

Akademia Wychowania Fizycznego, Wrocław  
Katedra Biomechaniki, Katedra Gimnastyki,  
University School of Physical Education, Wrocław  
Department of Biomechanics Department of Gymnastics

ANNA JAGUSZ, ALICJA RUTKOWSKA-KUCHARSKA, SŁAWOMIR WINIARSKI,  
KATARZYNA FUJARCZUK, ALEKSANDRA SIKORA,

***Health aspects of human movement system loading during aerobic  
exercises in biomechanics investigations***

---

**Zdrowotne aspekty obciążeń układu ruchu w aerobiku w badaniach  
biomechanicznych**

Zainteresowanie aktywnością ruchową człowieka i jej wpływem na zdrowie jest przedmiotem badań wielu dziedzin nauki. Niezależnie od specjalności badacza podkreśla się problem pozytywnego wpływu ruchu na organizm człowieka. Wpływ ruchu na sprawność fizyczną a tym samym zdrowie człowieka wzrasta wraz ze spadkiem aktywności ruchowej a także wiekiem człowieka (Rutkowska-Kucharska i Jagusz, 2003). Również biomechanika w obszarze swoich szerokich problemów badawczych zajmuje się badaniem wpływu aktywności ruchowej – zarówno pozytywnego jak i negatywnego - na układ ruchu człowieka. Podczas ćwiczeń fizycznych, mięśnie człowieka wyzwalają siłę aby pokonać opór zewnętrzny lub też mu przeciwdziałać. Jeżeli wartość i czas działających sił dostosowana jest do możliwości ćwiczących, to obserwuje się wzrost siły mięśniowej a także wzrost gęstości kości (Będziński, 1997), co przekłada się na większą sprawność fizyczną (Koenig J.M. i wsp., 1995) i zmniejszenie zagrożenia osteoporozą (Machado i wsp. 2002.). Niedostosowanie obciążeń działających na układ ruchu wyrażonych wartością działającej siły zewnętrznej i czasem trwania obciążenia doprowadza do przeciążeń, które są wynikiem przekroczenia wytrzymałości fizycznej tkanek, zdolności adaptacyjnej oraz wydolności czynnościowej mięśni, więzadeł, stawów i kości u człowieka (Rutkowska i wsp., 2004). Z analizy piśmiennictwa wynika, że do czynników, które mogą powodować wzrost wartości sił a tym samym wzrost obciążeń układu ruchu należy technika wykonania ćwiczenia (Maybury i wsp. 1997), prędkość ruchu (Ricard i Veatch, 1994), rodzaj podłoża, na którym wykonuje się ćwiczenia czy też rodzaj obuwia (Rutkowska i Szpala 2004).

Aerobik należy do jednej z najpopularniejszych form aktywności ruchowej uprawianych w klubach fitness przez kobiety. Istnieją dwie techniki wykonywania kroków, przy czym każda z nich ma swoich zwolenników i przeciwników ze względu na opinie instruktorów o obciążeniach występujących podczas ich wykonania. Jedna technika polega na zapoczątkowaniu kroku przez postawienie stopy śródstopiem na podłożu, druga zaś polega na rozpoczęciu kroku przez postawienie pięty. Dlatego też celem pracy jest dokonanie charakterystyki sił działających na układ ruchu, podczas wykonywania kroków zapoczątkowanych zarówno ze śródstopia jak i z pięty.

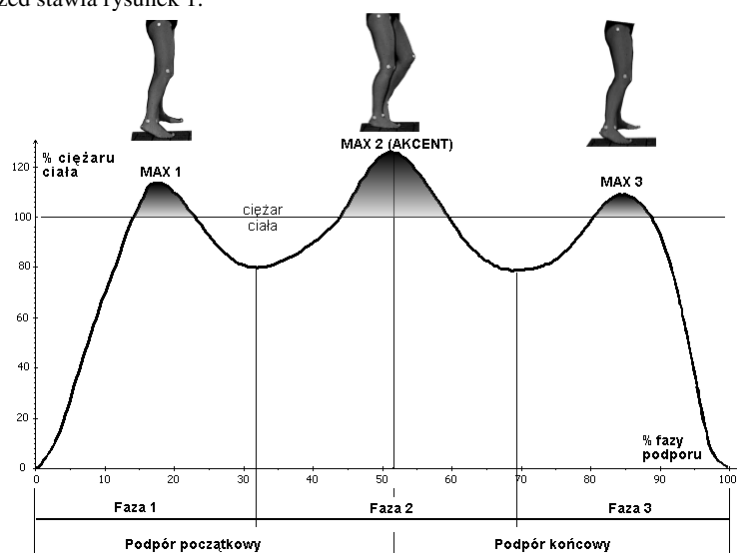
**METODA BADAŃ**

W badaniach uczestniczyły dwie osoby będące instruktorami aerobiku, przy czym jedna z nich preferowała technikę wykonywania kroków „ze śródstopia”, druga preferowała technikę „z pięty”.

Zadanie ruchowe polegało na wykonaniu kroku dostawnego w bok („step touch”) nogą prawą w lewo. Każda z badanych wykonywała 11 kroków techniką, którą preferowała. Zadanie ruchowe wy-

konywano do muzyki, co zapewniało jednakową częstotliwość wykonywania kroków a także stwarzało warunki wykonania ruchu podobne do występujących podczas zajęć aerobiku. Tempo muzyki wynosiło 136 bpm (liczba akcentów w ciągu jednej minuty).

Wartości sił reakcji podłoża rejestrowano za pomocą platformy Kistlera. Oceny obciążeń układu ruchu dokonano na podstawie następujących parametrów: składowej pionowej i bocznej siły reakcji podłoża, prędkości narastania składowej pionowej i bocznej siły reakcji podłoża, popędu siły dla składowej pionowej i bocznej siły reakcji podłoża. Ze względu na różnicę w masie ciała badanych, bezwzględne wartości siły reakcji podłoża przeliczono na wartości względne (dzieląc wartość siły przez masę ciała badanych). Przykładowy zapis siły reakcji podłoża w poszczególnych fazach badanego kroku przed stawia rysunek 1.



Rysunek 1. Przykładowy zapis składowej pionowej siły reakcji podłoża wyrażonej wartościami względnymi, odniesiony do trzech faz ruchu (prezentacja ruchu w płaszczyźnie strzałkowej)

## WYNIKI BADAŃ

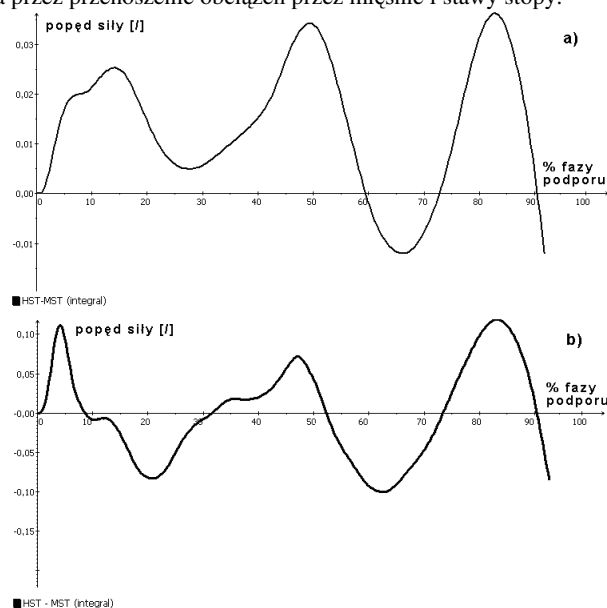
Kroki stosowane na zajęciach aerobiku, wykonywane są zarówno w płaszczyźnie strzałkowej jak i czołowej, przy czym te pierwsze są typowe dla lokomocji człowieka, ponieważ bazują na chodzie i biegu. Analizowany ruch podzielono na trzy fazy. Pierwsza faza rozpoczyna się od momentu pierwszego kontaktu stopy prawej z podłożem i trwa do przeniesienia ciężaru ciała na tę nogę. Druga faza to wykonanie lewą nogą akcentu, czyli postawieniu śródstopia nogi lewej przy prawej stopie. Trzecia faza to moment odepchnięcia z prawej nogi i odstawienie nogi lewej w lewo w bok.

Uwzględniając specyfikę budowy stawu skokowego a także fakt, że krok dostawny odbywa się w płaszczyźnie czołowej, przeprowadzono analizę zarówno składowej pionowej jak i bocznej siły reakcji podłoża.

Tabela 1. Wartości średnie i standardowe odchylenie składowej pionowej ( $F_{z_w}$ ) i bocznej ( $F_{x_w}$ ) siły względnej oraz czasu osiągnięcia maksymalnej wartości składowej pionowej siły reakcji podłoża

|                | Faza 1              |                     | Faza 2              |                     | Faza 3              |                     |
|----------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                | z pięty             | ze śródstopia       | z pięty             | ze śródstopia       | z pięty             | ze śródstopia       |
| $F_{z_w}$ [BW] | 0,98<br>$\pm 0,041$ | 1,18<br>$\pm 0,044$ | 1,20<br>$\pm 0,011$ | 1,28<br>$\pm 0,053$ | 1,32<br>$\pm 0,041$ | 1,11<br>$\pm 0,027$ |
| $F_{x_w}$ [BW] | 0,25<br>$\pm 0,012$ | 0,31<br>$\pm 0,021$ | 0,28<br>$\pm 0,029$ | 0,29<br>$\pm 0,034$ | 0,31<br>$\pm 0,018$ | 0,20<br>$\pm 0,011$ |
| $t_F$ [%]      | 14,4<br>$\pm 0,52$  | 17,7<br>$\pm 0,6$   | 17,6<br>$\pm 0,8$   | 18,8<br>$\pm 0,8$   | 18,7<br>$\pm 0,5$   | 14,5<br>$\pm 0,4$   |

Zarejestrowane wartości siły reakcji podłoża zostały przedstawione w postaci wskaźnika względnego (BW), który informuje o wielkości obciążenia w stosunku do masy ciała badanych. Uzyskane wartości wskaźnika składowej pionowej są zbliżone do wartości rejestrowanych w chodzie człowieka. Natomiast wskaźnik względny składowej bocznej jest znacznie wyższy dla badanego kroku niezależnie od techniki jego wykonania (dla chodu wynosi on 0,03 BW). Innym czynnikiem, który analizuje się w przypadku szacowania obciążeń układu ruchu, jest czas narastania maksymalnej siły reakcji podłoża. Wskaźnik ten wyrażony został w stosunku do czasu poszczególnych faz kroku i podany w procentach. Dłuższy czas narastania maksymalnej wartości składowej pionowej siły reakcji podłoża zarejestrowano dla techniki ze śródstopia, co oznacza, że podczas kontaktu stopy z podłożem nastąpiło tłumienie siły reakcji podłoża przez przenoszenie obciążeń przez mięśnie i stawy stopy.



**Rysunek 2. Różnica popyków (unormowanych względem ciężaru ciała) sił reakcji podłoża dla składowych pionowych (a) i bocznych (b)**

Zróznicowanie dynamiki obciążeń pionowych jak i bocznych w obu technikach wykonania kroku obrazuje przebieg popyku siły, zwłaszcza dla pierwszej fazy ruchu. Wartości dodatnie oznaczają większą siłę reakcji dla techniki z pięty, ujemne – dla techniki ze śródstopia.

## ANALIZA WYNIKÓW

Wartość składowej pionowej siły obliczona dla kroku dostawnego jest zbliżona do uzyskiwanej podczas chodu człowieka, zarówno dla techniki kroku wykonywanego z pięty jak i ze śródstopia. Zbliżone są również do wartości uzyskanych przez innych autorów, którzy w tanecznych formach aerobiku, w zależności od tego czy dominują kroki o charakterze biegowo - skocznościowym (high - impact), czy też chodu (low - impact), zarejestrowano względne wartości siły reakcji podłoża, wynoszące od 1,10 do 2,4 BW (Ricard i Veatch, 1994, Michaud T.J. i wsp. 1994). Z analizy obciążeń wewnętrznych stawu kolanowego (Winter, 1976) wynika, że obciążenia powierzchni stawu jak i mięśni obsługujących ten staw rosną wraz ze wzrostem zakresu zginania w tym stawie. Wynika z tego, że bezpośrednim czynnikiem kontuzjogennym mogą być relacje katowe między segmentami kończyny dolnej. Ponieważ wartości sił pionowych nie są bezpośrednim czynnikiem przeciążającym stawy kolanowe, dalszą analizę należy połączyć z pomiarami zakresu ruchu w stawie kolanowym, a także pomiarami aktywności EMG mięśni kończyn dolnych.

Znacznie większe wartości składowej bocznej w porównaniu z chodem mogą wskazywać na ryzyko kontuzji zwłaszcza w stawie skokowym.

O ile pozytywny wpływ zajęć z aerobiku na stronę psychiczną i sprawność fizyczną został udokumentowany, to problem przeciążeń jest przedmiotem badań biomechanicznych. Dlatego też celem długofalowego programu badań nad techniką kroków w aerobiku jest, z jednej strony oszacowanie wartości sił działających na układ ruchu ćwiczących, z drugiej zaś wskazanie optymalnych warunków prowadzenia zajęć z różnych form aerobiku, tak aby ćwiczenia prowadzone oddziaływały pozytywnie na mięśnie i strukturę kości ćwiczących, nie powodując jednocześnie przeciążeń stawów skokowych, kolanowych i biodrowych.

### WNIOSKI

1. Wartości składowej pionowej siły reakcji podłoża podczas wykonywania kroku dostawnego (tak z pięty jak i palców) są zbliżone do rejestrowanych w chodzie człowieka.
2. Wartości składowej bocznej są znacznie większe dla techniki kroków aerobiku niż w chodzie. Ten parametr powinien być przedmiotem analizy w dalszych badaniach.
3. Prędkość narastania maksymalnej siły reakcji podłoża jest większa w kroku wykonywanym z pięty niż ze śródstopia.

### PIŚMIENNICTWO

1. Będziński R. Biomechanika inżynierska. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 1997.
2. Koenig J.M. i wsp. The effect of bench step aerobics on muscular strength, power, and endurance. *J. of Strength and Conditioning Research*, 1995, 9:43-46.
3. Machado M. i wsp. Biomechanical effects of step exercise program of elderly women. *Proceedings of the ECSS*, 2002, 0286/188.
4. Maybury M.C. i wsp. An investigation into the relation between step height and ground reaction forces in step exercise: pilot study. *Br. J. Sports Medicine*, 1997, 31:109-113.
5. Michaud T.J. i wsp. Ground reaction forces in high impact and low impact aerobic dance. *J. of Sports Medicine and Phys. Fitness*, 1993, 33:359-66.
6. Ricard M.D. i wsp. Effect of running speed and aerobic dance jump height on vertical ground reaction forces. *J. of Applied Biomechanics*, 1994, 10:14-27.
7. Rutkowska-Kucharska A., Jagusz A. Projekt programu badań sprawność fizycznej i parametrów zdrowotnych kobiet w średnim wieku (45-55 lat). *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, Sectio D Medicina*, 2003, 58:44-49.
8. Rutkowska-Kucharska A., Szpala A. Obciążenia układu ruchu a wartość siły reakcji podłoża w ćwiczeniach na „stepie”. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, 2004, 6:293-297.
9. Rutkowska-Kucharska A. i wsp. Obciążenie układu ruchu w sporcie. W: red. Nałęcz T. *Biocybernetyka i inżynieria biomedyczna 2000*, PAN, 2004, 5:631-647.
10. Winter D.A. *Biomechanics of human movement*. 1976, John Wiley & Sons.

### STRESZCZENIE

Aerobik należy do jednej z najpopularniejszych form aktywności ruchowej uprawianych w klubach fitness przez kobiety. Pozytywny efekt tego typu aktywności wyraża się we wzroście siły mięśniowej. Ponadto podczas ćwiczeń, pionowe siły reakcji podłoża działają na kości i w pozytywny sposób wpływają na ich strukturę. Z drugiej strony ten rodzaj aktywności fizycznej może powodować ryzyko przeciążeń. celem tych badań było zdiagnozowanie pionowych i poziomych bocznych sił reakcji podłoża w kroku dostawnym (jednym z podstawowych kroków aerobiku). Uczestniczkami badań były dwie profesjonalne instruktorki aerobiku. Zadanie ruchowe polegało na wykonaniu kroku dostawnego w bok („step touch”) nogą prawą w dwóch technikach. Wartości składowej pionowej siły reakcji podłoża podczas wykonywania kroku dostawnego (tak z pięty jak i palców) są zbliżone do rejestrowanych w chodzie człowieka. Dlatego stwierdzić można, że siły pionowe w kroku dostawnym nie powodują przeciążeń układu ruchu. Natomiast wartości składowej bocznej siły reakcji podłoża w kroku dostawnym różnią się od tych obserwowanych w marszu.

## **SUMMARY**

The aerobic is a very popular form of physical activity, especially for women. Its positive influence on the body is expressed in the increase of muscular force. Moreover, during exercises, vertical ground reaction forces apply loads to bones in their long axis, affecting their structure in the positive way. On the other hand, this kind of exercises may cause risk of overload . The aim of this research was to investigate the values of vertical and lateral ground reaction forces in “step touch” (one of basic step in low-impact aerobic). Two professional instructors of aerobics participated in the research, they executed steps using two different techniques. The Kistler force plate was used. Values of vertical ground reaction force, registered in both techniques of exercises, are similar to the values observed during gait. Therefore it can be assumed that they’re not the cause of overload. On the other hand lateral ground reaction forces registered in aerobic steps are different from the ones observed during gait.