

Wpływ jednorazowych ćwiczeń fizycznych w wodzie na równowagę ciała

The effect of a single bout of water-based physical training on postural control

numer DOI 10.2478/v10109-012-0031-0

Michał Kuczyński^{1,3}, Aleksandra Krzyśków², Dagmara Bieć², Maria-Luiza Podbielska²

¹ AWF we Wrocławiu, Katedra Fizjoterapii i Terapii Zajęciowej

Chair of Physiotherapy and Occupational Therapy, University School of Physical Education in Wrocław

² AWF we Wrocławiu, Studia Doktoranckie

Doctoral Studies, University School of Physical Education in Wrocław

³ Politechnika Opolska, Katedra Biomechaniki

Chair of Biomechanics, University of Technology in Opole

Streszczenie:

Wpływ jednorazowych ćwiczeń ruchowych na niektóre funkcje motoryczne człowieka może być inny niż wpływ systematycznego treningu. Dla ilustracji tej tezy zbadaliśmy równowagę ciała 13 zdrowych młodych osób uczestniczących w pojedynczej 30-minutowej sesji ćwiczeń w wodzie. Badania przeprowadzono przed i tuż po ćwiczeniach na platformie AMTI podczas stania na twardym podłożu i gąbce. Każda próba trwała 20 sekund, a ich kolejność była zrandomizowana. Na podłożu twardym nie zaobserwowano żadnych różnic w równowadze. Natomiast na gąbce, ćwiczenia spowodowały wzrost amplitudy wychwiania ciała ($p < 0,05$) wraz ze spadkiem entropii ($p < 0,05$) w płaszczyźnie czołowej, a ponadto spadek częstotliwości ($p < 0,05$) i wymiaru fraktalnego ($p < 0,05$) wychwiania w obu płaszczyznach. Wyniki te świadczą o pogorszeniu równowagi oraz wystąpieniu specyficznych adaptacji podczas co najmniej 2-3 min po zakończeniu ćwiczeń. Utrzymywanie równowagi było wówczas mniej automatyczne i wymagało większych zasobów uwagi. Najprawdopodobniej wystąpiły pewne ograniczenia w prawidłowej interpretacji informacji aferentnej z układu somatosensorycznego i przedsionkowego. Łącznie, wyniki te sugerują możliwość zmiany wzorca zachowań równoważnych uczestników w procesie adaptacji do nowych wymagań środowiskowych. W tym kontekście dyskutujemy znaczenie przyspieszonej zmiany wzorca strategii posturalnych w poprawie równowagi.

Słowa kluczowe: hydrokinezyterapia, środowisko wodne, entropia, wymiar fraktalny, adaptacja, mikrograwitacja, COP.

Abstract:

The effect of a single bout of water-based physical training on some human motor functions can be different from the effect of regular physical training. To show the validity of this thesis a study of postural control was carried out on a group of 13 young people. They participated in a single bout of 30-minute water-based physical training. The participants underwent trials before and immediately after the exercise session on the AMTI force platform while standing on a solid surface and foam. Each trial lasted 20 seconds in a random sequence. No differences in postural control were found on the solid surface. Whereas on the foam surface physical exercise caused an increase in the amplitude of postural sway ($p < 0.05$) accompanied by a fall in entropy ($p < 0.05$) in the frontal plane and additionally a decrease in frequency ($p < 0.05$) and fractal dimension ($p < 0.05$) of the center of pressure in both planes. These findings show a decreased postural control and the occurrence of specific postural adaptations for at least 2-3 minutes after the exercise session. Postural control was less automatic and required more attention resources. Most probably some limitations occurred in the correct interpretation of afferent information from the somatosensory and vestibular systems. All these results imply the possibility of changes in the participants' postural behavior pattern in the process of adaptation to the new environment requirements. In this context the authors discuss the effect of the accelerated change in the postural strategy pattern on the improvement of postural control.

Key words: aquatherapy, postural sway, COP entropy, COP fractal dimension, motor adaptation.

Wprowadzenie

Ćwiczenia ruchowe przeprowadzane w wodzie są obecnie bardzo popularne i mają dużą skuteczność terapeutyczną. Jest to powszechnie stosowany zabieg leczniczy przyspieszający rekonwalescencję w wielu schorzeniach układu

Introduction

Water-based physical exercise is very popular now and it has high therapeutic efficiency. It is a commonly used medical treatment which accelerates recovery in numerous diseases of the nervous and muscular systems.

nerwowego i mięśniowego. Jego korzystne działanie wynika z interakcji pacjenta ze środowiskiem wodnym, stanowiącym rodzaj mikrogravitacji (hipograwitacji) [1]. Dzięki sile wyporu a także zaangażowaniu wszystkich grup mięśniowych wytwarzane są hormony (oksytocyna, endorfiny), dzięki którym dochodzi do zmniejszenia napięcia i bolesności mięśni posturalnych. Prowadzi to do zwiększenia zakresu ruchu oraz pozwala na dawkowanie obciążenia i wzmacnianie gorsetu mięśniowego [1-5].

Wymienione czynniki oraz łatwiejsze wykonywanie ruchów pozytywnie oddziałują na zdolność odczuwania różnicy napięć mięśniowych, autokorekcję postawy oraz poprawiają czucie kinestetyczno-ruchowe i wzrokowo-czuciowe co prowadzi do lepszej orientacji położenia ciała w przestrzeni [6, 7]. W hydrokinezyterapii nietypowość środowiska i jego losowe i bogate oddziaływanie przy współpracy z terapeutą może przynieść wiele korzyści, w tym także wzbogacenie pamięci motorycznej. Autorzy badający wpływ tej terapii w różnych schorzeniach powodujących deficyt równowagi wykazali poprawę równowagi pacjentów w wyniku regularnych treningów [8-14]. Uważają oni, że najlepsze wyniki w poprawie stabilności posturalnej przynoszą zabiegi polegające na stosowaniu szerokiego wachlarza zaburzeń destabilizujących, które uczą pacjentów prawidłowych reakcji. Jednak wszystkie powyższe doniesienia odnoszą się do efektów po zakończeniu sesji terapeutycznej. Nasuwa się nam pytanie czy istnieje i jaki ma wpływ jednorazowe działanie zabiegu oraz czy może przyczynić się do destabilizacji wzorca ruchowego?

Mechanizmy adaptacyjne pojawiają się w sytuacjach nowych, dla których dotychczasowe strategie ruchowe czy posturalne nie są wystarczające. Taka sytuacja wystąpiła podczas hipoterapii dzieci z mózgowym porażeniem. Pomimo pogorszenia niektórych elementów równowagi pod wpływem jednej sesji terapeutycznej, udział w całym programie doprowadził do jej istotnej poprawy [14]. W podobny sposób mogą zachodzić przejściowe procesy uczenia strategii posturalnych w środowisku wodnym. Stały kontakt z wodą utrudnia definiowanie bodźców odbieranych przez układ sensoryczny oraz integrację aferentną, które muszą dostosowywać się do ciągle zmieniającej się pozycji i ruchu [11]. Można więc przypuszczać, że równowaga zaraz po pierwszym zabiegu ulegnie pogorszeniu.

Wiedza na temat przejściowych skutków pojedynczej sesji terapeutycznej jest bardzo istotna. Po pierwsze, wiele osób, zwłaszcza starszych, uczestniczących w zajęciach w wodzie porusza się z dużą ostrożnością tuż po wyjściu z basenu. Niektóre z nich wręcz informują prowadzących zajęcia o poczuciu zagrożenia upadkiem (obserwacja własna). Po drugie, pomimo obszernej literatury dotyczącej uczenia motorycznego i rehabilitacji ruchowej, nasza wiedza o mechanizmach i czynnikach wpływających na te procesy jest nadal skromna. Dotyczy to zwłaszcza metod, które nie rozwijają bezpośrednio danej umiejętności. Poprzez nietypową stymulację mają one prowadzić do wytworzenia takich adaptacji, które będą posiadały zdolność transferu w obszarze ważnym dla pacjenta. Czy jest tak rzeczywiście można sprawdzić wyłącznie badając pacjentów kilkakrotnie podczas pełnego cyklu terapeutycznego. Jednym z elementów takich badań, o niewątpliwie dużym znaczeniu w zrozumieniu globalnych wyników terapii, jest ocena wpływu pojedynczej sesji ćwiczeń w wodzie na równowagę ciała. Pomimo, że głównym obiektem naszych zainteresowań są pacjenci, znajomość zachowań posturalnych osób zdrowych poddanych podobnej interwencji eksperymentalnej zawsze stanowi dobry punkt odniesienia dla szczegółowych interpretacji.

Its beneficial effect results from the patient's interaction with the water environment which constitutes a kind of microgravity (hypogravity) [1]. Due to the buoyancy force and the involvement of all the muscle groups, such hormones as oxytocin and endorphins are produced, which leads to a decrease in tension and postural muscle pain. In consequence, the range of motion increases. It also allows dosing exercise load and reinforcing muscular corset [1-5].

These factors as well as the easier execution of movements favorably affect both the ability to feel the differences in muscular tension and self-correction of posture. They also improve kinesthetic-motor sensitivity and visual-sensory sensitivity, which leads to better orientation of the body position in space [6, 7]. In hydrokinesitherapy the uniqueness of the environment and its random and lavish effects accompanied by a therapist's help can bring a number of beneficial effects, including enrichment of the motor memory. The authors who studied the effect of this therapy in various diseases causing a balance deficit noticed an improvement in patients' postural control due to regular training sessions [8-14]. They think that the best results in postural stability improvement were achieved after the treatments which consisted of application of a wide range of destabilizing disturbances which teach patients the correct responses. Nevertheless, all these findings refer to the effects measured after a series of therapeutic sessions. The question arises what happens after just a single bout of treatment. Is there any effect, and if so, what effect is it? Can it contribute to the destabilization of motor pattern?

Adaptation mechanisms occur in new situations when the previous motor or postural strategies are no longer sufficient. This kind of situation happened during hypotherapy of children with cerebral palsy. Despite the fact that some elements of postural control worsened after a single therapeutic session, the participation in the whole program led to a significant improvement [14]. Transient processes of learning postural strategies in the water environment can occur in a similar way. A constant contact with water makes it difficult to define the stimuli perceived by the sensory system and afferent integration which have to adapt to the constantly changing positions and movements [11]. Therefore one can presume that postural control will worsen immediately after the first session of treatment.

Knowledge of transient effects of a single therapeutic session is very important. Firstly, a large number of people, especially the elderly, who participate in the water-based classes move with great caution immediately after getting out of the swimming pool. Some people actually tell the aqua class teacher that they feel they are at risk of falling down (the authors' own observation). Secondly, despite rich literature on motor learning and rehabilitation, our knowledge of mechanisms and factors affecting these processes is still modest. It refers especially to the methods which do not develop directly a particular skill. Through atypical stimulation these methods are to lead to the formation of such adaptations which will have the transfer ability in the area important for the patient. The only possible way to verify this assumption is to examine the patient repeatedly during a full cycle of therapy. One of the elements of such an examination, of undoubtedly great importance in understanding the total results of therapy, is assessment of the effect of a single bout of water based physical exercise on postural control. Despite the fact that the main object of our interest is the patient, the knowledge of postural behaviors of healthy people who have undergone a similar experimental intervention is always a good reference point for detailed interpretations.

Celem niniejszej pracy było porównanie równowagi ciała zdrowych młodych dorosłych osób przed i po jednorazowej sesji typowych ćwiczeń fizycznych w wodzie w stanie pełnego odciążenia, czyli bez kontaktu z dnem basenu. Postawiliśmy hipotezę, że ćwiczenia te przejściowo pogorszą wykonanie zadania równoważnego na skutek obniżonego automatyzmu regulacji równowagi spowodowanego zmianą relacji pomiędzy wkładem poszczególnych informacji aferentnych. Ponadto uważaliśmy, że ćwiczenia w wodzie zmieniają strategię regulacji równowagi w kierunku oznaczającym ich pozytywny wpływ na korzystne adaptacje posturalne oczekiwane w wyniku systematycznego dalszego udziału w tych ćwiczeniach. Dodatkowo, postanowiliśmy zbadać związki pomiędzy analizowanymi zmiennymi zależnymi, tymi tradycyjnymi, które charakteryzują sposób wykonania zadań równoważnych i nieliniowymi, które uważane są za miary strategii posturalnych stosowanych przez układ nerwowy do stabilizacji równowagi ciała. Miało to służyć zarówno lepszemu zrozumieniu znaczenia tych nowych nieliniowych miar wychwiań ciała (COP) w relacji do działania układu równowagi, jak i lepszemu wyjaśnieniu wyników naszego eksperymentu.

Material i metody

W badaniach wzięło udział trzynastu studentów AWF Wrocław w wieku 23,4 lat o wysokości ciała 171 cm i masie ciała wadze 61,2 kg. Badania i zajęcia hydrokinezyterapii odbyły się na basenie AWF Wrocław. Temperatura wody wynosiła 28°C zaś temperatura powietrza 30°C. Woda zawierała ozon. Badani wykonywali ćwiczenia w pełnym odciążeniu bądź z wykorzystaniem sprzętu (deski, piłeczki, makarony) a także w pozycjach poziomych (w leżeniu przodem, tyłem) oraz w pozycjach pionowych (brak kontaktu stóp z dnem, głębokość od 1,4 m do 1,8 m). Zajęcia zakończone zostały ćwiczeniami wyciszającymi. Bezpośrednio przed zajęciami oraz dwie minuty po opuszczeniu wody i po wytarciu ciała badani poddani zostali dwóm 20-sekundowym próbom równowagi w staniu obunóż na twardym i podatnym (gąbka) podłożu przy pomocy platformy AMTI AccuSway. Badani stali swobodnie ze złączonymi stopami i z ramionami zwisającymi wzdłuż tułowia. W celu uniknięcia przypadkowej dekoncentracji polecono im kierować wzrok na znacznik w formie krzyża umieszczony na wysokości 170 cm w odległości 3 m. Kolejność wykonywanych prób została zrandomizowana. Spontaniczne wychylenia ciała (sygnały COP) podczas prób zostały zarejestrowane w obu płaszczyznach z częstotliwością próbkowania 50 Hz.

Na podstawie sygnałów COP obliczono tradycyjne miary stosowane w ocenie równowagi: zakres, średnią prędkość oraz częstotliwość wychwiań wychyleń. Zakres w obu płaszczyznach ruchu jest jedną z najbardziej powszechnych miar jakości wykonania zadania równoważnego i opisuje obszar stabilności, podczas gdy częstotliwość ocenia liczbę korekcyj pozycji ciała w jednostce czasu, będąc tym samym miarą aktywności układu nerwowego w tym procesie korekcyj prowadzącej do stabilizacji pozycji pionowej. Wyższe wartości częstotliwości występują zazwyczaj podczas prób o większej trudności i są często utożsamiane z wyższą sztywnością posturalną, która w wyniku zastosowania podwyższonej koaktywacji przekłada się na zwiększoną częstotliwość wychyleń. Średnia prędkość obliczana jest jako iloraz całkowitej długości COP do czasu trwania próby i koreluje dodatnio zarówno z zakresem jak i z częstotliwością, opisuje aktywność podczas zadania posturalnego.

Dodatkowo obliczono stosunkowo niedawno wprowadzone nieliniowe miary dynamiki COP: wymiar fraktalny

The aim of this study was to compare the postural control of young healthy adults before and after a single bout of typical physical exercise performed unloaded in deep water, that is with no contact with the bottom of the pool. The research hypothesis is: such physical training affects adversely the performance of a balance task due to the reduced automatism of balance regulation caused by the change in the relation between the contributions of each piece of afferent information. Moreover, it was assumed that water-based exercise would change the regulation strategies, and thus invert the direction and exert a positive effect on the advantageous postural adaptations which are expected to occur due to the regular participation in this exercise program. In addition, authors decided to study the relationships between the analyzed dependent variables, the traditional ones which are characteristic of the way the balance tasks and non-linear tasks are performed as they are considered the measures of postural strategies applied by the nervous system to maintain body balance. The aim was to understand better the significance of these new non-linear measures of the center of pressure (COP) in relation to balance function as well as explain better the findings of this experiment.

Material and methods

The study sample consisted of 13 students of the University School of Physical Education (AWF) in Wrocław, aged 23.4 years, with the body height of 171 cm and the body mass of 61.2 kg. Measurements and classes of hydrokinesitherapy took place in the swimming pool of AWF Wrocław. The water temperature was 28°C, whereas the air temperature was 30°C. The water contained ozone. Subjects performed exercises under a totally unloaded condition or with the use of some equipment (kickboards, small balls, aqua noodles); they did them in both horizontal prone and supine positions and in the vertical position (no contact of the feet with the bottom of the pool, water depth between 1.4 m and 1.8 m). The classes concluded with relaxation exercises to calm down the participants. Immediately before classes and two minutes after getting out of the water and drying their bodies, participants underwent two 20-second balance trials in quiet stance with both feet on a solid and compliant (foam) surface. The AMTI AccuSway system was used. Participants stood with their feet together and arms hanging down loosely. In order to avoid casual distraction they were asked to look at the cross mark placed at the height of 170 cm and at a distance of 3 m. The sequence of the trials was randomized. Spontaneous postural sways (COP signals) during the trials were recorded in both planes with the sampling frequency of 50 Hz.

On the basis of the COP signals, it was possible to calculate the traditional measures used to quantify postural control: range, mean velocity and frequency of sway. The range in both planes of movement is one of the most common measures of performance quality of a balance task and it describes the area of stability, whereas frequency assesses a number of postural corrections within a time unit, thus being a measure of the activity of the nervous system in the correction process which leads to stabilize the upright position. Higher values of frequency usually occur during trials of a higher degree of difficulty and are often identified with an increased postural stiffness which due to the use of increased coactivation leads to an increase in sway frequency. Mean velocity is calculated by dividing the total trace length of the COP by the duration of the trial. It correlates positively with both range and frequency and describes the activity during the postural task.

oraz entropię, które dobrze rokują w głębszym zrozumieniu obserwowanego procesu utrzymywania równowagi. Większe wartości wymiaru fraktalnego mogą, zdaniem niektórych badaczy, świadczyć o wyższej złożoności mechanizmów uczestniczących w regulacji równowagi oraz o większych zdolnościach adaptacyjnych układu równowagi [15].

Natomiast wyższa entropia utożsamiana jest z większą nieregularnością COP, która towarzyszy zmniejszonemu udziałowi uwagi w regulację pozycji stojącej, a co za tym idzie zwiększonemu automatyzmowi tej regulacji [16, 17].

Przedstawione krótkie charakterystyki zastosowanych miar COP pozwalają podzielić je na dwie kategorie: miary opisowe i miary strategii, których zastosowanie jest bardzo pomocne w interpretacji wyników eksperymentów stabilograficznych oraz w prowadzeniu dyskusji. Częstotliwość, wymiar fraktalny oraz entropia to miary strategii posturalnych czy równoważnych. Mówimy tu o strategiach przez analogię do opisanych przez Horak i Nashnera [18] strategii stawów skokowych i biodrowych, które autorzy ci postulowali jako podstawowe i całkowicie różne sposoby lub strategie przemieszczania środka masy ciała do pozycji równowagi za pomocą różnych synergii czyli mięśniowych struktur koordynacyjnych. Podobnie, ewentualne różnice w częstotliwości, wymiarze fraktalnym i entropii pomiędzy badaniami przed i po terapii pozwolą nam ujawnić strategie odpowiednio bardziej lub mniej sztywnościowe, złożone lub automatyczne. Zakres COP nie mieści się oczywiście w kategorii miar strategii posturalnych lecz jest po prostu miarą jakości wykonania zadania równoważnego. Średnia prędkość wreszcie, mimo że przez wielu uważana również za miarę jakości wykonania, powinna być interpretowana ze szczególną ostrożnością z powodu jej dodatkowej silnej zależności od częstotliwości.

Ze względu na małą liczebność badanej grupy oraz tendencje niektórych zmiennych do rozkładu odbiegającego od normalnego, porównanie wyników przed i po ćwiczeniach oraz w różnych warunkach (podłoże twarde i gąbka) przeprowadzono za pomocą testu Wilcoxon z poziomem istotności $p < 0,05$.

Wyniki

Porównanie wartości średnie ($\pm O.S.$) przed i po sesji ćwiczeń w wodzie dla wszystkich zmiennych zależnych zawiera tabela 1. Różnice zaobserwowano wyłącznie podczas stania na podłożu podatnym. Dodatkowo, porównane zostały wyniki uzyskane na obu podłożach w sytuacji przed i po ćwiczeniach oddzielnie. Przed ćwiczeniami przejście z podłoża twardego na podatne spowodowało wzrost zakresu ($p < 0,01$) i średniej prędkości ($p < 0,05$) oraz spadek entropii ($p < 0,01$) COP w obu płaszczyznach. Ponadto obniżyła się wartość wymiaru fraktalnego ($p < 0,01$) w płaszczyźnie strzałkowej. Po ćwiczeniach zanotowaliśmy podobne zmiany za wyjątkiem płaszczyzny strzałkowej, w której przejście na podłoże podatne spowodowało spadek częstotliwości ($p < 0,01$), w rezultacie czego prędkość wychwiań nie uległa zmianie.

Wartości współczynników korelacji wybranych zmiennych wskazały na bardzo silne dodatnie związki pomiędzy entropią a częstotliwością, które wyniosły $r = 0,95$ w płaszczyźnie strzałkowej i $r = 0,81$ w płaszczyźnie czołowej ($p < 0,0001$) (ryc. 1). Silne dodatnie związki ujawniono też pomiędzy wymiarem fraktalnym i częstotliwością ($r = 0,64$ do $0,71$; $p < 0,001$). Najciekawsze chyba, również w kontekście tej pracy, były ujemne związki pomiędzy en-

Additionally, the non-linear measures of the COP dynamics – fractal dimension and entropy – were calculated. Relatively recently introduced, these two measures lend themselves well to deeper understanding of the postural control process. Higher values of fractal dimension can, according to some researchers, indicate a higher complexity of the mechanisms participating in the balance regulation and a higher adaptation abilities of the postural control system [15].

Whereas higher entropy is identified with a higher irregularity of the COP which goes together with a decreased attention directed to regulate the upright position, and consequently increases automation of the regulation [16, 17].

On the basis of the short descriptions of the applied measures of the COP, they can be divided into two categories: descriptive measures and measures of strategies whose application is very useful to interpret the results of stabilographic experiments and to conduct the discussion. Frequency, fractal dimension and entropy are measures of postural or balance strategies. The term strategy used here is analogical to the ankle and hip strategies described by Horak and Nashner [18] and regarded as the basic and completely different methods or strategies of displacement of the body center of mass to the equilibrium position by means of various muscle synergies, i.e. muscular coordination structures. Analogically, possible differences in frequency, fractal dimension and entropy between the measurements taken before and after therapy will make it possible to reveal strategies respectively more or less stiffening, complex or automatic. The range of the COP is obviously not included in the category of postural strategies, but it is simply used to measure the performance quality of a balance task. Finally, mean velocity, though considered a measure of performance quality by many, should be interpreted particularly carefully due to its additional strong dependence on frequency.

Due to the small size of the sample and the tendency of some variables to show non-normal distribution, in order to compare the measurement data collected before and after the exercises and under different conditions (solid and foam surfaces) the Wilcoxon test was used and the significance level was set at $p < 0,05$.

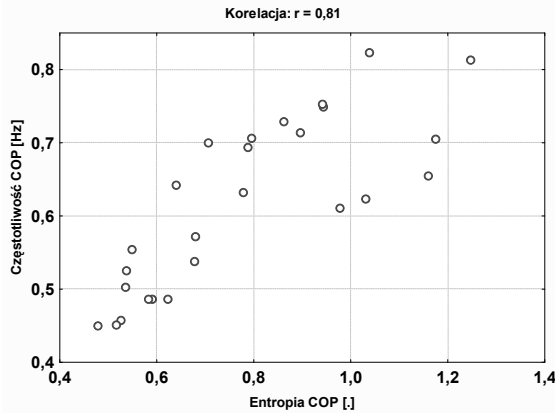
Results

Table 1 shows the comparison of mean values ($\pm O.S.$) before and after the water-based exercise session for all the dependent variables. Some differences were found only during a stance on the compliant surface. In addition, the results achieved on both surfaces before and after the exercise session were compared separately. Before exercises a transition from a solid surface onto a compliant one caused an increase in the range ($p < 0,01$) and mean velocity ($p < 0,05$) and a fall in the COP entropy ($p < 0,01$) in both planes. Moreover, there was a decrease in the value of fractal dimension ($p < 0,01$) in the sagittal plane. After the exercise session similar changes were observed, except for the sagittal plane where the transition onto the compliant surface caused a fall in frequency ($p < 0,01$), and consequently the sway velocity did not change.

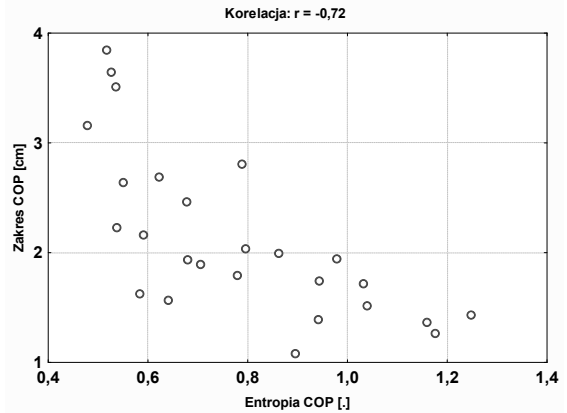
The values of correlation coefficients of the selected variables showed a very strong positive relationship between entropy and frequency, which amounted to $r = 0,95$ in the sagittal plane and $r = 0,81$ in the frontal plane ($p < 0,0001$), (Fig. 1). A strong positive relationship was also found between fractal dimension and frequency ($r = 0,64$ to $0,71$; $p < 0,001$). The most interesting, also in the context of this paper, turned out to be a negative

tropią a zakresem COP ($r = -0,72$ do $-0,80$; $p < 0,0001$). Ta ostatnia zależność przedstawiona została na ryc. 2 w celu zademonstrowania siły rzeczywistego związku nieliniowego.

relationship between the COP entropy and its range ($r = -0.72$ to -0.80 ; $p < 0.0001$). This relationship is shown in Fig. 2 in order to demonstrate the strength of the real non-linear relationship.



Ryc. 1. Zależność pomiędzy entropią a częstotliwością kołysania ciała w płaszczyźnie czołowej
Fig. 1. Correlation between the COP entropy and frequency in the frontal plane



Ryc. 2. Zależność pomiędzy entropią a zakresem kołysania ciała w płaszczyźnie czołowej
Fig. 2. Correlation between the COP entropy and range in the frontal plane

Tabela 1. Porównanie wartości średnich ($\pm O.S.$) przed i po sesji ćwiczeń w wodzie dla wszystkich zmiennych zależnych
Table 1. Comparison of mean values ($\pm O.S.$) before and after the water-based exercise session for all the dependent variables

	Twarde podłoże Solid surface		Gąbka Foam	
	Przed Before	Po After	Przed Before	Po After
płaszczyzna M/L plane M/L				
Zakres (mm) Range (mm)	15,2 \pm 4,2	17,0 \pm 4,2	20,8 \pm 5,7	25,5 \pm 7,9*
Średnia prędkość (mm/s) Mean velocity (mm/s)	13,1 \pm 1,6	13,5 \pm 1,4	16,9 \pm 4,7	16,5 \pm 2,2
Wymiar fraktalny Fractal dimension	1,46 \pm 0,04	1,45 \pm 0,07	1,47 \pm 0,06	1,43 \pm 0,05*
Entropia Entropy	1,08 \pm 0,34	0,86 \pm 0,25	0,84 \pm 0,23	0,70 \pm 0,18*
Częstotliwość (Hz) Frequency (Hz)	0,66 \pm 0,17	0,65 \pm 0,21	0,70 \pm 0,23	0,54 \pm 0,07*
płaszczyzna A/P plane A/P				
Zakres (mm) Range (mm)	14,2 \pm 4,2	13,0 \pm 2,5	23,8 \pm 6,4	23,4 \pm 6,9
Średnia prędkość (mm/s) Mean velocity (mm/s)	13,8 \pm 3,1	13,5 \pm 1,1	16,7 \pm 4,0	15,2 \pm 2,3
Wymiar fraktalny Fractal dimension	1,51 \pm 0,06	1,50 \pm 0,04	1,45 \pm 0,05	1,41 \pm 0,06*
Entropia Entropy	1,25 \pm 0,35	1,26 \pm 0,28	0,92 \pm 0,20	0,85 \pm 0,25
Częstotliwość (Hz) Frequency (Hz)	0,75 \pm 0,15	0,74 \pm 0,14	0,64 \pm 0,12	0,50 \pm 0,13*

* oznacza znaczącą ($p < 0,05$) różnicę pomiędzy badaniami przed i po sesji ćwiczeń
* indicates a significant ($p < 0.05$) difference between the measurements taken before and after the exercise session

Dyskusja

Celem tej pracy było zbadanie czy i w jaki sposób jednorazowe ćwiczenia w wodzie wpływają na równowagę ciała człowieka. Trzy wyniki wydają się mieć istotne znaczenie. Po pierwsze, wychylenia ciała wzrosły w płaszczyźnie czołowej świadcząc o pogorszeniu wykonania zadania równoważnego. Po drugie, ćwiczenia w wodzie doprowadziły do zmniejszenia częstotliwości, wymiaru fraktalnego i entropii COP. Mniejsza częstotliwość świadczy o spadku aktywności eksploracyjnych funkcji układu nerwowego (UN) dla potrzeb równowagi, a mniejszy wymiar fraktalny o spadku złożoności całego układu [20, 21]. Wreszcie mniejsza entropia jest przejawem przesunięcia zasobów uwagi do zadania równoważnego oraz spadku automatyczności regulacji równowagi po zakończeniu ćwiczeń w basenie. Po trzecie, wszystkie te zmiany wystąpiły wyłącznie w próbach na podłożu podatnym a nie na twardym. Pozwala to wnioskować, że prawidłowe informacje somatosensoryczne zapobiegły całkowicie ujawnieniu jakichkolwiek zmian działania układu równowagi pod wpływem ćwiczenia. Natomiast zakłócenie tych informacji za pomocą gąbki z jednoczesnym utrudnieniem realizacji funkcji wykonawczej przez stopy, pozwoliło te zmiany zaobserwować ujawniając interakcję pomiędzy jakością informacji somatosensorycznej a wpływem ćwiczeń w wodzie na zmiany strategii posturalnych.

Manipulacja eksperymentalna polegająca na zakłóceniu działania jednego z głównych układów sensorycznych jest częstym zabiegiem w badaniach stabilograficznych mającym na celu sprawdzenie poprawności funkcjonowania pozostałych układów [19, 20]. W tym kontekście znaleziona w tej pracy interakcja pomiędzy jakością informacji somatosensorycznej a wpływem naszego eksperymentu na stopień zmian strategii posturalnych może świadczyć o przejściowym zakłóceniu informacji przekazywanej z układu wzrokowego lub przedsionkowego [21]. Gdyby było to prawdą, dalsze wnioskowanie nie jest trudne. Pogorszenie sygnałów aferentnych z jednego lub dwóch źródeł jest oczywistym zubożeniem części sensorycznej systemu, co powinno przejawiać się zmniejszeniem złożoności procesu wychyleń ciała oraz koniecznością bardziej świadomej i uważnej kontroli swojej równowagi, co znajduje pełne potwierdzenie w naszych wynikach w części dotyczącej zmian wymiaru fraktalnego i entropii. Podobnie jest z częstotliwością COP, która podąża śladami zmian entropii [17] a związek ten wyraźnie widać na ryc. 1. Pomimo dobrej zgodności powyższego rozumowania z uzyskanymi wynikami, brak jest w literaturze eksperymentalnego potwierdzenia, czy i w jakim stopniu pojedyncza sesja aktywnych ćwiczeń w wodzie może prowadzić do pogorszenia informacji wzrokowej lub westybularnej. Chociaż powszechne obserwacje potwierdzają dokuczliwe czasem skutki przedłużonego kontaktu wody z narządem wzroku i słuchu, weryfikacja powyższego rozumowania wymaga przeprowadzenia odpowiednich badań.

Druga interpretacja naszych wyników może być zbudowana na założeniu, że zajęcia w wodzie spowodowały wystąpienie przejściowych zmian w informacji somatosensorycznej oraz integracji aferentnej. Dietz i wsp. [22] sugerowali nawet, że w warunkach zanurzenia rola sygnałów proprioceptywnych i z układu przedsionkowego jest niewielka, a głównym źródłem informacji dla układu równowagi są receptory ucisku rozłożone w całym ciele. Może to doprowadzić do zwiększenia progów czułości dla wejść o przejściowo blahym znaczeniu dla układu nerwowego i zmniejszyć aktywność mięśniową głównie w obrębie kończyn dolnych [23]. Zmniejszenie oddziaływania siły ciężkości wraz z utrudnieniem wykonywania ruchów

Discussion

The aim of this study was to find out whether, and if so, in what way a single bout of water-based exercise affects the human postural control. Three findings seem to be significant. First, body sways increased in the frontal plane which demonstrates that the performance of the balance task worsened. Second, water-based exercise led to a decrease in frequency, fractal dimension and entropy of the COP. Lower frequency indicates a fall in the activity of exploration functions of the nervous system (NS) to maintain the equilibrium, whereas lower fractal dimension means a decreased complexity of the whole system [20, 21]. Finally, lower entropy is a symptom of a shift of attention to a balance task and a fall in automation of equilibrium regulation after the water-based exercise. Third, all these changes occurred in trials on the compliant surface, but not on the solid one. The following conclusion can be drawn: correct somatosensory information completely prevented any manifestations of changes in the activity of the postural control system caused by exercise. Nevertheless, such changes occurred when this information was disrupted by introduction of a foam surface, thus impeding the implementation of an executive function of the feet. The changes revealed an interaction between the quality of somatosensory information and the effect of water-based exercise on the changes of postural strategies.

Experimental manipulation which consists of interfering with one of the principal sensory systems is a common practice in stabilographic studies whose aim is to verify proper operation of the other systems [19, 20]. In this context the interaction between the quality of somatosensory information and the effect of this experiment on the degree of change in postural strategies found in the present study may indicate a transient disruption of information transferred from the visual or vestibular system [21]. If this was really true, it is not difficult to generate further inferences. Worsened afferent signals from one or two sources obviously mean impoverishment of the sensory part of the system, which should manifest itself in a decreased complexity of postural sway process and the necessity of more conscious and careful postural control. This is fully confirmed by the results of this experiment as far as the changes in fractal dimension and entropy are concerned. Like it is in the case of the COP frequency which follows the changes in entropy [17]. This correlation is shown in Fig. 1. Despite a good agreement of the above reasoning with the obtained results, in literature there is no empirical confirmation whether, and if so, to what extent a single bout of active water-based exercise can adversely affect the visual or vestibular information. Although general observations confirm sometimes annoying effects of a prolonged contact of the organs of sight and hearing with water, in order to verify the above conclusions it is necessary to conduct specific studies.

Another interpretation of the obtained results can be based on the assumption that water-based classes caused transient changes in somatosensory information and afferent integration. Dietz et al. [22] even suggest that in the condition of immersion the role of proprioceptive signals and those from the vestibular system is insignificant, while the main source of information for the postural control system are skin receptors of pressure distributed all over the body. It can result in increased sensory thresholds for the entrances of transient little significance to the nervous system and decreased lower extremity muscle activity [23]. A reduced effect of gravity accompanied by difficulties of movement during water-

podczas ćwiczeń w wodzie musi spowodować przejściowe przeskalowanie znaczenia sygnałów somatosensorycznych oraz zmianę współczynników wagowych nadawanych poszczególnym wejściom czuciowym w procesie ich integracji. Jest to warunek konieczny poprawności strategii ruchowych w nowym środowisku [24]. Wydawać by się mogło, że takie zmiany są krótkotrwałe. Jednak badania wpływu zarówno przejściowej mikrogravitacji jak i ćwiczeń równoważnych na odruch Hoffmanna ujawniły, że może on pozostawać zmieniony nawet przez kilkadziesiąt minut po ustaniu bodźca [25]. Ponieważ związki odruchu Hoffmanna z równowagą ciała są bardzo ściśle [26], można przypuszczać, że zmiany w równowadze ciała mogą się również utrzymywać przez podobny czas po zakończeniu ćwiczeń.

W ostatniej próbie interpretacji tych wyników spróbujemy skoncentrować się wyłącznie na zgodnym z intuicją i potwierdzonym w paru pracach rozluźniającym oddziaływaniem ćwiczeń w wodzie na mięśnie [27]. Zgodnie z prawami mechaniki zmniejszona sztywność mięśni posturalnych w kończynach dolnych powinna prowadzić do spadku częstotliwości wychyleń ciała nieco poniżej typowych wartości wykorzystywanych przez układ równowagi do celów eksploracyjnych. Potwierdzają to nasze wyniki podczas stania na gąbce po terapii.

Warto zauważyć, że wobec braku tych różnic na podłożu twardym, któraś z dwóch pierwszych interpretacji musi być tutaj również wzięta pod uwagę. Zmniejszenie częstotliwości wychwiał ciała powoduje, że niezbędna informacja somatosensoryczna jest odnawiana rzadziej, czyli może być niewystarczająca. Deficyt ten niewątpliwie świadczy o pewnym spadku złożoności układu regulacji równowagi, co znalazło potwierdzenie w spadku wymiaru fraktalnego. Układ nerwowy, nie mając możliwości przyspieszenia procesu eksploracyjnego, zastosował kompensację w postaci strategii głębszej eksploracji obszaru stabilności, która przejawiała się wzrostem zakresu COP w płaszczyźnie czołowej. Jest to w pełni zgodne z niedawną koncepcją Carpentera i wsp. [28] sugerującą, że zwiększone wychwiania ciała są pozytywną adaptacją UN do pogorszonych warunków utrzymywania równowagi. W oryginalnej wersji miała ona polegać na dopasowaniu amplitudy kołysania ciała ludzi starszych do podwyższonych progów czułości układów sensorycznych. Innymi słowy, zwiększone wartości COP byłyby wartościami optymalnymi w danych warunkach [28] wskazując na właściwą drogę do poprawy równowagi pomimo przejściowego jej pogorszenia.

Te powyższe, różniące się nieco próby wyjaśnienia zmian parametrów COP mają ze sobą sporo wspólnego. Chodzi tu przede wszystkim o silne działanie stosunkowo nietypowych bodźców przy jednoczesnym pozbawieniu ciała siły ciężkości. Chociaż jest to korzystne dla osób, które mają problemy z ćwiczeniami na lądzie, to stanowi poważne wyzwanie dla ich UN, który musi sprostać konieczności adaptacji do zmienionych wymagań środowiska. Największa odpowiedzialność wydaje się ciążyć na procesach integracji sensorycznej, które nie tylko powinny dostosować się do zmienionej biomechaniki ciała i ruchu, lecz także zaktualizować modele wewnętrzne [19] wykorzystywane w otwartych i zamkniętych układach sterowania ruchem [29]. W rezultacie, co potwierdzają nasze wyniki, doprowadziło to do pogorszenia równowagi po zakończeniu jednokrotnych ćwiczeń w wodzie. Nasi badani gorzej wykonali zadanie stania na gąbce, o czym świadczył wzrost wychwiał COP i posiłkowali się uboższą informacją somatosensoryczną, o czym z kolei świadczył spadek częstotliwości COP. Już te obserwacje powinny stanowić podstawę do wprowadzenia pewnych środków

based exercise must cause a transient rescaling of the significance of somatosensory signals and a change of the weight coefficients given to each sensory entrance in the integration process. It is an indispensable condition to secure correct motor strategies in a new environment [24]. It would seem that these are short-lived changes. Nevertheless, studies of the effect of both transient micro-gravity and balance exercise on Hoffmann's reflex showed that it can remain in an altered state even for more than 30 minutes after the stimulus stops [25]. Since the relationship between Hoffmann's reflex and postural control are very close [26], one can suppose that changes in postural control can also persist for a similar period of time after the completion of exercise.

The last attempt to interpret these results focuses solely on the relaxation effects of water-based exercise on the muscles, as they are in accordance with authors' intuition and are also confirmed by other studies [27]. According to the laws of mechanics, stiffness of postural lower extremity muscle should lead to a fall in frequency of postural sway to the values slightly below the typical ones used by the postural control system for exploration aims. It is confirmed by the results obtained in this experiment during a stance on the foam surface after aquatherapy.

It is interesting to note that as there are no changes registered on the solid surface, one of the first two interpretations also has to be taken into consideration here. The reduced postural sway frequency causes a decrease in the number of updates of the indispensable somatosensory information, which can result insufficient. This deficit undoubtedly indicates there is a slight fall in the complexity of the balance system regulation, which was also shown by a fall in fractal dimension. The nervous system, not having a possibility of accelerating the exploratory process, used compensation in the form of a deeper exploratory strategy of the stability area. It is fully compatible with the recent concept developed by Carpenter et al. [28] which implies that increased postural sway is a positive adaptation of the nervous system to the worsened conditions of equilibrium maintenance. The original version of the concept involved adapting the amplitude of postural sway of the elderly to the increased sensory thresholds of the sensory systems. In other words, the increased COP values would be optimal values in given conditions [28] indicating the right way to improve postural control despite its transient worsening.

The aforementioned different attempts to explain the changes of the COP parameters have much in common. First of all, it is a strong effect of relatively atypical stimuli with simultaneous gravity elimination. Although it is advantageous for people who have problems with doing land-based physical exercise, it is a challenge for their nervous system which has to adapt to the changed requirements of the environment. The greatest responsibility seems to lie on the sensory integration processes which should not only adapt to the changed biomechanics of the body and movement but also update the inner models [19] applied in the open and closed systems of motor control [29]. In consequence, this led to worsen postural control after a single bout of water-based exercise, which was confirmed by the results of the present experiment. The participants' performance of quiet stance was worse on foam, which was manifested by an increase in shifts of the COP, and they also had to use poorer somatosensory information, which was manifested by a decrease in the COP frequency. These observations are sufficient to consider an introduction of some safety measures to help people participating in a single bout of water-based exercise and, most probably, in any occasional physical exercise of

bezpieczeństwa dla osób uczestniczących w pojedynczej sesji ćwiczeń fizycznych w wodzie czy, najprawdopodobniej, w każdych sporadycznych ćwiczeniach o potencjalnie dużym obciążeniu dla układu nerwowo-mięśniowego. Dodatkowym argumentem jest tutaj przesunięcie uwagi w kierunku zadania stabilizowania pozycji ciała (niższa entropia) i mniejsza adaptacyjność do niespodziewanych zakłóceń (niższy wymiar fraktalny).

W jaki sposób należy interpretować te wszystkie zmiany w kontekście prac, których autorzy opisali poprawę równowagi ciała osób systematycznie uprawiających ćwiczenia w wodzie [7-13]? Czy deficyt równowagi potwierdzony tutaj po jednokrotnej sesji ćwiczeń może zwiastować poprawę po szeregu kolejnych sesji? Odpowiedź wydaje się pozytywna, biorąc pod uwagę korzystny wpływ terapii w wodzie wykazany przez innych autorów [7-13]. Aby to lepiej zrozumieć, warto spojrzeć na wyniki tej pracy pod kątem wpływu zmiany podłoża z twardego na gąbkę na parametry COP. Łatwo zauważyć, że przejście z podłoża twardego na gąbkę zmieniło wartości tych parametrów prawie tak samo, jak zmieniły je ćwiczenia w wodzie w próbach stania na gąbce. Przede wszystkim chodzi tu o spadek częstotliwości, wymiaru fraktalnego i entropii, bo większe przyrosty amplitudy COP w wyniku zmiany podłoża niż ćwiczeń spowodowane zostały dodatkową komplikacją funkcji wykonawczej układu równowagi przez mało efektywną korekcję postawy ciała na gąbce. Bardzo podobne wyniki uzyskali Giemza i wsp. [obserwacje niepublikowane] badając krótkotrwały wpływ krioterapii całego ciała na regulację równowagi. Pomimo że utrudnienie wprowadzone przez gąbkę i działanie bardzo niskiej temperatury jest inne niż to, które spowodowały ćwiczenia w wodzie, mają one wspólny mianownik: zakłócenie równowagi w dużym zakresie, które działało przede wszystkim na układ somatosensoryczny i integracji aferentnej w wyniku kumulacji nietypowych bodźców i potrzeby ich reintegracji. Nieco upraszczając, uczestnicy tych badań stawiali pierwsze kroki w przyswajaniu zupełnie nowego repertuaru zadań motorycznych w stosunkowo trudnych warunkach. Pierwsze reakcje nie muszą być zachęcające, bo nowe wymagania znacznie wykraczają poza motoryczne i posturalne doświadczenia uczestników. Jednak zarówno powtarzane ćwiczenia na gąbce lub podobnych podłożach [30, 31], jak i kolejne ekspozycje na bardzo niskie temperatury [32, 33] szybko prowadzą do adaptacji, które po wyrównaniu początkowych deficytów pomagają w doskonaleniu tych funkcji.

Chociaż przejściowe pogorszenie równowagi ciała w wyniku działania nietypowych bodźców wydaje się logiczne, brak jest eksperymentalnego potwierdzenia tej tezy i jest to z pewnością bodźcem do badań. Tym bardziej niewiele wiadomo o możliwości ewentualnych związków pomiędzy krótkotrwałym pogorszeniem zdolności motorycznych a ich poprawą po wielokrotnym stosowaniu takich bodźców, choć porównanie naszych wyników z pracami [7-13] takie związki sugeruje. Wyniki tej pracy wnoszą pewne nowe treści do tego nierozpoznanego obszaru nauczania ruchu, co będzie najlepiej widoczne, gdy rozszerzymy nieco podane wcześniej rozumienie wymiaru fraktalnego w ocenie ruchu. Jest to zresztą potrzebne i z innego powodu, bowiem nasza dotychczasowa interpretacja spadku wymiaru fraktalnego po ćwiczeniach w wodzie ograniczała się do dostrzeżenia deficytu w adaptacyjności układu równowagi po poddaniu go poważnym zaburzeniom sensorycznym. Jednak Błaszczyk i Klonowski [34] widzieli pozytywne cechy obniżonej wartości wymiaru fraktalnego COP w postaci większej stabilności układu równowagi. Ta pozorna sprzeczność jakościowa pomiędzy stabilnością a adaptacyjnością (lub zdolnością manewrowania [35] wydaje się mieć fundamentalne

potentially large load for the nervous and muscle systems. Another argument is shifting attention towards the task of body posture stabilization (lower entropy) and lower adaptation abilities to unexpected disturbances (lower fractal dimension).

In what way should these changes be interpreted in the context of the studies whose authors reported an improvement in postural control of people who regularly do water-based physical exercise [7-13]? Can the postural control deficit confirmed here after a single bout of exercise presage an improvement after a series of successive training sessions? The response seems to be affirmative, especially when the beneficial effects of aquatic therapy reported by other authors are taken into account [7-13]. In order to understand it better, it is useful to look at the findings of this study from the perspective of the effects of transition from the solid surface onto foam on the COP parameters. It is easy to note that the transition changed the values of those parameters to the same extent as it was in the case of stance on foam after water-based exercise. First of all, the change refers to a decreased frequency, fractal dimension and entropy, whereas higher increases in amplitudes of the COP displacement caused rather by the change of surface than the exercise resulted from an additional complication of executive function of the postural control system due to a slightly effective correction of body posture on foam. Very close results were obtained by Giemza et al. (unpublished observations) while studying a short-term effect of the whole-body cryotherapy on postural control regulation. Although the impediment caused by the use of foam and very low temperature is different from the one caused by water-based exercise, they have a common denominator: a large postural disturbance which affected mainly the somatosensory system and afferent integration due to the accumulation of atypical stimuli and the need for their reintegration. Somewhat simplifying the issue, participants in this experiment took their first steps in acquiring a completely new repertoire of motor tasks in relatively difficult conditions. First responses are not necessarily encouraging, as the new requirements exceed significantly the motor and postural experiences of participants. Nevertheless, both exercise repetition on the foam mat or other similar surfaces [30, 31] and successive exposures to low temperatures [32, 33] rapidly lead to adaptation which after alignment of initial deficits help to improve these functions.

Although transient deterioration of postural control due to the effects of atypical stimuli seems to be a logical consequence, there is no empirical confirmation of this thesis, which is in itself a motivation to conduct further studies. Even less is known about hypothetical possibilities of relationships between short-term decline of motor abilities and their improvement due to a repeated use of such stimuli, though comparison of our findings with other studies [7-13] imply such a relationship. This study brought some new data to this unexplored area of motor learning, which is going to be more evident if we slightly widen the understanding of the aforementioned fractal dimension in movement assessment. There is another reason to do that – our previous interpretation of a decreased fractal dimension after water-based exercise was limited to the perception of deficit in the postural system adaptation after it has been affected by serious sensory disturbances. However, Błaszczyk and Klonowski [34] saw positive features of the decreased fractal dimension of the COP trace, namely an increase in stability of the postural control system. This apparent qualitative contradiction between stability and adaptation (or ability to maneuver) [35] seems to be of vital significance for the development

znaczenie dla rozwoju lub rehabilitacji umiejętności motorycznych. Podczas tego rozwoju nabywanie kolejnych umiejętności zaczyna się zwykle zamrażaniem ilości dostępnych stopni swobody, co sprzyja bardziej skutecznej eksploracji przestrzeni sensomotorycznej dzięki uproszczeniu systemu i powiększeniu jego lokalnej stabilności. W tej fazie szybkiego uczenia się znaczenia nowych bodźców, adaptacyjność jest na drugim planie. Można nawet postulować, że niska jej wartość (sprzyjająca zwiększonym wychwianiom COP) jest korzystna w przejściu z poprzedniego do nowego wzorca zachowań motorycznych. W terminologii dynamiki układów nieliniowych preferowane wzorce zachowań lub preferowane strategie noszą nazwę atraktorów [36]. Nasze wyniki potwierdzają, że układ równowagi badanych po jednorazowych ćwiczeniach w wodzie spełnia wymienione wyżej warunki poprzedzające rychłą zmianę atraktora [37], ale nie możemy przewidzieć, czy kilka kolejnych sesji ćwiczeń doprowadziłoby do tej zmiany. Pozytywne wyniki innych prac uzyskane po 20-30 sesjach [6-13] również nie stanowią potwierdzenia zmiany wzorca zachowań posturalnych, lecz wyłącznie poprawę równowagi, która mogła ulec zmianie bez opuszczania poprzedniego atraktora. Biorąc jednak pod uwagę dojrzałość motoryczną i posturalną zdrowych i młodych uczestników tego doświadczenia, trudno się spodziewać istotniejszej poprawy ich zdolności równoważnych wewnątrz poprzedniego obszaru otaczającego atraktor, ponieważ został on już bardzo dokładnie zbadany. Jest to w zgodzie z wynikami Fukusaki i wsp. [38], którzy badali wpływ pojedynczej sesji podobnych ćwiczeń na równowagę, ale była to sesja dość odległa od początku zajęć, a jej efekty były praktycznie niezauważalne. Należy więc przyjąć, zgodnie z wynikami analizy dynamiki układów nieliniowych, że optymalną formą rozwoju jest droga przez kolejne atraktory, czyli po prostu sprzyjanie ich powstawaniu. Przełożenie tego postulatu na język fizjoterapii i treningu sportowego wydaje się być ważnym wyzwaniem mogącym istotnie zmienić podejście do pacjentów i sportowców, a badanie wpływu pojedynczych sesji treningowych ma w tym kluczowe znaczenie.

or rehabilitation of motor skills. During this development acquirement of new motor skills starts from freezing the number of available degrees of freedom, which favors more efficient exploration of the sensorimotor space due to the simplified system and its increased local stability. In this phase of rapid learning of the meanings of new stimuli, adaptation plays a secondary role. One can postulate that its low value (favoring an increased COP displacement) has a positive connotation in the transition from the previous to new patterns of motor behaviors. In the terminology of the dynamics of non-linear systems the preferred behavioral patterns or behavioral strategies are called attractors [36]. Our findings confirm that the participants' postural control system after a single bout of water-based exercise meets the aforementioned requirements preceding the imminent change in the attractor [37], but we cannot foresee if several successive exercise sessions would lead to such a change. Positive results obtained after 20–30 sessions in other studies [6-13] cannot be considered a confirmation of the change in postural behaviors patterns either, but solely an improvement in postural control which could be altered without leaving the previous attractor. Nevertheless, taking into account the motor and postural maturity of young and healthy participants of this experiment, it is difficult to expect a noteworthy improvement of their postural abilities within the previous area surrounding the attractor, as it has already been thoroughly explored. It is in accordance with the findings of Fukusaki et al. [38], who studied the effect of a single bout of similar balance exercises, but it was a session which was held quite long after the beginning of the classes and its effect was hardly visible. That is why it is necessary to assume according to the results of the analysis of the non-linear system dynamics that the optimal form of development is a path through successive attractors, i.e. favoring their creation. In terms of physiotherapy and sports training, it seems to be an important challenge able to change significantly the approach to patients and athletes, and the study of the effects of a single bout of physical training is of vital importance.

Piśmiennictwo

References

- [1] Egawa K. et al. Postural modulation of soleus H-reflex under simulated hypogravity by head-out water immersion in humans. *Environ Med.*, 2000, 44(2), 117-120.
- [2] Mosakowska M. Aquafitness sport całego życia. *Kultura Fizyczna*, 2007, 1-2, 21-26.
- [3] Gola R. Naprawdę warto pływać. *Pływanie*, 2008, 6, 37-39.
- [4] Andersen S. Podstawowe informacje na temat terapii w wodzie. *Rehabilitacja Medyczna*, 2002, 4, 70-76.
- [5] Campion M. *Hydrotherapy: principles and practice*. Elsevier Health Sciences, 1997.
- [6] Janiszewski M., Nowakowska A. Pływanie korekcyjne dla osób z bólami krzyża. *Medycyna Manualna*, 2001, 1-2, 14-19.
- [7] Kaneda K. et al. A comparison of the effects of different water exercise programs on balance ability in elderly people. *J Aging Phys Act.*, 2008, 16(4), 381-392.
- [8] Vivas J. et al. Therapy versus conventional land-based therapy for Parkinson's disease: an open-label pilot study. *Arch Phys Med Rehabil*, 2011, 92(8), 1202-1210.
- [9] Devereux K. et al. Effects of a water-based program on women 65 years and over: A randomised controlled trial. *Australian Journal of Physiotherapy*, 2005, 51, 102-108.
- [10] Simmons V., Hansen P.D. Effectiveness of water exercise on postural mobility in the well elderly: an experimental study on balance enhancement. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.*, 1996, 51(5), M233-238.
- [11] Avelar N. et al. Effectiveness of aquatic and non-aquatic lower limb muscles endurance training in the static and dynamic balance of elderly people. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, 2010, 14, 3, 229-236.
- [12] Arnold C. M. et al. A randomized clinical trial of aquatic versus land exercise to improve balance, function, and quality of life in older women with osteoporosis. *Physiotherapy Canada*, 2008, 60(4), 296-306.
- [13] Lund H. et al. A randomized controlled trial of aquatic and land-based exercise in patients with knee osteoarthritis. *J Rehabil Med.*, 2008, 40(2), 137-144.

- [14] Kuczyński M., Słonka K. Influence of artificial saddle riding on postural stability in children with cerebral palsy. *Gait & Posture*, 1999, 10, 154-160.
- [15] Duarte M., Sternad D. Complexity of human postural control in young and older adults during prolonged standing. *Exp Brain Res.*, 2008, 191(3), 265-276.
- [16] Lamoth C. J. et al. Athletic skill level is reflected in body sway: A test case for accelerometry in combination with stochastic dynamics. *Gait Posture*, 2009, 29(4), 546-551.
- [17] Kuczyński M. et al. Dual task effect on postural control in high level competitive dancers. *Journal of Sports Sciences*, 2011, 29, 539-545.
- [18] Horak F. B., Nashner L. M. Central programming of postural movements: adaptation to altered support-surface configurations. *J Neurophysiol*, 1986, 55(6), 1369-1381.
- [19] Croft J. L. et al. Movement variability and muscle activity relative to center of pressure during unipedal stance on solid and compliant surfaces. *Motor Control.*, 2008, 12(4), 283-295.
- [20] Strang A. J. et al. Structural changes in postural sway lend insight into effects of balance training, vision, and support surface on postural control in a healthy population. *Eur J Appl Physiol.*, 2011, 111(7), 1485-1495.
- [21] Derlich M. et al. Attention demand and postural control in children with hearing deficit. *Research in Developmental Disabilities*, 2011, 32, 1808-1813.
- [22] Dietz V. et al. Human postural reflexes and gravity – an under water simulation. *Neuroscience Letters*, 1989, 106(3), 350-355.
- [23] Masumoto K., Mercer J. A. Biomechanics of human locomotion in water: an electromyographic analysis. *Exercise and Sport Sciences Reviews Exerc Sport Sci Rev.*, 2008, 36(3), 160-169.
- [24] Horak F. B. Postural orientation and equilibrium: What do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age Ageing*, 2006, 35 Suppl 2:ii7-ii11.
- [25] Chen Y. S., Zhou S. Soleus H-reflex and its relation to static postural control. *Gait Posture*, 2011, 33(2), 169-178.
- [26] Taube W. et al. Influence of enhanced visual feedback on postural control and spinal reflex modulation during stance. *Exp Brain Res.*, 2008, 188(3), 353-361.
- [27] Takahashi J. et al. Effect of aqua exercise on recovery of lower limb muscles after downhill running. *J Sports Sci.*, 2006, 24(8), 835-842.
- [28] Carpenter M. G. et al. Shifting the balance: evidence of an exploratory role for postural sway. *Neuroscience*, 2010, 171(1), 196-204.
- [29] Wolpert D. M. et al. Internal models in the cerebellum. *Trends Cogn Sci.*, 1998, 2(9), 338-347.
- [30] Basta D. et al. Vestibular rehabilitation by auditory feedback in otolith disorders. *Gait Posture*, 2008, 28(3), 397-404.
- [31] Mansfield A. et al. Effect of a perturbation-based balance training program on compensatory stepping and grasping reactions in older adults: a randomized controlled trial. *Phys Ther.*, 2010, 90(4), 476-491.
- [32] Leppäluoto J. et al. Habituation of thermal sensations, skin temperatures, and norepinephrine in men exposed to cold air. *J Appl Physiol.*, 2001, 90(4), 1211-1228.
- [33] Mäkinen T. M. et al. Postural sway during single and repeated cold exposures. *Aviat Space Environ Med.*, 2005, 76(10), 947-953.
- [34] Błaszczyk J. W., Klonowski W. Postural stability and fractal dynamics. *Acta Neurobiol Exp.*, 2001, 61(2), 105-112.
- [35] Milton J. G. et al. On the road to automatic: Dynamics aspects in the development of expertise. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 2004, 21, 134-143.
- [36] Connolly K. J., Forssberg H. *Neurophysiology and Neuropsychology of Motor Development*. Mac Keith Press, London 1997.
- [37] Saltzman E. L., Kelso J. A. S. Synergies: stabilities, instabilities and modes. *Behavioral and Brain Sciences*, 1985, 8, 161-163.
- [38] Fukusaki C. et al. Acute effects of exercise on posture in arthritic patients. *Sports Med.*, 2011, 32, 653-658.

Adres do korespondencji:
Address for correspondence:

Michał Kuczyński
Akademia Wychowania Fizycznego
Wydział Fizjoterapii
Al. Paderewskiego 35
51-612 Wrocław

Wpłynęło/Submitted: XI 2012
Zatwierdzono/Accepted: XII 2012