy implantacji) (27). Podjęto więc próby obejścia problemu poprzez zastosowanie stymulacji mięśnia z użyciem urządzeń zewnętrznych – przezskórnie lub przezodbytowo (28, 29), na bazie wcześniejszych doświadczeń z rehabilitacją dna miednicy stymulacją zewnętrzną (30).

Badania porównawcze wykazały, że rezultaty graciloplastyki z następową stymulacją zewnętrzną nie są znacząco gorsze od wyników graciloplastyki z wszczepem stymulatora, a ryzyko powikłań jest znacznie mniejsze (31). Danych na ten temat jest niestety niewiele, a ponadto nie ma jak dotychczas rzetelnych badań analizujących powyższe wyniki na poziomie fizjologicznym. Tym samym brakuje w publikacjach danych na poparcie tezy, że uzasadnione jest wykonanie tego „kroku wstecz” poprzez powrót do adynamicznej graciloplastyki, z kondycjonowaniem mięśnia stymulacją zewnętrzną, co z jednej strony uwzględniłoby konieczność przebudowy mięśnia z typu II w typ I, a z drugiej pozwoliłoby zrezygnować z implantacji stymulatora, co umożliwiłoby zmniejszenie ryzyka powikłań oraz obniżenie kosztów procedury. Autorzy niniejszej pracy utworzyli więc projekt mający na celu porównanie nie tylko rezultatów klinicznych poszczególnych technik stymulacji, ale także porównanie na poziomie elektrofizjologicznym mięśni smukłych poddanych stymulacji wszczepionym stymulatorem lub stymulatorem zewnętrznym – przezodbytowo i przezskórnie.

Celem badania było porównanie zjawisk elektrofizjologicznych zachodzących w transponowanym w dno miednicy mięśniu smukłym uda, poddawanym ciągłej elektrostymulacji wszczepionym stymulatorem (dynamiczna graciloplastyka) lub regularnej stymulacji urządzeniem zewnętrznym (adynamiczna graciloplastyka z następową rehabilitacją), przy zachowanym pierwotnym unerwieniu z gałęzi nerwu zasłonowego, jak również odległych wyników czynnościowych przeprowadzonych zabiegów.

## MATERIAŁ I METODYKA

Do grupy badanej kwalifikowani byli pacjenci po zabiegach graciloplastyki z powodu

tion site) (27). Therefore, attempts were made at overcoming this problem through muscle stimulation using external devices, transcutaneous or transrectal (28, 29), based on previous experiences with pelvic floor rehabilitation using external stimulation (30). Comparative studies revealed that the outcomes of graciloplasty followed by external stimulation are not markedly poorer than the outcomes of graciloplasty with implantation of a stimulator, with a much lower risk of complications (31). Unfortunately, literature data on this topic is scarce and, to make things worse, there are no reliable studies to date analysing the above results on the physiological level. Thus, there is lack of literature data to support the thesis that it is justified to perform this “step backwards” by returning to adynamic graciloplasty involving conditioning of the muscle through external stimulation, which on the one hand would take into account the necessity to rebuild the type 2 muscle into a type 1 muscle, and on the other hand it would make it possible to abandon implantation of a stimulator, thus decreasing the risk of complication and reducing the procedure costs. Therefore, the present authors designed a study aimed at comparing not only the clinical outcomes of individual stimulation techniques, but also comparing the electrophysiological parameters of gracilis muscles subjected to stimulation with an implanted stimulator or an external stimulator – transrectally and transcutaneously.

The aim of the study was to compare the electrophysiological phenomena occurring in the gracilis muscle transposed into the pelvic floor during graciloplasty, subjected to continuous electrical stimulation by means of an implanted stimulator (dynamic graciloplasty) or regular stimulation by means of an external device (adynamic graciloplasty followed by rehabilitation), with preservation of the original innervation with the obturator nerve branch, as well as the long-term functional results of the performed procedures.

## MATERIAL AND METHODS

The study group included patients following graciloplasty due to anal sphincter insufficiency or rectovaginal fistula. Patients were divided into subgroups depending on the

niewydolności zwieraczy odbytu lub przetoki odbytniczo-pochwowej. Pacjenci podzieleni zostali na podgrupy w zależności od metody stymulacji mięśnia po transpozycji:

- Grupa DGP. Do tej grupy rekrutowani byli pacjenci po zabiegu dynamicznej graciloplastyki, z wszczepionym elektrostymulatorem (InterStim™, Medtronic®). Parametry stymulatora były ustawione według zaleceń producenta, z częstotliwością dobraną indywidualnie do każdego pacjenta. Częstotliwości mięsili się w zakresie 15-25 Hz.
- Grupa ES. Mięsień smukły po transpozycji stymulowany był bezpośrednio, drogą przezodbytową, z użyciem sondy endorektalnej (Analys+). Stymulacja wykonywana była prądem stałym w postaci impulsów o częstotliwości 15 Hz, z amplitudą dobieraną indywidualnie do pacjenta pod kontrolą manometrii anorektalnej, celem uzyskania wystandaryzowanego skurczu mięśnia. Stymulacja dokonywana była – po przeszkoleniu badanego – w warunkach domowych 2 razy dziennie za pomocą przenośnego stymulatora (NeuroTrac®).
- Grupa TENS. Mięsień smukły po transpozycji stymulowany był poprzez aplikację samoprzylepnych elektrod do stymulacji TENS w okolicę pęczka naczyniowo-nerwowego, położonego na udzie, z którego pochodził mięsień wykorzystany do zabiegu. Stymulacja wykonywana prądem stałym w postaci impulsów o częstotliwości 20 Hz, z amplitudą dobieraną indywidualnie do pacjenta pod kontrolą manometrii anorektalnej, celem uzyskania wystandaryzowanego skurczu mięśnia. Stymulacja dokonywana – po przeszkoleniu badanego – w warunkach domowych 2 razy dziennie za pomocą przenośnego stymulatora (NeuroTrac®).
- Grupa NSGP. Grupa kontrolna, bez stymulacji w przebiegu pooperacyjnym. Do grupy tej włączeni zostali pacjenci, którzy mieli wykonaną graciloplastykę ze wskazań innych niż czynnościowe (np. przetoka odbytniczo-pochwowa) lub którzy po zabiegu w ogóle nie podjęli rehabilitacji elektrostymulacją.

We wszystkich grupach wykonano badania elektromiograficzne pętli transponowanego mięśnia smukłego. Badania wykonano sondą endoanalną, trójpierścieniową, 48-kanalową (16 kanałów na pierścieniu), z użyciem wzmac-

method of stimulation of the transposed muscle:

- DGP group – this group enrolled patients following dynamic graciloplasty, with an implanted electrostimulator (InterStim™, Medtronic®). Parameters of the stimulator were set according to the manufacturer's recommendations, with frequency adjusted to each patient individually. Frequencies ranged from 15 to 25 Hz.
- ES group – the transposed gracilis muscle was stimulated directly, through the transrectal route, using an endorectal probe (Analys+). The stimulation was performed using direct current in the form of impulses with a 15 Hz frequency, with an amplitude chosen individually for each patient under anorectal manometry control, in order to achieve standardised muscle contraction. The stimulation was performed – following training of the subject – at home 2 times a day using a portable stimulator (NeuroTrac®).
- TENS group – the transposed gracilis muscle was stimulated by application of adhesive TENS electrodes around the neurovascular bundle, located in the thigh from which the muscle used in the procedure was taken. The stimulation was performed using direct current in the form of impulses with a 20 Hz frequency, with an amplitude chosen individually for each patient under anorectal manometry control, in order to achieve standardised muscle contraction. The stimulation was performed – following training of the subject – at home 2 times a day using a portable stimulator (NeuroTrac®).
- NSGP group – control group, with no post-operative stimulation. This group included patients who had undergone graciloplasty for indications other than functional ones (i.e. rectovaginal fistula) or who received no rehabilitation electrostimulation after the procedure.

Patients in all groups underwent a surface electromyographic examination of the loop of the transposed gracilis muscle. The examination was performed with a three-ring 48-channel (16 channels per ring) endoanal probe, using the EMG-USB2® (OTBioElettronica, Turin, Italy) amplifier in differential mode, with sampling of 2048 Hz per channel. Default amplification of 5000 was used, with the band-pass filter set at 10-350 Hz for the best visu-

niacza EMG-USB2® (OTBioElettronica, Turyn, Włochy) w trybie różnicowym, z próbkowaniem 2048 Hz na kanał. Wzmocnienie ustawiono standardowo na 5000, filtr pasma na 10-350 Hz w celu jak najlepszego uwidocznienia potencjałów czynnościowych jednostek motorycznych (motor unit action potentials – MUAP). Zapisy u każdego chorego porównywano z archiwalnymi sprzed rozpoczęcia stymulacji (lub wszczęcia stymulatora), wykonywanymi tą samą metodą. U chorych, którzy nie mieli wykonywanej elektromiografii przed stymulacją (w przypadku stymulacji bezpośrednio po zabiegu, jak przy jednoczesowej dynamicznej graciloplastyce), wykonywano porównawczy zapis elektromiograficzny z mięśnia smukłego, który nie był transponowany i nadal był częścią mięśni grupy przyśrodkowej uda w swoim fizjologicznym położeniu. Zapis ten wykonano paskową sondą wielokanałową, z 32 elektrodami rozmieszczonymi w odstępach 10 mm, przy użyciu tego samego wzmacniacza i oprogramowania, by umożliwić analizę porównawczą sygnałów. W zapisie oceniano przede wszystkim częstotliwość potencjałów czynnościowych jednostek motorycznych, a w przypadku mięśnia transponowanego – również amplitudę potencjałów.

Ponadto, każdy badany przebył wywiad lekarski (subiektywna ocena kontynencji), ocenę psychologiczną jakości życia i ankietową ocenę kontynencji (skala FISI), na których podstawie sumarycznie oceniano rezultat czynnościowy zabiegu (dobry/zły), jak również anorektalne badania manometryczne. W badaniu manometrycznym oceniano ciśnienie podstawowe w kanale odbytniczym (BAP), maksymalne ciśnienie w kanale odbytniczym w trakcie skurczu transponowanego mięśnia smukłego (SAP) oraz zdolność do utrzymania skurczu na stałym poziomie przez 10 sekund. Zebrane dane poddano analizie statystycznej za pomocą programu StatSoft® STATISTICA 12, używając testów nieparametrycznych z uwagi na rozkład danych odbiegający od normalnego (test U Manna Whitney'a, ANOVA Kruskala i Wallisa, test kolejności par Wilcoxon).

## WYNIKI

Z grupy 34 pacjentów, którzy w przeszłości przebyli zabieg graciloplastyki, włączono do

analizacji motor unit action potentials (MUAP). Every patient's readings were compared with historical readings from before the stimulation (or stimulator implantation) obtained using the same method. In patients who had not undergone electromyography before stimulation (in the case of performing stimulation immediately after the procedure, as in one-time dynamic graciloplasty), a comparative electromyographic reading was obtained from the non-transposed gracilis muscle remaining a part of the medial group of thigh muscles in its physiological location. This reading was obtained using a multichannel probe, with 32 electrodes placed at 10-mm intervals, using the same amplifier and software to enable comparative analysis of the signals. The readings assessed mainly the frequency of motor unit action potentials and – in the case of the transposed muscle – also the amplitude of potentials.

Furthermore, every subject underwent medical history taking (subjective continence assessment), psychological assessment, quality of life assessment, and continence assessment survey (the FISI score). Based on their results, the functional outcome (good/poor) of the procedure was assessed, along with an anorectal manometry examination. The manometric examination involved assessment of basal pressure in the anal canal (basal anal pressure, BAP), maximum pressure in the anal canal during contraction of the transposed gracilis muscle (squeeze anal pressure, SAP) and the ability to maintain contraction at a constant level for 10 second. The collected data were subjected to statistical analysis with StatSoft® STATISTICA 12 software using nonparametric tests due to data distribution deviating from the normal distribution (Mann-Whitney U test, Kruskal-Wallis ANOVA, Wilcoxon's signed-rank test).

## RESULTS

In the group of 34 patients who had prior graciloplasty, a total of 27 patients were included in the analysis (four patients refused to undergo follow-up functional studies; in further three electromyographic readings were of insufficient quality or examinations from before the gracilis muscle transposition were lacking with the opposite muscle being unsuit-

analizy łącznie 27 pacjentów (czworo pacjentów odmówiło poddaniu się kontrolnym badaniom czynnościowym, u kolejnych trojga zapis elektromiograficzny był niedostatecznej jakości bądź też brakowało badań sprzed zabiegu transpozycji mięśnia smukłego, a przeciwległy mięsień nie nadawał się do oceny elektromiograficznej). Tym samym grupa badana składała się z 7 pacjentów po zabiegu graciloplastyki dynamicznej (stymulacja wszczepionym stymulatorem), 11 pacjentów po graciloplastyce z bezpośrednią stymulacją transponowanego mięśnia sondą przezodbytową, 4 pacjentów po graciloplastyce z przezskórną stymulacją pęczka nerwowego oraz 5 pacjentów po graciloplastyce bez stymulacji (tab. 1). Wiek badanych

able for electromyographic assessment). Thus, the study group consisted of 7 patients after dynamic graciloplasty (stimulation with an implanted stimulator), 11 patients after graciloplasty with direct stimulation of the transposed muscle with a transrectal probe, 4 patients after graciloplasty with transcutaneous stimulation of the nerve bundle and 5 patients after graciloplasty without any stimulation (tab. 1). The mean patient age at the time of electromyographic and function assessments was 52 years (31–78; standard deviation, 15.35), while the time from the procedure ranged from 1 to 18 years. The groups did not differ significantly in terms of age or gender. The time from the procedure to the electro-

Tabela 1. Struktura badanej grupy pacjentów poddanych graciloplastyce  
Table 1. The structure of the studied group of patients subjected to graciloplasty

ID	Wiek / Age	Płeć / Gender	Grupa / Group	Przyczyna nietrzymania / Cause of incontinence	Użyty mięsień smukły / Gracilis muscle used
RC1	65	K	DGP	pęknięcie okołoporodowe / perinatal rupture	lewy / left
OT2	71	K	DGP	idiopatyczna / idiopathic	prawy / right
PM3	41	M	DGP	wrodzona atrezja odbytu / congenital anal atresia	lewy / left
KE4	48	K	DGP	pęknięcie okołoporodowe / perinatal rupture	prawy / right
OK5	38	K	DGP	wrodzona atrezja odbytu / congenital anal atresia	lewy / left
UK6	76	K	DGP	powikłane wycięcie przetoki w przeszłości / prior complicated fistula resection	prawy / right
SP7	34	M	DGP	wrodzona atrezja odbytu / congenital anal atresia	lewy / left
LW8	43	M	IASGP	uraz komunikacyjny / transportation injury	prawy / right
LL9	58	K	IASGP	pęknięcie okołoporodowe / perinatal rupture	prawy / right
CP10	78	K	IASGP	stan po hemoroidektomii w przeszłości / prior haemorrhoidectomy	prawy / right
KA11	33	M	IASGP	uraz komunikacyjny / transportation injury	prawy / right
FA12	37	K	IASGP	pęknięcie okołoporodowe / perinatal rupture	lewy / left
BM13	78	M	IASGP	brzuszo-kroczoza amputacja odbytnicy / abdominoperineal amputation of the rectum	prawy / right
MK14	51	K	IASGP	pęknięcie okołoporodowe / perinatal rupture	lewy / left
KM15	32	K	IASGP	przetoka odbytniczo-pochwowa / rectovaginal fistula	prawy / right
PE16	62	K	IASGP	przednia niska resekcja odbytnicy / lower anterior resection of the rectum	lewy / left
KM17	54	K	IASGP	wrodzona atrezja odbytu / congenital anal atresia	prawy / right
LM18	31	K	IASGP	przetoka odbytniczo-pochwowa / rectovaginal fistula	lewy / left
LM19	60	K	NSGP	wypadanie odbytnicy / rectal prolapse	lewy / left
KM20	46	K	NSGP	przetoka odbytniczo-pochwowa / rectovaginal fistula	prawy / right
CB21	59	K	NSGP	przetoka odbytniczo-pochwowa / rectovaginal fistula	prawy / right
ME22	39	K	NSGP	przetoka odbytniczo-pochwowa / rectovaginal fistula	lewy / left
TK23	66	K	NSGP	wypadanie odbytnicy / rectal prolapse	lewy / left
RW24	38	M	TEGES	wrodzona atrezja odbytu / congenital anal atresia	lewy / left
WJ25	61	K	TEGES	wycięcie przetoki / fistula excision	lewy / left
SA26	74	K	TEGES	wypadanie odbytnicy / rectal prolapse	lewy / left
KB27	48	K	TEGES	wypadanie odbytnicy / rectal prolapse	lewy / left

DGP – dynamiczna graciloplastyka z wszczepem stymulatora, IASGP – graciloplastyka z następową stymulacją przezodbytową, NSGP – graciloplastyka bez stymulacji, TEGES – graciloplastyka ze stymulacją przezskórną sposobem TENS / DGP – dynamic graciloplasty with implantation of a stimulator; IASGP – graciloplasty followed by transrectal stimulation; NSGP – graciloplasty with no stimulation; TEGES – graciloplasty with TENS transcutaneous stimulation

w momencie oceny elektromiograficznej i czynnościowej wynosił średnio 52 lata (31-78 lat, odchylenie standardowe 15,35), a okres który upłynął od zabiegu wynosił od roku do 18 lat. Grupy nie różniły się istotnie pod względem płci i wieku. Okres od zabiegu do oceny elektrofizjologicznej i czynnościowej wynosił od roku do 18 lat. Na podstawie oceny klinicznej ogólną skuteczność zabiegu graciloplastyki oszacowano na 74%, przy czym nie wykazano istotnych różnic w rezultatach klinicznych pomiędzy grupami pacjentów ( $\chi^2$  Pearsona  $p=0,988$ ) (tab. 2).

W badaniu elektromiograficznym porównano częstotliwość potencjałów czynnościowych jednostek motorycznych mięśnia smukłego uda w położeniu *in situ* (która wynosiła średnio 64 Hz) z częstotliwością potencjałów czynnościowych jednostek motorycznych mięśnia smukłego transponowanego w postaci neo-zwieracza (średnio 62 Hz) nie stwierdzając istotnych statystycznie różnic w żadnej z grup ( $p>0,05$ ) (ryc. 1). Sprawdzone także korelację wyników klinicznych i czynnościowych z parametrami elektromiograficznymi transponowanego mięśnia smukłego – stwierdzono, iż istnieje istotna statystycznie różnica w wartościach ampli-

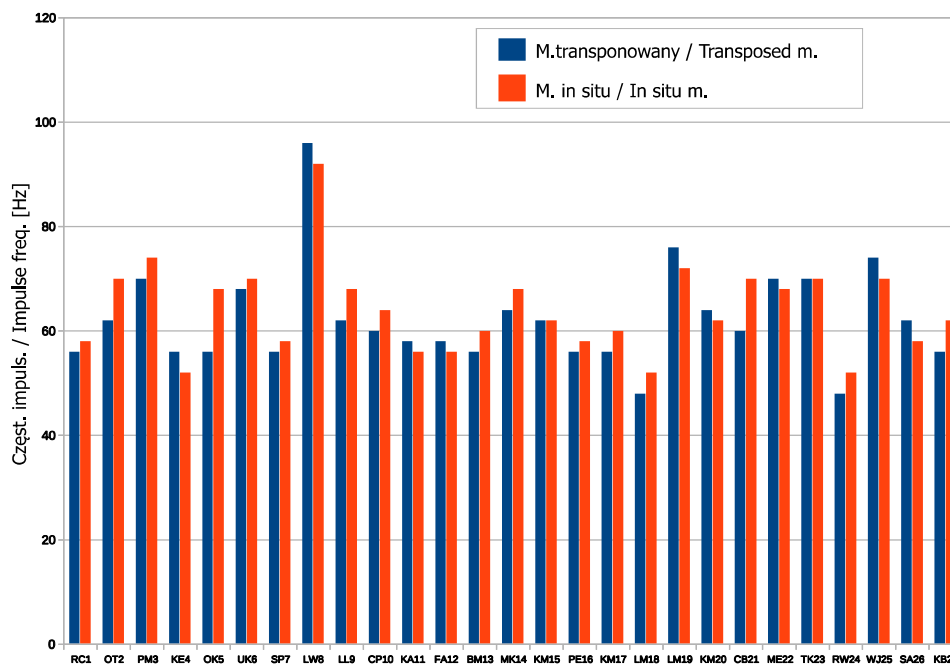
Tabela 2. Porównanie rezultatów czynnościowych w poszczególnych grupach pacjentów, w zależności od sposobu stymulacji

Table 2. Comparison of functional results in individual patient groups by stimulation method

Grupa / Group	n	Rezultat dobry / Good outcome	Rezultat zły / Poor outcome	Skuteczność / Effectiveness
DGP	7	5	2	71,43%
IASGP	11	8	3	72,73%
NSGP	5	4	1	80%
TEGES	4	3	1	75%
Razem / total	27	20	7	74,07%

DGP – dynamiczna graciloplastyka, IASGP – stymulacja przezodbytowa, NSGP – bez stymulacji, TEGES – stymulacja przezskórna sposobem TENS / DGP – dynamic with implantation of a stimulator; IASGP – transrectal stimulation; NSGP – no stimulation; TEGES – graciloplasty with TENS transcutaneous stimulation.

physiological and functional assessment ranged from 1 to 18 years. Based on clinical assessment, general success rate of graciloplasty procedure was estimated at 74%, with no significant differences in clinical results between patient groups (Pearson's  $\chi^2$   $p = 0.988$ ) (tab. 2).



Ryc. 1. Pomiary porównawcze częstotliwości potencjałów czynnościowych jednostek motorycznych mięśni smukłych w trakcie skurczu dowolnego, oceniane na mięśniu *in situ* (na udzie) i po transpozycji w trakcie graciloplastyki, u poszczególnych badanych

Fig. 1. Comparative measurements of the frequency of motor unit action potentials of the gracilis muscle during voluntary contraction, assessed on *in situ* muscles (in the thigh) and on muscles transposed during graciloplasty, in individual subjects



tudy sygnału u pacjentów z dobrym (średnia amplituda 16,4  $\mu\text{V}$ ) i ze złym rezultatem klinicznym zabiegu (średnia amplituda 7,4  $\mu\text{V}$ ). W analizie porównawczej zapisów manometrycznych stwierdzono istotną korelację między ciśnieniem podstawowym w kanale odbytniczym po zabiegu graciloplastyki a średnią amplitudą sygnału z nad transponowanego mięśnia. W ocenie pozostałych parametrów manometrycznych nie stwierdzono innych zależności, nie wykazano również istotnych różnic w zakresie generowanych ciśnień w kanale odbytniczym ani w długości trwania skurczu między grupami pacjentów stymulowanymi różnymi metodami, jak również nie wykazano zależności pomiędzy rezultatami klinicznymi a ocenianymi parametrami manometrycznymi. Szczegółowe wartości pomiarów w poszczególnych grupach przedstawia tab. 3.

## OMÓWIENIE

Powierzchniowa elektromiografia wykorzystana w niniejszym badaniu jest nieinwazyjną metodą oceny elektrofizjologicznej mięśni poprzecznie prążkowanych, a przy użyciu specjalnie skonstruowanej sondy doodbytowej jest bardzo dobrym narzędziem do oceny zwieraczy odbytu. Metoda ta jest już ugruntowana w światowej literaturze i okazuje się być bardzo przydatna w ocenie zaburzeń czynnościowych zwieraczy odbytu (4, 32, 33). Niniejsze badanie wykazało dodatkowo, że ta sama sonda umożliwia ocenę elektrofizjologiczną neozwieracza wytworzonego z mięśnia smukłego uda – jego ułożenie w postaci pętli wokół kanału odbytniczego pozwala na użycie tej samej

In the electromyographic examination, the frequency of motor unit action potentials of the in situ gracilis muscle (mean frequency of 64 Hz) with the frequency of motor unit action potentials of the gracilis muscle transposed in the form of a neo-sphincter (mean frequency of 62 Hz), and no statistically significant differences in any group were observed ( $p > 0.05$ ) (fig. 1). A correlation between clinical and functional results and electromyographic parameters of the transposed gracilis muscle was also assessed. The assessment revealed a statistically significant difference in signal amplitude values between patients with good (mean amplitude of 16.4  $\mu\text{V}$ ) and poor clinical outcome of the procedure (mean amplitude of 7.4  $\mu\text{V}$ ). Comparative analysis of manometric signals revealed a significant correlation between the basal pressure in the anal canal following graciloplasty and the mean amplitude of the signal from over the transposed muscle. The assessment of the remaining manometric parameters failed to reveal any other relationships and no significant differences were found in either pressures generated in the anal canal or the duration of contraction between the groups of patients stimulated using different methods. In addition, no relationships were demonstrated between clinical outcomes and the assessed manometric parameters. Detailed measurement values in individual groups are presented in tab. 3.

## DISCUSSION

Surface electromyography used in this study is a non-invasive method of electrophysiological assessment of striated muscles

Tabela 3. Wyniki badań czynnościowych i elektromiograficznych w zależności od sposobu stymulacji  
Table 3. Functional and electromyographic examination results by stimulation method

	Manometria / Manometry (mm Hg)		Częstotliwość MUAP / MUAP frequency (Hz)		Amplituda sygnału transp. mięśnia / Transp. muscle signal amplitude ( $\mu\text{V}$ )
	BAP	SAP	mięsień transponowany / transposed m.	mięsień <i>in situ</i> / <i>in situ</i> m.	
DGP	39,29	86,43	60,57	64,29	15,16
IASGP	41,27	106,91	61,45	63,27	14,89
NSGP	39,40	95	68	68,40	14
TEGES	20,75	106,25	60	60,50	9,95
Kruskal i Wallis ANOVA / Kruskal-Wallis ANOVA	p=0,116	p=0,854	p=0,117	p=0,229	p=0,203

trójpłaszczyznowej sondy do odczytu potencjałów czynnościowych z brzośca mięśnia. Tym samym możliwe stało się zbadanie czynności elektrofizjologicznej mięśnia już po transpozycji. Pewną dodatkową trudność w szczegółowej ocenie czynności mięśni szkieletowych stanowi z reguły fakt istnienia drugiego mechanizmu regulacji siły mięśniowej (oprócz sumowania potencjałów jednostek motorycznych), którym jest mechanizm rekrutacji jednostek motorycznych. Im więcej jednostek motorycznych zostaje aktywowanych jednocześnie, tym silniejszy skurcz całego mięśnia (co przekłada się również na zwiększoną średnią amplitudę zapisu elektromiograficznego). Zastosowana w niniejszym badaniu technika wielokanałowej przestrzennej elektromiografii powierzchniowej umożliwiła jednak zobrazowanie potencjałów czynnościowych poszczególnych jednostek motorycznych w ramach badanego mięśnia, co umożliwiło dokładną ocenę częstotliwości wyładowań w ramach poszczególnych jednostek motorycznych.

Mięsień smukły uda, jak już wspomniano, jest mięśniem w przeważającej części szybko-kurczliwym, szybko-męczliwym. Mechanizm sumowania pobudzeń w ramach poszczególnych jednostek motorycznych z gałęzi nerwu zasłonowego umożliwia toniczny skurcz mięśnia przy częstotliwościach impulsacji typowych dla mięśni o przewodze włókien typu II (z reguły w przedziale 50-100 Hz, przy czym im wyższa częstotliwość, tym silniejszy sumaryczny skurcz mięśnia, lecz szybciej też ulega on zmęczeniu) (34). Należy zwrócić również uwagę, że optymalne częstotliwości wywołujące maksymalny skurcz toniczny włókien mięśniowych są różne dla poszczególnych mięśni, nawet tych samych grup mięśniowych (35), nie wspominając o różnicach pomiędzy poszczególnymi osobami (36). Z kolei mięśnie o przewodzie wolnokurczliwych włókien typu I wykazują w ramach jednostek motorycznych impulsację o niższym zakresie częstotliwości (15-40 Hz) dającą toniczny skurcz mięśnia (37).

Główną obserwacją z niniejszego badania jest fakt, iż pomimo różnych metod stymulacji mięśnia smukłego (wszczepiany stymulator, stymulacja przezodbykowa, stymulacja przezskórna), przy próbie skurczu dowolnego charakterystyka jednostek motorycznych pod względem częstotliwości impulsacji z alfa-motoneuronu nie zmieniła się w stosunku do stanu sprzed zabiegu (bądź też w porównaniu

and when a specially designed anal probe is used, it is a very good tool to assess the anal sphincters. This method is already established in world literature and proves very useful in assessing functional disorders of the anal sphincters (4, 32, 33). This study has additionally demonstrated that the same probe allows electrophysiological assessment of the neo-sphincter formed from the gracilis muscle of the thigh – its placement in the form of a loop around the anal canal allows for using the three-ring probe to read action potentials from the belly of the muscle. This made it possible to examine the electrophysiological function of the muscle already after transposition. A certain additional obstacle in detailed assessment of skeletal muscle function is usually the existence of another mechanism of muscle strength regulation (in addition to summation of motor unit potentials), namely the mechanism of motor unit recruitment. The more motor units activated at the same time, the stronger the contraction of the entire muscle (which also translates into an increased mean amplitude of the electromyographic reading). However, the technique of multichannel spatial surface electromyography enabled visualisation of action potentials of individual motor units within the examined muscle, which allowed for precise assessment of the firing frequency within individual motor units.

The gracilis muscle of the thigh, as has been already mentioned, is a predominantly fast-twitch, fatigable muscle. The mechanism of summation of stimulations within individual motor units from the obturator nerve branch enables tonic muscle contraction at impulsation frequencies typical of muscles composed predominantly of type 2 fibres (usually in the range of 50-100 Hz, although the higher the frequency, the stronger the accumulative muscle contraction, but it also fatigues more quickly) (34). One also needs to pay attention to the fact that optimum frequencies causing the maximum tonic contraction of muscle fibres are different for individual muscles, even in the same muscle group (35), not to mention interpersonal differences (36). By contrast, muscles predominantly composed of slow-twitch (type 1) fibres are characterised by impulsation of a lower frequency range (15-40 Hz) within motor units causing tonic muscle contraction (37).

The main observation of this study is the fact that, in spite of different methods of graci-

do mięśnia pozostawionego *in situ*) i jest podobna do parametrów u pacjentów w grupie kontrolnej. Oznacza to, iż nadrzędny element jednostki motorycznej – alfa-motoneuron unerwiający włókna transponowanego mięśnia smukłego – nie ulega żadnym modyfikacjom pod wpływem stymulacji elektrycznej efektora czy też włókien eferentnych i zachowuje swoją pierwotną częstotliwość impulsacji, co jest zgodne z aktualną wiedzą na temat elektrofizjologii jednostek motorycznych mięśni poprzecznie prążkowanych (38). Nie sposób więc stwierdzić bez badania histopatologicznego (które z oczywistych względów etycznych jest niemożliwe do wykonania u pacjentów poddanych leczeniu), jak zmieniła się struktura włókien mięśniowych w transponowanym mięśniu. Tym samym, jedyną przesłanką, iż mięsień uległ jakiegokolwiek modyfikacji pod wpływem elektrostymulacji, mógłby być czas utrzymania tonicznego skurczu transponowanego mięśnia smukłego przez badanych pacjentów, oraz jego męczliwość. W badanych grupach jednak nie wykazano żadnej zależności siły i czasu trwania skurczu pętli neo-zwieracza, od metody i czasu trwania wcześniejszej stymulacji. Nie sposób zatem udowodnić w zbadanej grupie pacjentów, jakoby pod wpływem stymulacji zmienić się miały w transponowanym mięśniu proporcje włókien typu II i I. Ponieważ „naturalna” impulsacja z gałęzi nerwu zasłonowego ma częstotliwość charakterystyczną dla pracy włókien szybkokurczliwych, oznacza to iż działa przeciwstawnie do stosowanej stymulacji zewnętrznej, odwracając jej wpływ na przebudowę mięśnia. Można z tego wysnuć wnioski, iż hipotetyczna przewaga ciągłej stymulacji wszczepionym w trakcie graciloplastyki dynamicznej stymulatorem może u niektórych pacjentów opierać się raczej na sztucznym wzmożeniu tonusu mięśnia poprzez stałą elektrostymulację (dopóki stymulator jest włączony), a nie przebudowę mięśnia – co z jednej strony tłumaczy dobre wyniki graciloplastyki dynamicznej w obserwacji krótkoterminowej w opublikowanym piśmiennictwie, ale też oznacza, że po wyłączeniu lub wyczerpaniu baterii urządzenia efekty stymulacji będą się cofać do stanu pierwotnego, wskutek pobudzania mięśnia przez zachowaną gałąź nerwu zasłonowego. Ponieważ pacjenci po dynamicznej graciloplastyce, u których uzyskano dobry efekt zabiegu utrzymali dobry rezultat, nawet po kilku-kilkunastu latach,

lis muscle stimulation (implantable stimulator, transrectal stimulation, transcutaneous stimulation), at an attempt at voluntary contraction, the motor unit characteristics as regards frequency of impulsation from an alpha motor neuron had not changed compared to the state from before the procedure (or compared to the muscle left *in situ*) and was similar to parameters in patients in the control group. This means that the superior element of a motor unit – alpha motor neuron innervating the fibres of the transposed gracilis muscle – is not modified in any way by electric stimulation of the effector or efferent fibres and retains its original impulsation frequency. This is in agreement with the current knowledge of the physiology of striated muscle motor units (38). Without a histopathological examination (which for obvious ethical reasons cannot be performed in treated patients) it is then impossible to tell how the muscle fibre structure in the transposed muscle has changed. Thus, the only evidence that the muscle has undergone any modification due to electrostimulation could be the time of retaining tonic contraction of the transposed gracilis muscle by the studied patients as well as its fatigability. In the studied groups, however, no relationship was observed between the force and duration of the neosphincter loop contraction and the method and duration of prior stimulation. It is then impossible to prove that stimulation changed the proportion of type 2 and type 1 fibres in the transposed muscle in the studied patient group. Since the “natural” impulsation from the obturator nerve branch has the frequency typical of fast-twitch muscles, it has an opposing effect to the external stimulation used, reversing its impact on rebuilding of the muscle. This may lead to a conclusion that the hypothetical advantage of continuous stimulation with a stimulator implanted during dynamic graciloplasty may in some patients be based more on artificial increase of muscle tone through continuous electrostimulation (as long as the stimulator is on) rather than on rebuilding of the muscle, which on the one hand explains the favourable outcomes of dynamic graciloplasty in short-term follow-up reported in the published literature, but on the other hand it means that once the device is off or its batteries run out, the effects will start to revert to the initial state, as a result of stimulation of the muscle by the preserved branch of the obturator nerve.

mimo wyczerpania lub wyłączenia urządzenia, powstaje pytanie, na ile dobry rezultat zabiegu był u nich zasługą implantowanego urządzenia. Na marginesie, istotne są również wyniki badań eksperymentalnych, w których wykazano, że przewlekła elektrostymulacja prowadzi do włóknienia mięśnia poddanego stymulacji (39).

Ponadto, wywiad kliniczny przeprowadzony z pacjentami ani badania manometryczne również nie wykazały przewagi żadnej z metod stymulacji odnośnie do stopnia kontroli defekacji (tab. 2 i 3). Zarówno w grupie pacjentów po graciloplastyce dynamicznej, jak również u pacjentów stymulowanych urządzeniami zewnętrznymi są przypadki, w których uzyskano zadowalający stopień poprawy kontroli trzymania stolca, jak i przypadki w których pomimo zabiegu i stymulacji stopień kontroli nad wypróżnieniami określany był przez pacjentów jako niezadowalający. Odsetek pacjentów o dobrych wynikach pozabiegowych był podobny we wszystkich grupach. Słabą stroną przeprowadzonego badania porównawczego jest dysproporcja w liczebności grup, oraz duża rozpiętość okresu obserwacji (pierwsze zabiegi w badanej grupie pacjentów przeprowadzane były w latach 1998-1999, ostatnie w roku 2015). Wynika to z faktu, iż graciloplastyka (zwłaszcza dynamiczna) jest zabiegiem wyspospecjalistycznym, kosztownym, wykonywanym u wyselekcjonowanych pacjentów, wyłącznie w ośrodkach wyspecjalizowanych w leczeniu operacyjnym nietrzymania stolca i tym samym jest to zabieg wykonywany relatywnie rzadko.

Ciekawą obserwacją jest natomiast fakt, iż u pacjentów którzy uzyskali niekorzystny rezultat kliniczny i czynnościowy po zabiegu zaobserwowano niską wartość średniej amplitudy sygnału w elektromiografii, co najpewniej oznacza mniejszą ilość aktywowanych równocześnie jednostek motorycznych. Efekt ten może być rezultatem atrofii lub włóknienia mięśnia, np. wskutek niedokrwienia lub niedostatecznej stymulacji, co przekłada się na osłabienie jego napięcia i obniżenie skuteczności zabiegu. Niewykluczone, iż wbrew wynikom publikowanych wcześniej badań eksperymentalnych kluczową kwestią w elektrostymulacji transponowanego mięśnia jest nie tyle przebudowa mięśnia z szybkokurczliwego w wolnokurczliwy, co sam fakt regularnego pobudzania włókien mięśniowych do skurczu im-

The fact that patients following dynamic graciloplasty who had good outcomes of the procedure maintained the good outcomes even after several to dozen or so years, in spite of the device turning off or its battery running out, raises the question about the extent to which the good outcome of the procedure could be attributed to the implanted device. As a side note, another important question are the results of experimental studies, which proved that chronic electrostimulation may lead to fibrosis of the muscle subjected to stimulation (39).

Furthermore, neither medical history taken from patients nor manometric examinations revealed advantage of any of the stimulation methods as regards the level of defecation control (tab. 2 and 3). Both in the dynamic graciloplasty group and the external stimulation group there were cases where a satisfactory degree of improvement in faecal continence control was achieved as well as cases where, in spite of the procedure and stimulation, the level of control over bowel movements was reported by the patients as unsatisfactory. The percentage of patients with good postoperative results was similar in all groups. A weak point of the comparative study performed is a disproportion in group sizes as well as a large spread of follow-up periods (the first procedures in the studied patient group were performed in 1998–1999, the latest in 2015). This stems from the fact that graciloplasty (especially dynamic graciloplasty) is a highly specialised and expensive procedure, performed in selected patients, only in centres specialised in faecal incontinence treatment, and thus it is performed relatively rarely.

By contrast, an interesting observation is the fact that in patients with unfavourable clinical and functional outcomes following the procedure there was a low mean signal amplitude value in electromyography, which most probably means a lower number of simultaneously activated motor units. This effect can stem from atrophy or fibrosis of the muscle, e.g. resulting from ischaemia or insufficient stimulation, which translates into weakening of its tension and lowering of the effectiveness of the procedure. It is possible, contrary to previously published experimental studies, that the key question in electrostimulation of the transposed muscle is not so much rebuilding of the muscle from fast-twitch to slow-twitch muscle as the mere fact of regular

pulsacją elektryczną, co zapobiega atrofii mięśnia i utrzymuje jego napięcie i zdolność do skurczu, albowiem jak wiadomo, brak aktywności mięśni lub ich odnerwienie powoduje ich stopniowy zanik (zwłaszcza włókien wolnokurczliwych) i utratę funkcji skurczowej (40).

## WNIOSKI

Pomimo zastosowania różnych metod stymulacji w przebiegu pooperacyjnym, w tym kosztownych wszczepialnych stymulatorów, nie zaobserwowano różnic w funkcjonowaniu elektrofizjologicznym transponowanego mięśnia smukłego w porównaniu do mięśnia pozostawionego *in situ*. Nie wykazano również w niniejszym badaniu przewagi graciloplastyki dynamicznej (z wszczepem stymulatora) nad stymulacją mięśnia drogą przezodbytową lub przezskórną, co skłania autorów do wniosku, iż wszczepienie kosztownego stymulatora nie poprawia znacząco wyników klinicznych ani czynnościowych w dłuższym okresie obserwacji, w porównaniu do innych metod stymulacji mięśnia.

stimulation of muscular fibres to contract through electric impulsation, which prevents atrophy of the muscle while preserving its tone and contractile ability, since – as it is known – lack of activity of muscles or their denervation results in their gradual atrophy (especially in the case of slow-twitch fibres) and loss of contractile function (40).

## CONCLUSIONS

Despite the different methods of postoperative stimulation, including expensive implantable stimulators, no differences were observed in the electrophysiological activity between the transposed gracilis muscle and the gracilis muscle left *in situ*. Our study also failed to demonstrate advantage of dynamic graciloplasty (with implantation of a stimulator) over stimulation of the muscle through the transrectal or transcutaneous route, which brings us to the conclusion that implantation of an expensive stimulator does not significantly improve clinical or functional outcomes in a longer follow-up period, compared to other methods of muscle stimulation.

## PIŚMIENNICTWO / REFERENCES

1. Ng K-S, Sivakumaran Y, Nassar N, Gladman MA: Fecal Incontinence: Community Prevalence and Associated Factors-A Systematic Review. *Dis Colon Rectum* 2015 Dec; 58(12): 1194-1209.
2. Van Koughnett JAM, Wexner SD: Current management of fecal incontinence: Choosing amongst treatment options to optimize outcomes. *World J Gastroenterol WJG* 2013 Dec 28; 19(48): 9216-30.
3. Mik M, Rośniak K, Narbutt P et al.: Anterior overlapping sphincteroplasty – who benefits from the surgery? *Pol Przegl Chir* 2014 Jan; 86(1): 33-38.
4. Nowakowski M, Tomaszewski KA, Herman RM et al.: Developing a new electromyography-based algorithm to diagnose the etiology of fecal incontinence. *Int J Colorectal Dis* 2014 Jun; 29(6): 747-54.
5. Wong MTC, Meurette G, Stangherlin P, Lehur P-A: The magnetic anal sphincter versus the artificial bowel sphincter: a comparison of 2 treatments for fecal incontinence. *Dis Colon Rectum* 2011 Jul; 54(7): 773-79.
6. Rao SSC: Current and Emerging Treatment Options for Fecal Incontinence. *J Clin Gastroenterol* 2014 Oct; 48(9): 752-64.
7. Hong KD, da Silva G, Wexner SD: What is the best option for failed sphincter repair? *Colorectal Dis Off J Assoc Coloproctology G B Irel* 2014 Apr; 16(4): 298-303.
8. Darnis B, Faucheron J-L, Damon H, Barth X: Technical and functional results of the artificial bowel sphincter for treatment of severe fecal incontinence: is there any benefit for the patient? *Dis Colon Rectum* 2013 Apr; 56(4): 505-10.
9. Barišić G, Krivokapić Z: Adynamic and dynamic muscle transposition techniques for anal incontinence. *Gastroenterol Rep* 2014 May; 2(2): 98-105.
10. Pickrell KL, Broadbent TR, Masters FW, Metzger JT: Construction of a rectal sphincter and restoration of anal continence by transplanting the gracilis muscle; a report of four cases in children. *Ann Surg* 1952 Jun; 135(6): 853-62.
11. Bottin A, Cescon C, Nowakowski M, Herman RM: Non-invasive assessment of the gracilis muscle by means of surface electromyography electrode arrays. *J Surg Res* 2006 Aug; 134(2): 265-69.
12. Baeten CG, Bailey HR, Bakka A et al.: Safety and efficacy of dynamic graciloplasty for fecal incontinence: report of a prospective, multicenter



- trial. Dynamic Graciloplasty Therapy Study Group. *Dis Colon Rectum* 2000 Jun; 43(6): 743-51.
13. Rosen HR, Novi G, Zoech G et al.: Restoration of anal sphincter function by single-stage dynamic graciloplasty with a modified (split sling) technique. *Am J Surg* 1998 Mar; 175(3): 187-93.
  14. Konsten J, Baeten CG, Havenith MG, Soeters PB: Morphology of dynamic graciloplasty compared with the anal sphincter. *Dis Colon Rectum* 1993 Jun; 36(6): 559-63.
  15. Eccles JC, Eccles RM, Lundberg A: The action potentials of the alpha motoneurons supplying fast and slow muscles. *J Physiol* 1958 Jul 14; 142(2): 275-91.
  16. Salmons S, Henriksson J: The adaptive response of skeletal muscle to increased use. *Muscle Nerve* 1981 Apr; 4(2): 94-105.
  17. Buller AJ, Eccles JC, Eccles RM: Interactions between motoneurons and muscles in respect of the characteristic speeds of their responses. *J Physiol* 1960 Feb; 150(2): 417-39.
  18. Hallan RI, Williams NS, Hutton MR et al.: Electrically stimulated sartorius neosphincter: canine model of activation and skeletal muscle transformation. *Br J Surg* 1990 Feb; 77(2): 208-13.
  19. Pette D: Fiber transformation and fiber replacement in chronically stimulated muscle. *J Heart Lung Transplant Off Publ Int Soc Heart Transplant* 1992 Oct; 11(5): S299-305.
  20. Luthert P, Vrbová G, Ward KM: Effects of slow frequency electrical stimulation on muscles of dystrophic mice. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1980 Sep; 43(9): 803-09.
  21. Dickson JAS, Nixon HH: Control by electronic stimulator of incontinence after operation for anorectal agenesis. *J Pediatr Surg* 1968 Dec 1; 3(6): 696-701.
  22. Baeten CG, Konsten J, Spaans F et al.: Dynamic graciloplasty for treatment of faecal incontinence. *Lancet Lond Engl* 1991 Nov 9; 338(8776): 1163-65.
  23. Williams NS, Patel J, George BD et al.: Development of an electrically stimulated neoanal sphincter. *Lancet Lond Engl* 1991 Nov 9; 338(8776): 1166-69.
  24. Wexner SD, Baeten C, Bailey R et al.: Long-term efficacy of dynamic graciloplasty for fecal incontinence. *Dis Colon Rectum* 2002 Jun; 45(6): 809-18.
  25. Chapman AE, Geerdes B, Hewett P et al.: Systematic review of dynamic graciloplasty in the treatment of faecal incontinence. *Br J Surg* 2002 Feb; 89(2): 138-53.
  26. Cera SM, Wexner SD: Muscle Transposition: Does It Still Have a Role? *Clin Colon Rectal Surg* 2005 Feb; 18(1): 46-54.
  27. Wexner SD, Gonzalez-Padron A, Rius J et al.: Stimulated gracilis neosphincter operation. Initial experience, pitfalls, and complications. *Dis Colon Rectum* 1996 Sep; 39(9): 957-64.
  28. Violi V, Boselli AS, De Bernardinis M et al.: Surgical results and functional outcome after total anorectal reconstruction by double graciloplasty supported by external-source electrostimulation and/or implantable pulse generators: an 8-year experience. *Int J Colorectal Dis* 2004 May 1; 19(3): 219-27.
  29. Seccia M, Menconi C, Balestri R, Cavina E: Study protocols and functional results in 86 electrostimulated graciloplasties. *Dis Colon Rectum* 1994 Sep; 37(9): 897-904.
  30. Hopkinson BR. Electrical treatment of incontinence using an external stimulator with intra-anal electrodes. *Ann R Coll Surg Engl*. 1972 Feb; 50(2): 92-111.
  31. Walega P, Romaniszyn M, Siarkiewicz B, Zelazny D: Dynamic versus Adynamic Graciloplasty in Treatment of End-Stage Fecal Incontinence: Is the Implantation of the Pacemaker Really Necessary? 12-Month Follow-Up in a Clinical, Physiological, and Functional Study. *Gastroenterol Res Pract* 2015; 2015: 1-5 doi 10.1155/2015/698516
  32. Cescon C, Mesin L, Nowakowski M, Merletti R: Geometry assessment of anal sphincter muscle based on monopolar multichannel surface EMG signals. *J Electromyogr Kinesiol* 2011 Apr; 21(2): 394-401.
  33. Merletti R, Bottin A, Cescon C et al.: Multichannel surface EMG for the non-invasive assessment of the anal sphincter muscle. *Digestion* 2004; 69(2): 112-22.
  34. Dreibati B, Lavet C, Pinti A, Poumarat G: Influence of electrical stimulation frequency on skeletal muscle force and fatigue. *Ann Phys Rehabil Med* 2010 May; 53(4): 266-77.
  35. Belanger AY, McComas AJ: Extent of motor unit activation during effort. *J Appl Physiol* 1981 Nov; 51(5): 1131-35.
  36. Knight CA, Kamen G.: Relationships between voluntary activation and motor unit firing rate during maximal voluntary contractions in young and older adults. *Eur J Appl Physiol* 2008 Aug; 103(6): 625-30.
  37. Eken T, Gundersen K: Electrical stimulation resembling normal motor-unit activity: effects on denervated fast and slow rat muscles. *J Physiol* 1988 Aug; 402: 651-69.
  38. MacIntosh BR, Gardiner PF, McComas AJ: Skeletal Muscle: Form and Function. *Human Kinetics* 2006; 436 p.
  39. Bouamrirène D, Micallef JP, Rouanet P, Bacou F: Electrical stimulation-induced changes in double-wrapped muscles for dynamic graciloplasty. *Arch Surg Chic Ill* 1960. 2000 Oct; 135(10): 1161-67.
  40. Midrio M: The denervated muscle: facts and hypotheses. A historical review. *Eur J Appl Physiol* 2006 Sep; 98(1): 1-21.

Pracę nadesłano: 22.02.2016 r.

Adres autora: 31-202 Kraków, ul. Prądnicka 35/37  
e-mail: michal.romaniszyn@gmail.com