

Joanna GOLEC<sup>1</sup>  
Elżbieta SZCZYGIEL<sup>2</sup>  
Dorota CZECHOWSKA<sup>3</sup>  
Sylwia MĘTEL<sup>4</sup>  
Paweł SZOT<sup>5</sup>  
Edward GOLEC<sup>3,6</sup>

<sup>1</sup>Zakład Rehabilitacji w Traumatologii, Katedra Rehabilitacji Klinicznej, Wydział Rehabilitacji Ruchowej, Akademia Wychowania Fizycznego im. Bronisława Czecha, Al. Jana Pawła II 78, 31-571 Kraków.  
Kierownik Zakładu:  
dr Elżbieta Ciszek

<sup>2</sup>Kierunek Fizjoterapii, Wydział Zdrowia i Nauk Medycznych, Krakowska Akademia im. Andrzeja Frycza Modrzewskiego, ul. Gustawa Herlinga Grudzińskiego 1, 30-705 Kraków.  
Kierownik Zakładu:  
prof. dr hab. n. med. Bogusław Frańczuk

<sup>3</sup>Zakład Rehabilitacji w Ortopedii, Katedra Rehabilitacji Klinicznej, Wydział Rehabilitacji Ruchowej, Akademia Wychowania Fizycznego im. Bronisława Czecha, Al. Jana Pawła II 78, 31-571 Kraków.  
Kierownik Zakładu:  
dr hab. n. med. Edward Golec prof. nadzw

<sup>4</sup>Zakład Medycyny Fizycznej i Odnowy Biologicznej, Katedra Rehabilitacji Klinicznej, Wydział Rehabilitacji Ruchowej, Akademia Wychowania Fizycznego im. Bronisława Czecha, Al. Jana Pawła II 78, 31-571 Kraków.  
Kierownik Zakładu:  
dr n. med. Jacek Głodzik.

<sup>5</sup>Zakład Fizjoterapii, Instytut Fizjoterapii, Wydział Nauk o Zdrowiu Uniwersytetu Jagiellońskiego Collegium Medicum, ul. Medyczna 9, 30-688 Kraków.  
Kierownik Zakładu:  
prof. dr hab. n. med. Bogusław Frańczuk.

<sup>6</sup>Klinika Chirurgii Urazowej i Ortopedii, 5. Wojskowy Szpital Kliniczny z Polikliniką SPZOZ, ul. Wrocławska 1-3, 30-901 Kraków.  
Kierownik Kliniki:  
dr hab. n. med. Edward Golec prof. nadzw.

**Słowa kluczowe:**  
symetria chodu, akcelerometria

**Key words:** gait symmetry, accelerometry

Adres do korespondencji:  
Joanna Golec,  
Zakład Rehabilitacji w Ortopedii,  
Katedra Rehabilitacji Klinicznej, Wydział Rehabilitacji Ruchowej, Akademia Wychowania Fizycznego im. Bronisława Czecha, Al. Jana Pawła II 78, 31-571 Kraków.  
e-mail: joannagolec@wp.pl

## Symetria chodu u osób zdrowych w ocenie akcelerometrycznej

The accelerometric evaluation of gait symmetry in healthy population

Autorzy pracy dokonują oceny symetrii chodu u osób zdrowych w oparciu o komputerowy analizator chodu CQAccel 2011CQ Elektronik System typu MEMS. Materiał badań stanowiło 36 zdrowych osób w wieku od 20 do 23 roku życia z jego średnią 22,17 lat (SD=3,16). Trajektorie ruchu kończyn dolnych w płaszczyźnie czołowej i strzałkowej ustalono w oparciu o czujniki lokalizowane na kołcach biodrowych tylnych górnych miednicy zawierające scalony przetwornik akcelerometryczno żyroskopowy. Dokonano także pomiaru czasu cyklu chodu dla obu kończyn dolnych, wartości wypadkowej przyspieszenia (RMS) oraz wpływu lateralizacji na czas fazy obciążania. Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej opartej na testach nieparametrycznych. Pozwoliły one przyjąć stanowisko, że u osób zdrowych w czasie chodu obecna jest istotna asymetria trajektorii ruchu obu kończyn dolnych w płaszczyźnie czołowej oraz jej brak w płaszczyźnie strzałkowej. Dominacja jednej z kończyn dolnych w czasie chodu nie ma istotnego wpływu na jego fazę podporu, a wartość wypadkowego przyspieszenia (RMS) chodu ma znaczący wpływ na jego symetrię.

### Wstęp

Chód jest podstawowym warunkiem codziennej aktywności i jedną z najbardziej uniwersalnych i złożonych form zdolności motorycznych człowieka [1]. Jest umiejętnością ruchową kierowaną przez kilka wewnętrznie powiązanych ze sobą dróg z kory mózgowej do mięśni. Przyjęcie założenia o kluczowym znaczeniu symetrii kończyn dolnych dla realizacji prawidłowego i wydolnego chodu, skutkuje koniecznością oceny jego asymetrii jako konsekwencji rozwoju całego szeregu zmian patologicznych [2,3]. Wydaje się zatem, że ocena asymetrii chodu z wykorzystaniem między innymi reakcji sił podłoża oddziaływujących na obie stopy, pomiarów z zastosowaniem trójwymiarowego elektrogoniometru, ocena symetrii ruchów stawów biodrowych i kolanowych w przynależnych im płaszczyznach lub badanie EMG, stanowi punkt wyjścia analizy prezentowanych rozważań [4,5]. Interpretacja asymetrii chodu u osób zdrowych znalazła już swoje odzwierciedlenie między innymi w badaniach Hirasawa [6] i Vanden-Abeele'a [7]. Jest także rozważana i rozwijana w kontekście określonych zmian chorobowych odnoszących się między innymi do narządu ruchu [8] lub Centralnego Układu Nerwowego [9]. Istotne znaczenie w analizie omawianych zmiennych przypisuje się także szeroko rozumianej dominacji kończyn [10], jako mającej zasadniczy wpływ na charakterystykę

The authors evaluate the gait symmetry using gait analyzer CQAccel 2011CQ Electronics and MEMS-type system in healthy population. The research material consists of 36 people aged 20-23 years old (average 22.17 years old SD=3.16). Lower limbs motion trajectories were measured in the coronal and sagittal planes basing on sensors placed on posterior superior iliac spines containing accelero-gyro sensors. The gait cycle time, root mean square (RMS) and the effect of lateralization during stance phase have also been measured. The results were based on statistically analyzed nonparametric tests. They confirmed that in healthy population the important lower limbs asymmetry in coronal plane and RMS significant influence on the gait are present. The tests also confirmed that there is no gait asymmetry in sagittal plane and the limb dominance has significant effect on the stance phase.

różnych faz chodu. Peters [11] w 1988 roku wprowadza natomiast, pojęcie „stopy preferowanej” jako tej, która inicjuje ruch stopy i całej kończyny oraz określa funkcje podporowe i stabilizujące ciała w oparciu o kończynę przeciwną. Wydaje się zatem, że poznanie mechanizmów zarządzających symetrią i dominacją kończyn dolnych w różnych fazach chodu u osób zdrowych, może skutkować poznaniem tych mechanizmów również u osób chorych.

### Cel pracy

Celem pracy była charakterystyka symetrii chodu u osób zdrowych, a w szczególności udzielenie odpowiedzi na następujące pytania:

1. Czy dla obu kończyn dolnych w czasie chodu istnieje jego symetria w płaszczyźnie strzałkowej i czołowej w oparciu o wyznaczoną trajektorię ruchu dla kołców biodrowych tylnych górnych miednicy?
2. Czy dominacja jednej z kończyn dolnych w czasie chodu ma wpływ na fazę podporu jednonożnego?
3. Czy wartość wypadkowego przyspieszenia (RMS) podczas chodu w oparciu o wyznaczoną trajektorię ruchu dla kołców biodrowych tylnych górnych miednicy, ma wpływ na jego symetrię?

### Materiał badań

Cel pracy zrealizowano w oparciu o materiał, który stanowiło 36 zdrowych osób. Były to 22 kobiety, co daje 61% oraz 14 mężczyzn, co stanowi 39%. Wiek włączonych do badania zawierał się w przedziale od 20 do 23 roku życia, dając średnią 22,17 lat (SD=3,16).

### Metoda badań

Badanie przeprowadzono w oparciu o komputerowy analizator chodu CQAccel 2011CQ Elektronik System typu MEMS. Urządzenie zawiera 6 czujników z wmontowanym akcelerometrem, żyroskopem oraz magnetometrem rejestrujące dane w 3 ortogonalnych (prostopadłych do siebie) osiach X,Y,Z. Realizacja badania polegała na umieszczeniu czujników zawierających scalony przetwornik akcelerometryczno-żyroskopowy w wybranych punktach ciała badanego. Dane gromadzone przez układ pomiarowy przesyłane były do komputera centralnego drogą przewodową. Oprogramowanie zainstalowane w kompu-

terze PC odpowiadało za przekształcenie wyniku pomiaru. Relatywnie duża częstotliwość akwizycji pomiarów (50Hz) pozwoliła na programowe filtrowanie i analizę matematyczną przebiegu, a uzyskane dane poddano analizie statystycznej. Czujniki służące do pomiaru przyspieszenia liniowego umieszczano na kołcach biodrowych tylnych górnych miednicy. Każdy z odczytów czujnika potraktowano jak oddzielny szereg czasowy. Za pomocą analizy Fouriera określono długość podstawowego cyklu każdego z szeregów (szybka transformacja Fouriera - FFT) – wyliczono peridogram i wybrano z niego podstawową częstotliwość danego szeregu. W ten sposób uzyskano długość cyklu dla każdego z 6 czujników. Za długość cyklu na kończynie przyjmowano średnią długość cyklu z trzech czujników na niej umieszczonych. Ich lokalizacja w odniesieniu do obu kończyn dolnych w aplikacji pierwszej to: kostki boczne goleni, guzowatość kości piszczelowej oraz krętarz większy kości udowych. W aplikacji drugiej natomiast: kolce biodrowe tylne górne, wyrostki barkowe łopatki oraz wyrostek kołczysty kręgu C<sub>7</sub> i punkt środkowy czoła. W obu aplikacjach badani pokonywali dystans 4 x 10 metrów. W analizie stosowano zawsze statystyki nieparametryczne, gdyż dane zazwyczaj nie miały rozkładu normalnego i były z sobą skorelowane. Wypadkową wartość przyspieszenia chodu (RMS – Root Mean Square) ustalono ze wzoru:

$$RMS = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

gdzie a<sub>X</sub>, a<sub>Y</sub> i a<sub>Z</sub> oznaczają składowe przyspieszenia zmierzone w trzech płaszczyznach, co pozwala na interpretację RMS jako wypadkową wartość przyspieszenia.

### Wyniki

#### Ocena RMS w oparciu o trajektorię ruchu z kołców biodrowych tylnych górnych miednicy.

Dokonując oceny RMS w oparciu o trajektorię ruchu uzyskaną z kołców biodrowych tylnych górnych miednicy i porównując je z wynikami testu Manna-Whitney'a stwierdzono, że analizowane dane nie charakteryzowały się rozkładem normalnym i były ze sobą skorelowane. U 35 włączonych do badania, co stanowi 97,2% odnotowano różnice w wartościach RMS pomiędzy kończyną dolną lewą i prawą, natomiast u 1 z nich, czyli u 2,8% różnic takich nie odnoto-

wano. Prędkość w każdym kierunku ustalano na podstawie całkowania wyniku pomiaru przyspieszenia. Z tak uzyskanych wartości prędkości wyliczono RMS i przeanalizowano analogicznie do przyspieszeń. Istotne różnicę dla kolca biodrowego tylnego górnego lewego i prawego miednicy odnotowano u 28 badanych, co stanowi 71,4%, a u 8 z nich, czyli u 28,6% nie wykazano takich różnic. (Tabela I).

Tabela I. Ocena RMS

Brak różnic		Różnice istotne	
n	%	n	%
1	2,8	35	97,2
8	28,6	28	71,4

#### Wyniki porównania długości cyklu chodu na obu kończynach [sekundy]

Długość cyklu na obu kończynach dolnych dla każdego włączonego do badania obliczono za pomocą FFT (transformacja Fouriera). U 18 z nich, co stanowi 50% odnotowano jednakowy czas cyklu dla prawej i lewej kończyny dolnej. Różnice do 1% odnotowano u 14 badanych, czyli u 39%, a różnice powyżej 1% u 4 z nich, co stanowi 11%. (Tabela II,III).

Tabela II. Ocena długości cykli chodu

Jednakowy czas cyklu chodu na obu kończynach dolnych		Różnica do 1%		Różnica powyżej 1%	
n	%	n	%	n	%
18	50	14	39	4	11

Wartość p testu t-Studenta dla par włączonych była większa od 0,05. Tak więc długości cyklu chodu mierzona na obu kończynach dolnych nie różnią się istotnie statystycznie.

Tabela III.

Analiza statystyczna dla par włączonych w ocenie długości cykli chodu

Kończyna dolna	Średni czas w sekundach (SD)	Test t-Studenta dla par włączonych
Lewa	1,041 0,076	t= 0,500 p=0,622
Prawa	1,042 0,077	

#### Ocena trajektorii ruchu kołców biodrowych tylnych górnych miednicy w płaszczyźnie strzałkowej.

Dla każdego włączonego do badania ustalano trajektorię ruchu kolca biodrowego miednicy tylnego górnego lewego i prawego. Uzyskane wyniki porównano z danymi testu Manna-Whitney'a. Wybór tego testu był powodowany brakiem rozkładu normalnego dla analizowanych danych, co postrzegano jako naturalne przy ocenie szeregu w czaso-

wych. Dane te były natomiast, ze sobą skorelowane. Obecność istotnie statystycznie różnic oznaczała, że trajektorie ruchu kołców biodrowych miednicy tylnych górnych różniły się między sobą. Taki stan rzeczy odnotowano u 12 badanych, czyli u 33,3%, a ich brak u pozostałych 24, czyli 66,7% (Tabela IV)

#### Ocena trajektorii ruchu kołców biodrowych tylnych górnych miednicy w płaszczyźnie czołowej.

Dokonując oceny trajektorii ruchu kołców biodrowych tylnych górnych miednicy w płaszczyźnie czołowej, u 32 badanych, co stanowi 88,9% zaobserwowano istotne różnice, a u pozostałych 4, czyli u 11,1% takich różnic nie wykazano. (Tabela IV).

Tabela IV.

Ocena trajektorii ruchu kołców biodrowych tylnych górnych miednicy w płaszczyźnie strzałkowej i czołowej

Brak różnic		Różnice istotne	
Płaszczyzna strzałkowa			
n	%	n	%
24	66,7	12	33,3
Płaszczyzna czołowa			
4	11,1	32	88,9

#### Ocena długość fazy podporu kończyny dominującej.

U każdego badanego wykonano pomiar czasu fazy jednołożnego podparcia kończyny dolnej dominującej. Średni czas podporu dla kończyny dominującej wynosił 0,628 sekund, natomiast dla kończyny przeciwnej 0,63 sekund. Wartość p testu t-Studenta dla par związanych była większa od 0,05. Tak więc długości fazy podporu dla obu kończyn nie różniła się istotnie statystycznie. (Tabela V).

Tabela V.

Ocena długości fazy podporu kończyny dominującej

Kończyna	Średni czas podporu (SD)	Test t-Studenta dla par związanych
Dominująca	0,628	t= 0,319 p=0,752
Niedominująca	0,63	

#### Dyskusja

Zdaniem między innymi Gabbard'a [11] termin „symetria chodu” może sugerować brak istotnych różnic w analizie określonych zmiennych charakteryzujących jego poszczególne fazy u osób zdrowych. Charakteryzuje się on między innymi symetrycznością poszczególnych składowych z niewielkimi odchyleniami. Między innymi

Sadeghi i wsp. [3] definiują symetrię chodu jako zgodne działanie kończyn dolnych, w trakcie czego górna część ciała przyjmuje funkcje stabilizujące. Ramiona poruszają się w kierunku przeciwnym do kończyn dolnych równoważąc tym samym moment pędu jego części dolnej. Taki stan kinematyczny pozwala również na obniżenie wydatku energii niezbędnego do jego realizacji. Zdaniem tych samych autorów symetria chodu może być definiowana wówczas, gdy jego zmienne mierzone obustronnie nie wskazują różnic znamiennych statystycznie [3]. Analiza chodu jest powszechnie stosowanym narzędziem w ocenie między innymi różnego rodzaju strukturalnych i czynnościowych zaburzeniach układu kostnowstawowego [8,12], czy też uszkodzeń mózgu [9]. Ocena w tym kontekście zaburzeń jego symetrii, ale także w odniesieniu do dominacji jednej z kończyn dolnych wydaje się być kluczem do rozważań nad skutecznością proponowanych rozwiązań rehabilitacyjnych zarówno w okresie obserwacji wczesnej jak i odległej. Między innymi Claeys [13] zwraca uwagę na znaczenie badania symetrii chodu w ocenie różnego rodzaju zmian patologicznych wykazując jednocześnie podobieństwa pomiędzy kończynami dolnymi w konfrontacji z pionowymi i horyzontalnymi siłami reakcji podłoża. W badaniach własnych u osób zdrowych wykazano między innymi symetryczność czasu trwania cykli chodu dla obu kończyn dolnych, w tym bez istotnych statystycznie różnic. Oceniając symetrię trajektorii ruchu w płaszczyźnie czołowej i strzałkowej w oparciu o wartości akceleracji z czujników umocowanych na kołcach biodrowych tylnych górnych miednicy, w płaszczyźnie strzałkowej w badanej grupie nie odnotowano asymetrii chodu. Odnotowano ją natomiast, w płaszczyźnie czołowej u zdecydowanej większości z nich. Już w XIX wieku Broca [14] zwrócił uwagę na znaczenie i jako pierwszy użył terminu lateralizacja. Od tej pory uznano, że lewa półkula mózgu odpowiedzialna jest za kontrolę precyzyjnych czynności ruchowych wykonywanych po obu stronach ciała (lewa-prawa), podczas gdy prawa półkula jest związana z obustronną przestrzenną umiejętnością somatosensoryczną oraz funkcjami ruchowymi. Lee i wsp.[15] charakteryzując na bieżni ruchomej bieg młodych wyczynowych sportowców, u zdecydowanej większości z nich zaob-

serwował wyraźną jego asymetrię jednostronną, a u pozostałych asymetrię obustronną. Podobne spostrzeżenia są udziałem między innymi Karamanidis'a i wsp. [16], którzy określają także index symetrii chodu. W badaniach własnych dokonano pomiaru czasu fazy jednołożnego podparcia podczas chodu z uwzględnieniem kończyny dolnej dominującej, a uzyskane tą drogą wyniki pozwoliły na stwierdzenie, że długości fazy podporu obu kończyn nie różniła się istotnie statystycznie. Podobnie Gabbard i wsp. [11] na podstawie badań przeprowadzonych wśród dzieci i dorosłych, pomimo dominacji kończyny dolnej prawej, nie odnotowali różnicy znamiennej statystycznie dla analizowanych zmiennych. Wpływ kończyny dominującej na symetrię chodu u osób dotkniętych różnego rodzaju schorzeniami ogólnoustrojowymi i zmianami miejscowymi, wydaje się być bezsporny i znajduje swoją prezentację na łamach literatury fachowej [3,5,8,9,10]. Brak jest jednak jednoznacznych doniesień o zmianach i uwarunkowaniach symetrii chodu u osób zdrowych.

#### Wnioski

Analiza przeprowadzonych badań upoważnia do sformułowania następujących wniosków:

1. U osób zdrowych w czasie chodu obecna jest istotna asymetria trajektorii ruchu kończyn dolnych w płaszczyźnie czołowej oraz jej brak w płaszczyźnie strzałkowej.
2. Dominacja jednej z kończyn dolnych w czasie chodu nie ma istotnego wpływu na jego fazę podporu.
3. Wartość wypadkowego przyspieszenia (RMS) podczas chodu ma znaczący wpływ na jego symetrię.

#### Piśmiennictwo

1. Ch SH, Park JM, Kwon OY. Gender differences in three dimensional gait analysis from 98 healthy Korean adults. Clin Biomech 2004;19:145-152.
2. Zifchock RA, Davis I, Higginson J, Royer T. The symmetry angle: a novel, robust method of quantifying asymmetry. Gait Post 2008;27:622-627.
3. Sadeghi H, Allard P, Prince F, Labelle H. Symmetry and limb dominance in able-bodied gait: a review. Gait Post 2000;12:34-45.
4. Hannah RE, Morrison JB, Chapman AE. Kinematic symmetry of the lower limbs. Arch Phys Med Rehab 1984;65:155-158.
5. Gouwanda D, Senanayake A. Identifying gait asymmetry using gyroscopes-a cross-correlation and normalized symmetry index approach. J Biomech 2011;44:972-978.

6. **Hirasawa Y.** Left leg supporting human straight (bipedal) standing. *Saien* 1981;6:32-44.
7. **Vanden-Abee J.** Comments on the functional asymmetry of the lower extremities. *Cortex* 1980;16:325-329.
8. **Golec J, Ziemka J, Szczygiel E, Czechowska D, Milert A, Kreska-Korus A, Golec E.** Ocena fotogrametryczna zaburzeń postawy ciała w chorobie zwyrodnieniowej stawów biodrowych. *Ostry Dyżur* 2012;5(3-4):41-47.
9. **Szczygiel E, Gramatyka M, Golec J, Czechowska D, Milert , Golec E.** Ocena zmian akcelerometrycznych na wybranych poziomach narządu ruchu u chorych po udarze niedokrwinnym mózgu. *Ostry Dyżur* 2012;5(3-4):51-55.
10. **Macedo LG, Magee DJ.** Differences in range of motion between dominant and nondominant sides of upper and lower extremities. *J Manio Physiol Therap* 2008;31:577-582.
11. **Gabbard C.** Coming to terms with laterality. *J Psychol* 1997;13:561-568.
12. **Kodesh E, Kafri M, Dar G, Dickstein R.** Walking speed, unilateral leg loading and step symmetry in young adults. *Gait Post* 2012;35:66-69.
13. **Claeys R.** The analysis of ground reaction forces in pathological gait secondary to disorders of the foot. *Int Orthop* 1983;7:113-119.
14. **Broca P.** Sur le siège de la faculté du langage articulé. *Bull Soc Anthropol* 1865;6:377-393.
15. **Lee JB, Sutter KJ, Askew CD, Burkett BJ.** Identifying symmetry in running gait using a single inertial sensor. *J Scien Med Sport* 2010;13:559-563.
16. **Karamanidis K, Arampatzis A, Brüggemann G.** Symmetry and reproducibility of kinematic parameters during various running techniques. *Med Sci Sport Exer* 2003;35:1009-1016.