

Martyna Marek<sup>1</sup>, Magdalena Stania<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Wydział Fizjoterapii, Akademia Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach

<sup>2</sup> Instytut Nauk o Sporcie, Akademia Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach

## Analiza aktywności bioelektrycznej mięśni brzucha podczas ćwiczeń wg metody Pilates

*Analysis of bioelectrical activity of the abdominal muscles during Pilates exercises*

**Streszczenie.** Ćwiczenia Pilates mogą być wykorzystywane jako terapia uzupełniająca w postępowaniu fizjoterapeutycznym różnych dysfunkcji. Celem badań była ocena aktywności bioelektrycznej mięśni prostego brzucha oraz skośnego zewnętrznego z wykorzystaniem elektromiografii powierzchniowej (sEMG) podczas ćwiczeń wg metody Pilates oraz ich modyfikacji. W eksperymencie wzięło udział 13 studentek w wieku od 20 do 24 lat. Aktywność bioelektryczną mięśni RA i EO zarejestrowano podczas trzech ćwiczeń wg metody Pilates ('setka', 'most', 'stanie równoważne'). Każde z ćwiczeń było wykonane dla kilku warunków eksperymentalnych: bez dodatkowego przyboru, z małą piłką i z obręczą, na stabilnym i niestabilnym podłożu. Średnią wartość amplitudy sEMG znormalizowano do wartości maksymalnego skurczu dowolnego (%MVC). Wykazano istotnie najwyższą wartość średniej amplitudy (%MVC) dla mięśni EO oraz RA podczas ćwiczenia 'setka' zarówno na stabilnym, jak i niestabilnym podłożu, bez uwzględnienia kryterium użycia dodatkowego przyboru ( $p < 0.001$ ). Analiza statystyczna testem U-Manna Whitneya nie wykazała różnic istotnych statystycznie w aktywności bioelektrycznej obu mięśni podczas ćwiczeń Pilates dla różnych warunków eksperymentalnych, tj. stabilne vs. niestabilne podłoże, ćwiczenie bez dodatkowego przyboru vs. ćwiczenie z piłką vs. ćwiczenie z obręczą ( $p > 0.05$ ). Zastosowanie dodatkowych przyborów podczas ćwiczeń Pilates nie wpływa istotnie na aktywność bioelektryczną mięśni RA i EO.

**Słowa kluczowe:** metoda Pilates, mięśnie brzucha, elektromiografia powierzchniowa

**Abstract.** The Pilates exercises might be used as a complementary therapy in physiotherapy practice for various dysfunctions. The aim of this study was to evaluate bioelectrical activity of the rectus abdominis (RA) and external oblique (EO) muscles with surface electromyography (sEMG) during Pilates exercises and their modifications. 13 students at the age range of 20-24 years participated in the experiment. The bioelectrical activity of RA and EO muscles was recorded during three exercises according to Pilates method ('hundred', 'bridging' and 'standing balance'). Each exercise was performed in several experimental conditions: with no additional equipment, with a small ball and Pilates ring, on a stable and unstable surface. The average value of sEMG amplitude was normalized to the maximum voluntary contraction (%MVC). The average amplitude (%MVC) of EO and RA muscles was significantly the highest during 'hundred' exercise, both for stable and unstable condition, regardless the aspect of the use of additional equip-

ment ( $p < 0.001$ ). U-Mann Whitney's test revealed no significant differences in bioelectrical activity of both muscles during Pilates exercises for different experimental conditions. The use of additional equipment for Pilates exercises does not significantly affect the bioelectrical activity of the RA and EO muscles..

**Keywords:** Pilates method, abdominal muscles, surface electromyography

## Wstęp

Badania ankietowe przeprowadzone przez *American College of Sports Medicine* potwierdzają globalny wzrost zainteresowania metodą Pilates [21]. Ćwiczenia opracowane przez Josepha Pilatesa, ze względu na swój charakter profilaktyczno-leczniczy, znajdują zastosowanie w postępowaniu fizjoterapeutycznym u pacjentów z różnymi dysfunkcjami [16]. Przeprowadzona metaanaliza [15] wykazała istotny wpływ ćwiczeń Pilates na funkcjonowanie fizyczne i psychiczne populacji klinicznej. Wśród głównych celów metody wymieniana się ustąpienie dolegliwości bólowych, przywrócenie prawidłowego zakresu ruchomości, optymalizację profilu siłowo-wytrzymałościowego mięśni, głównie mięśni stabilizujących, oraz poprawę możliwości koordynacyjnych pacjenta [9]. W koncepcie zaproponowanym przez Pilatesa, obok ćwiczeń fizycznych, ważną rolę odgrywa również sfera psychiki i relaksacja [4].

Prawidłowe wykonywanie ćwiczeń Pilates wymaga przestrzegania fundamentalnych zasad: koncentracji, kontroli, centrowania, oddychania, zachowania właściwej pozycji ciała, płynności ruchów [16]. Centrowanie oznacza, że każde zadanie ruchowe zaczyna się od napięcia mięśni stabilizujących. Za stabilizację kompleksu lędźwiowo-miedniczno-biodrowego odpowiedzialne są zarówno głębokie, jak i powierzchowne mięśnie stabilizujące [5]. Prawidłowo funkcjonujący układ kontroli czynnej w postaci tych mięśni, poza funkcją stabilizacji, odgrywa również istotną rolę w równoważeniu znacznych sił zewnętrznych oraz kontrolowaniu położenia poszczególnych części ciała [10].

Istnieje wiele form ćwiczeń wg metody Pilates. Ćwiczenia mogą być wykonywane zarówno w otwartych, jak i zamkniętych łańcuchach kinematycznych, w różnych pozycjach ciała, ale zawsze z utrzymaniem neutralnej pozycji kręgosłupa [16]. W treningu wykorzystuje się również przybory, np. duże i małe piłki, poduszki sensomotoryczne oraz obręcz. Zastosowanie różnych przyborów do ćwiczeń wpływa na zmianę warunków w łańcuchach biokinematycznych podczas realizacji danego zadania ruchowego. Wykonywanie ćwiczeń na niestabilnym podłożu w postaci poduszki sensomotorycznej wymusza natomiast większą stabilizację kompleksu lędźwiowo-miedniczno-biodrowego. Postawiono zatem hipotezę badawczą, że aktywność bioelektryczna mięśni brzucha zależy od modyfikacji warunków realizacji danego ćwiczenia wg zasad Pilates.

Celem badań była ocena aktywności bioelektrycznej mięśni: prostego brzucha (RA) oraz skośnego zewnętrznego (EO) za pomocą elektromiografii powierzchniowej (sEMG) podczas wybranych ćwiczeń wg metody Pilates oraz ich modyfikacji.

## **Materiał i metody**

W eksperymencie wzięło udział 13 kobiet studiujących na Akademii Wychowania Fizycznego w Katowicach. Badane były w wieku od 20 do 24 lat (średnia wieku  $21.23 \pm 1.37$  lat), o masie ciała od 45 do 82 kg (średnia masa ciała  $59.23 \pm 9.22$  kg), wzroście od 1.6 do 1.8 m (średni wzrost  $1.67 \pm 0.06$  m) oraz wskaźniku masy ciała od 17.58 do 25.71 (średnie BMI  $21.07 \pm 2.25$  kg/cm<sup>2</sup>).

Warunkiem zakwalifikowania do badań był brak regularnego uczestnictwa w ćwiczeniach wg metody Pilates oraz nietrenowanie innej dyscypliny sportowej na poziomie wyczynowym. Do kryteriów wykluczenia z udziału w eksperymencie zaliczono: niedawne urazy ortopedyczne, stan po niedawnej protruzji jądra miazdżystego, stany po niedawnych operacjach w obrębie tułowia, kręgosłupa lub kończyn, widoczne asymetrie w obrębie tułowia/kręgosłupa/kończyn dolnych, kręgoszyk, stany zapalne, gorączkę, nowotwory, ciążę, miesiączkę. Wykluczeniem z pomiarów był także pojawiający się w trakcie ćwiczeń ból oraz dyskomfort ćwiczącej. Uczestniczkom eksperymentu zostały przedstawione cel i sposób pomiarów. Udział w badaniach był dobrowolny. Każda z uczestniczek wyraziła pisemną zgodę na udział w eksperymencie.

Badania zostały przeprowadzone na terenie Akademii Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach w Laboratorium Elektromiografii i Badań Mięśni Dna Miednicy. Badanie sEMG zrealizowano przy użyciu urządzenia Myo Trace 400 (Noraxon U.S.A. Inc.), a przetwarzanie sygnału i jego modelowanie za pomocą oprogramowania MyoResearch. Pomiary wykonano w godzinach popołudniowych, aby zminimalizować efekt zmęczenia.

Rozmieszczenie elektrod, rejestrację i sposób przetwarzania sygnału sEMG przeprowadzono na podstawie wytycznych sformułowanych w ramach programu SENIAM (ang. Surface ElectroMyoGraphy for the Non-Invasive Assessment of Muscles) [7]. Do pomiaru potencjału elektrycznego mięśni: prostego brzucha oraz skośnego zewnętrznego wykorzystano jednorazowe bipolarne elektrody powierzchniowe (Al/AgCl) o średnicy 20 mm. Przed ich naklejeniem skórę oczyszczono za pomocą środka dezynfekującego oraz osuszone naskórek. Elektrody zostały naklejone równolegle do przebiegu włókien mięśniowych w odstępach 2 cm.

Miejsca naklejenia podwójnych elektrod powierzchniowych dla poszczególnych mięśni były następujące:

- mięsień prosty brzucha – 1,5 cm bocznie i doogonowo od linii pępka,
- mięsień skośny zewnętrzny – poniżej łuku żebrowego, ukośnie na zewnątrz i dogłowo od pępka.

Pojedyncza elektroda referencyjna, dzięki której redukowane były sygnały zakłócające, została przyklejona na prawy kołek biodrowy przedni górny. Wszystkie pomiary wykonała ta sama osoba.

Procedurę eksperymentalną rozpoczęto od pomiaru maksymalnego skurczu dowolnego (MVC – ang. Maximal Voluntary Contraction), który posłużył do normalizacji sygnału sEMG. Pomiar polegał na izometrycznym napięciu danego mięśnia w możliwie maksymalny sposób oraz na utrzymaniu tego napięcia przez 5 sekund. Dla każdego z mięśni przeprowadzono 3 próby MVC z 10 sekundami przerwy pomiędzy każdą z nich. Kolejność badania poszczególnych mięśni była randomizowana. Pomiar MVC został przeprowadzony w pozycji leżenia tyłem z kończynami górnymi wzdłuż tułowia, kończynami dolnymi w zgięciu pod kątem 30° w stawach biodrowych oraz 90° w stawach kolanowych, ze stopami ułożonymi równolegle na szerokość stawów biodrowych. W trakcie pomiaru MVC dla obu mięśni brzucha wykorzystano dwa pasy, które miały na celu stabilizację tułowia (pas umieszczono na wysokości obręczy barkowej) oraz stóp. Pomiaru maksymalnego skurczu dowolnego dla mięśnia skośnego zewnętrznego prawego dokonano podczas jednoczesnej rotacji i skłonu tułowia w stronę lewą. Dla mięśnia prostego brzucha rejestracja sygnału odbyła się podczas maksymalnego skłonu tułowia w przód z zachowaniem odpowiedniej odległości między brodą a mostkiem.

### *Ćwiczenia wg metody Pilates*

Po dokonaniu pomiarów MVC przeprowadzono rejestrację sygnału sEMG dla każdego z mięśni w wybranych ćwiczeniach metodą Pilates ('setka', 'most', 'stanie równoważne') na dwóch różnych wariantach podłoża – na macie (stanowiącej powierzchnię stabilną) oraz na poduszkach równoważnych Airex Balance Pad Elite (tworzących niestabilne podłoże). Ćwiczenia zrealizowano na obydwu podłożach w trzech wersjach (bez przyboru, z piłką Softball, z obręczą – tzw. Pilates Ring). Łącznie każde z nich wykonane zostało w 6 wariantach. Uczestniczki zostały poinstruowane, aby siła wywierana na przybór nie przekraczała 30% maksymalnego napięcia mięśni przywodzicieli uda. W ćwiczeniach wykonywanych na podłożu niestabilnym poduszki umieszczone były pod punktami podparcia. Kolejność wykonywania ćwiczeń oraz ich poszczególnych wariantów była losowa. Aby zapobiec zmęczeniu mięśni, zastosowano kilkuminutowe przerwy pomiędzy ćwiczeniami.

### *'Setka'*

Pozycja wyjściowa (PW) – leżenie tyłem, kończyny górne (kkg) wzdłuż ciała, kończyny dolne (kkd) zgięte, stawy kolanowe i stopy ułożone równolegle na szerokość stawów biodrowych, przybór między stawami skokowymi.

Pozycja końcowa (PK) – leżenie tyłem ze skłonem tułowia w przód, odcinek lędźwiowy przylega do maty, kkg nad podłożem, równolegle do tułowia, kkd wyprostowane w stawach kolanowych (kąt  $180^\circ$ ) oraz zgięte w stawach biodrowych  $60^\circ$  (kkd opuszczone ok. 10 cm w dół z pozycji  $90^\circ$ ), przybór między stawami skokowymi.

Poduszki równoważne w wariancie ćwiczenia na podłożu niestabilnym umieszczone były pod tułowiem oraz obręczą miedniczną.

#### *‘Most’*

PW – leżenie tyłem, kkg wzdłuż tułowia, kkd zgięte, stawy kolanowe i stopy ułożone równolegle na szerokość stawów biodrowych, przybór znajduje się w dalszej części ud.

PK – obręcz biodrowa uniesiona tworzy prostą linię ze stawami kolanowymi oraz obręczą barkową, kkg wzdłuż tułowia, przybór w dalszej części ud.

W wariancie ćwiczenia na podłożu niestabilnym poduszki równoważne znajdowały się pod głową, obręczą barkową oraz stopami.

#### *‘Stanie równoważne’*

PW – stanie z kkd wyprostowanymi, stopami ułożonymi równolegle na szerokość stawów biodrowych, neutralnie ustawioną miednicą. Przyrząd trzymany w dłoniach z przodu ciała na wysokości stawów biodrowych.

PK – stanie z kkd wyprostowanymi, na palcach stóp z kkg uniesionymi nad głową, otwarte dłonie naciskają na przybór.

Podczas pomiaru wykonywanego na podłożu niestabilnym badane stały na poduszce równoważnej.

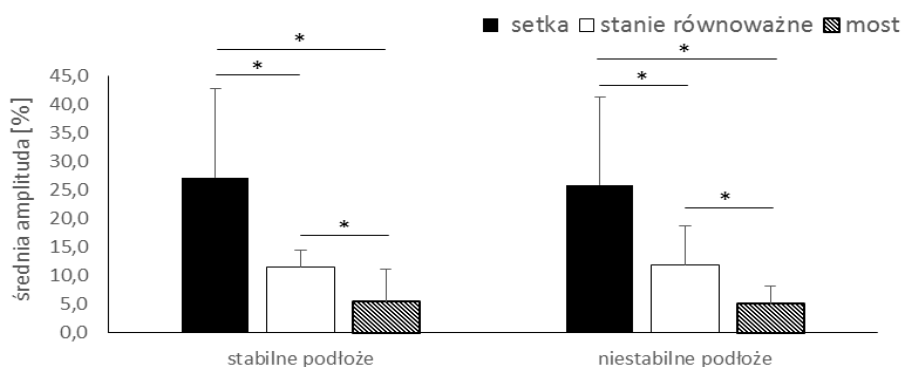
Uzyskany surowy sygnał sEMG został poddany procedurze przetwarzania i modelowania wg następujących etapów: redukcja ECG (zredukowano interferencję ECG), filtrowanie (zastosowano cyfrowy filtr typu FIR górno- i dolno-przepustowy dla okna 20–500 Hz), rektyfikacja (przeprowadzono konwersję ujemnych amplitud na dodatnie, przeniesienie pików ujemnych na dodatnie, co dało możliwość określenia wartości średniej amplitudy), wygładzanie (zminimalizowano niepowtarzalną część sygnału z zastosowaniem okna 100 ms), normalizacja amplitudy (porównano zmierzoną wartość średniej amplitudy z wartością referencyjną MVC) [11].

#### *Analiza statystyczna*

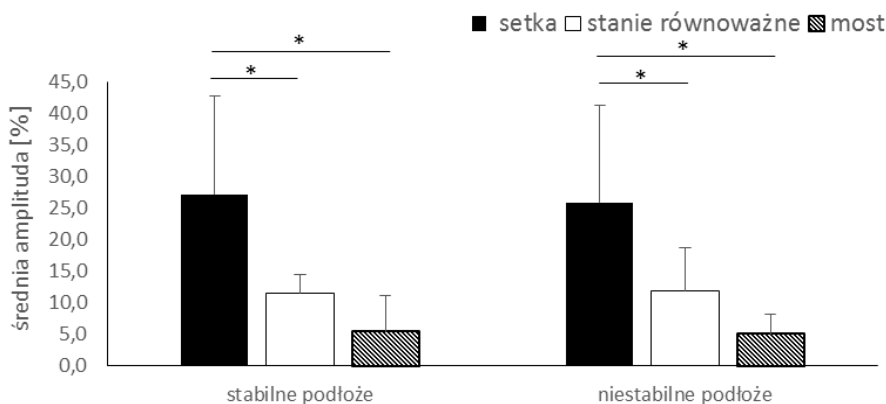
Testem Shapiro-Wilka zweryfikowana została zgodność z rozkładem normalnym. Do analizy zmian w układzie niezależnym wykorzystano nieparametryczny test U-Manna Whitneya. We wszystkich analizach statystycznych przyjęto poziom  $p \leq 0.05$ .

## Wyniki badań

Wykazano istotnie najwyższą wartość średniej amplitudy (%MVC) dla mięśni: skośnego zewnętrznego oraz prostego brzucha podczas ćwiczenia 'setka' zarówno na stabilnym, jak i niestabilnym podłożu bez uwzględnienia warunku zastosowanego przyboru ( $p < 0.001$ ) (ryc.1, 2).



**Ryc. 1.** Średnie wartości amplitudy sEMG (%MVC) dla mięśnia skośnego zewnętrznego brzucha podczas ćwiczeń wg metody Pilates bez uwzględnienia warunku zastosowanego przyboru



**Ryc. 2.** Średnie wartości amplitudy sEMG (%MVC) dla mięśnia prostego brzucha podczas ćwiczeń wg metody Pilates bez uwzględnienia warunku zastosowanego przyboru

Analiza statystyczna nie wykazała żadnych istotnych różnic w aktywności mięśni: skośnego zewnętrznego oraz prostego brzucha podczas ćwiczeń Pilates dla różnych warunków eksperymentalnych, tj. stabilne vs. niestabilne podłoże, ćwiczenie bez przyboru vs. z piłką vs. z obręczą ( $p > 0.05$ ) (tab. 1, 2).

**Tabela 1. Średnie wartości amplitudy znormalizowanej do wartości maksymalnego skurczu izometrycznego (%MVC) dla mięśnia skośnego zewnętrznego brzucha podczas ćwiczeń wg metody Pilates dla różnych warunków**

Parametr	Warunek	Ćwiczenie bez przyboru (I)	Ćwiczenie z piłką (II)	Ćwiczenie z obręczą (III)	p* pomiędzy pomiarami I-II, I-III, II-III
Setka					
Średnia amplitudy [%]	Stabilne podłoże	25.32±13.72	27.3±20.1	29.01±20.59	p>0.05
	Niestabilne podłoże	24.02±15.95	7.06±17.09	26.71±20.09	p>0.05
Stanie równoważne					
Średnia amplitudy [%]	Stabilne podłoże	10.95±6.32	12.42±6.23	11.03±4.93	p>0.05
	Niestabilne podłoże	11.70±7.25	11.92±7.49	12.28±6.97	p>0.05
Most					
Średnia amplitudy [%]	Stabilne podłoże	5.80±3.53	5.49±3.28	5.11±3.64	p>0.05
	Niestabilne podłoże	5.55±3.54	4.65±3.47	5.16±3.80	p>0.05

\*test U-Manna Whitneya

**Tabela 2. Średnie wartości amplitudy znormalizowanej do wartości maksymalnego skurczu izometrycznego (%MVC) dla mięśnia prostego brzucha podczas ćwiczeń wg metody Pilates dla różnych warunków**

Parametr	Warunek	Ćwiczenie bez przyboru (I)	Ćwiczenie z piłką (II)	Ćwiczenie z obręczą (III)	p* pomiędzy pomiarami I-II, I-III, II-III
Setka					
Średnia amplitudy [%]	Stabilne podłoże	17.19±15.2	19.43±16.68	18.60±17.57	p>0.05
	Niestabilne podłoże	17.09±15.2	18.20±15.88	19.48±17.97	p>0.05
Stanie równoważne					
Średnia amplitudy [%]	Stabilne podłoże	2.55±2.94	2.75±3.04	2.81±3.54	p>0.05
	Niestabilne podłoże	2.46±2.24	2.46±2.55	2.67±2.73	p>0.05
Most					
Średnia amplitudy [%]	Stabilne podłoże	2.26±3.81	2.46±4.33	2.39±4.18	p>0.05
	Niestabilne podłoże	2.00±2.74	2.36±3.95	2.00±2.53	p>0.05

\*test U-Manna Whitneya

## Dyskusja

W przeprowadzonym eksperymencie do oceny aktywności bioelektrycznej mięśni brzucha wykorzystano elektromiografię powierzchniową sEMG, która ilościowo wyraża aktywność elektryczną danego mięśnia pod postacią potencjału elektrycznego. W dostępnej literaturze potwierdzono rzetelność i powtarzalność metody EMG [17].

Opublikowane wyniki badań elektromiograficznych [1, 3, 20] wskazują, że wykonywanie ćwiczeń w oparciu o zasady metody Pilates istotnie zwiększa aktywność bioelektryczną zaangażowanych mięśni w porównaniu do tradycyjnych ćwiczeń fizycznych. Analiza wyników badań własnych wykazała jednak, że zastosowanie dodatkowego przyboru podczas ćwiczeń wg metody Pilates w postaci małej piłki lub obręczy nie zwiększa istotnie aktywacji mięśnia prostego brzucha oraz mięśnia skośnego zewnętrznego. Kim i Lee [8] zaobserwowali, że realizacja ćwiczenia 'setka' wraz z małą piłką lub obręczą znamienne poprawia aktywność mięśni stabilizujących w porównaniu do aktywności tych mięśni podczas ćwiczenia bez przyboru. Aktywność bioelektryczna mięśni zmieniała się również wraz ze zmianą ustawienia stawów kolanowych. Wg autorów istotne różnice w aktywności mięśni wynikają bezpośrednio z różnych wielkości wykorzystanych przyborów do ćwiczeń, warunkujących inne ustawienie stawów kończyn dolnych. W innym eksperymencie [13] oceniono aktywność mięśni: skośnego zewnętrznego oraz wielodzielnego podczas ćwiczeń wg metody Pilates na urządzeniu Cadillac z różnymi ustawieniami sprężyn oporowych. Również wykazano, że aktywność tych mięśni zależała od przyjętej przez badanych pozycji ciała. Badania Panhan et al. [18] potwierdziły, że zastosowanie specjalistycznego sprzętu do ćwiczeń pozwala na aktywację zarówno mięśni stabilizujących, jak i mobilizujących. Pomimo iż w eksperymencie własnym nie wykazano istotnego zwiększenia aktywności mięśni prostego brzucha i skośnego zewnętrznego podczas ćwiczeń z dodatkowym przyborem, to sugerowane jest wprowadzanie ich do treningu wg metody Pilates w celu psychologicznego efektu urozmaicenia zajęć.

Zastosowanie niestabilnego podłoża w postaci poduszki sensomotorycznej zmienia informację somatosensoryczną docierającą do ośrodkowego układu nerwowego. Układ nerwowy na podstawie uzyskanych informacji pochodzących z czterech wejść sensorycznych (błędnika, narządu wzroku, proprioceptorów i receptorów dotykowych) uruchamia proces zachowania stabilnej pozycji ciała [22]. Badania posturograficzne potwierdzają gorszą kontrolę postawy ciała podczas stania na niestabilnym podłożu [14]. Zaskakującym jest, że w badaniach własnych zaobserwowaliśmy porównywalną aktywność mięśni



powierzchownych brzucha podczas ćwiczeń na stabilnym i niestabilnym podłożu. W innym eksperymencie [1] autorzy również wykazali, że wykonywanie tradycyjnego ćwiczenia angażującego mięsień prosty brzucha zgodnie z regułami Pilates na niestabilnym podłożu nie zwiększa istotnie aktywności tego mięśnia w porównaniu do aktywności podczas ćwiczenia na stabilnym podłożu. Badania Panhan et al. [19] wykazały, że wielkość płaszczyzny podparcia w ćwiczeniu Pilates ‘double leg stretch’ może wpłynąć na stopień zaangażowania mięśni brzucha – skośnego wewnętrznego oraz prostego. Autorzy zaobserwowali istotną różnicę pomiędzy aktywnością bioelektryczną mięśni podczas ćwiczenia wykonywanego na macie i na pudle o małej powierzchni. Być może zmniejszenie płaszczyzny podparcia na poduszkach równoważnych w badaniach własnych spowodowałoby większe zaburzenie stabilności tułowia, co wtórnie wymusiłoby zwiększenie aktywności mięśni brzucha.

Ćwiczenia wg metody Pilates stanowią element postępowania terapeutycznego w różnych dysfunkcjach, m.in. w terapii bólów kręgosłupa w odcinku lędźwiowo-krzyżowym [12], wysiłkowego nietrzymania moczu [6], u pacjentów ze stwardnieniem rozsianym [2]. Opublikowane wyniki meta-analizy wykazały istotny statystycznie efekt łączny dla profilu fizjologicznego stanu zdrowia, na który składała się siła mięśniowa, równowaga, gibkość, aktywność fizyczna oraz funkcji psychologicznych (jakość życia, ból, percepcja zdrowia), u pacjentów z różnymi dysfunkcjami ćwiczących metodą Pilates w porównaniu do pacjentów nieaktywnych fizycznie [15]. Zwiększona aktywność bioelektryczna mięśni brzucha podczas ćwiczenia ‘setka’, stwierdzona w badaniach własnych, sugeruje możliwość wdrożenia takiego ćwiczenia do postępowania terapeutycznego również u pacjentów z osłabionymi mięśniami brzucha.

## Wnioski

Aktywność bioelektryczna mięśni prostego brzucha oraz skośnego zewnętrznego zależy istotnie od rodzaju ćwiczenia. Istotnie najwyższą wartość średniej amplitudy (%MVC) zarejestrowano podczas ćwiczenia ‘setka’.

Zastosowanie dodatkowego przyboru podczas ćwiczeń (‘setka’, ‘most’, ‘stanie równoważne’) oraz zmiana warunku jego realizacji (stabilne vs. niestabilne podłoże) nie wpływają istotnie na aktywność mięśni brzucha.

## Bibliografia

1. Andrade L.S., Mochizuki L., Pires F.O. et al. (2015). Application of Pilates principles increases paraspinal muscle activation. *Journal of Bodywork & Movement Therapies*, 19: 62–6.

2. Arik M., Kiloatar H., Saracoglu I. (2022). Do Pilates exercises improve balance in patients with multiple sclerosis? A systematic review and meta-analysis. *Multiple Sclerosis and Related Disorders*, 57, 103410.
3. Barbosa A., Guedes C., Bonifacio D. et al. (2015). The Pilates breathing technique increases the electromyographic amplitude level of the deep abdominal muscles in untrained people. *Journal of Bodywork & Movement Therapies*, 19(1): 57–61.
4. Byrnes K., Wu P.J., Whillier S. (2018). Is Pilates an effective rehabilitation tool? A systematic review. *Journal of Bodywork & Movement Therapies*, 22(1): 192–202.
5. Chang M., Slater L., Corbett R. et al. (2017). Muscle activation patterns of the lumbo-pelvic-hip complex during walking gait before and after exercise. *Gait & Posture*, 52: 15–21.
6. Chmielewska D., Stania M., Kucab-Klich K. et al. (2019). Electromyographic characteristics of pelvic floor muscles in women with stress urinary incontinence following sEMG-assisted biofeedback training and Pilates exercises. *PLoS One*, 14(12): e0225647.
7. Hermens H.J., Freriks B., Disselhorst-Klug C. et al. (2000). Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 10: 361–374.
8. Kim Y., Lee N. (2021). Comparative analysis of core muscle activation according to the use of props and the different knee angle during the modified Pilates Hundred. *Journal of Bodywork & Movement Therapies*, 27: 529–534.
9. Kloubec J. (2011). Pilates: how does it work and who needs it? *Muscles, Ligaments and Tendons Journal*, 1(2): 61–66.
10. Kokosz M., Gnat R., Wojdyła L. i wsp. (2003). S-E-T: czynna stabilizacja odcinka lędźwiowego kręgosłupa. *Fizjoterapia Polska*, 3: 396–400.
11. Konrad P. (2007). Powstawanie i rejestracja obrazu, obróbka sygnału, analiza EMG [w:] ABC EMG Praktyczne wprowadzenie do elektromiografii kinezyologicznej. Technomex spółka z o.o., 4–52.
12. Lim E., Poh R., Low A. et al. (2011). Effects of Pilates-based exercises on pain and disability in individuals with persistent nonspecific low back pain: a systematic review with meta-analysis. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 41(2): 70–80.
13. Loss J., Melo M., Rosa C. et al. (2010). Electrical activity of external oblique and multifidus muscles during the hip flexion-extension exercise performed in the Cadillac with different adjustments of springs and individual positions. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, 14: 510–517.
14. Mademli L., Mavridi D., Bohm S. et al. (2021). Standing on unstable surface challenges postural control of tracking tasks and modulates neuromuscular adjustments specific to task complexity. *Scientific Reports*, 11, 6122.
15. Meikis L., Wicker P., Donath L. (2021). Effects of Pilates Training on Physiological and Psychological Health Parameters in Healthy Older Adults and in Older Adults With Clinical Conditions Over 55 Years: A Meta-Analytical Review. *Frontiers in Neurology*, 12, 724218.
16. Mętel S., Milert A. (2007). Metoda Josepha Pilatesa oraz możliwości jej zastosowania w fizjoterapii. *Rehabilitacja Medyczna*, 11(2): 27–36.
17. Morrish G. (1999). Surface electromyography: methods of analysis, reliability, and main applications. *Critical Reviews in Physical and Rehabilitation Medicine*, 1: 171–205.
18. Panhan A.C., Goncalves M.E., Eltz G.D. et al. (2020). Co-contraction of the core muscles during Pilates exercise on the Wunda Chair. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 33(5): 719–725.

19. Panhan A.C., Goncalves M.E., Giovana D.E. et al. (2019). Electromyographic evaluation of trunk core muscles during Pilates exercise on different supporting bases. *Journal of Bodywork & Movement Therapies*, 23: 855–859.
20. Silva G., Morgan M., Carvalho W. et al. (2015). Electromyographic activity of rectus abdominis muscles during dynamic Pilates abdominal exercises. *Journal of Bodywork & Movement Therapies*, 19(4): 629–635.
21. Thompson W.R. (2018). Worldwide survey for fitness trends for 2019. *ACSM's Health & Fitness Journal*, 22(6): 10–17.
22. Winter D., Patla A., Prince F. et al. (1998). Stiffness control of balance in quiet standing. *Journal of Neurophysiology*, 80: 1211–1221.