

# Analiza chodu pacjentów po endoprotezoplastyce stawu biodrowego

## Gait analysis in Patients after Unilateral Hip Arthroplasty

**Konrad Kopeć<sup>1(A,B,C,D,E,F)</sup>, Damian Kusz<sup>1(A,D,F,G)</sup>, Grzegorz Sobała<sup>2(A,B,C,E)</sup>,  
 Karina Nowak<sup>2(B,C,D)</sup>, Maciej Mierzwiński<sup>1(A,D,E,F)</sup>, Mariusz Nowak<sup>1(A,D,G)</sup>**

<sup>1</sup> Katedra i Klinika Ortopedii i Traumatologii Narządu Ruchu, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, Polska

<sup>2</sup> Katedra Motoryczności Człowieka, Akademia Wychowania Fizycznego w Katowicach, Polska

<sup>1</sup> Department of Orthopaedics and Musculoskeletal Traumatology, Medical University of Silesia in Katowice, Poland

<sup>2</sup> Department of Human Motor Behaviour, Academy of Physical Education in Katowice, Poland

### STRESZCZENIE

**Wstęp.** Choroba zwyrodnieniowa jest najczęstszą patologią stawów i główną przyczyną niepełnosprawności osób starszych. Najskuteczniejszym leczeniem pozostaje zabieg endoprotezoplastyki. W rutynowej ocenie pooperacyjnej pacjentów brakuje obiektywnego badania funkcjonalnego, z możliwością wnioskowania dotyczącego ewentualnej dalszej rehabilitacji. Przestrzeń tę wypełnia analiza chodu pacjentów po zabiegu endoprotezoplastyki. Celem pracy była analiza ilościowa i jakościowa wybranych parametrów chodu pacjentów po jednostronnej niecementowanej endoprotezoplastyce stawu biodrowego.

**Materiał i metody.** Badaniu poddano grupę 16 pacjentów przed i po zabiegu endoprotezoplastyki stawu biodrowego. Analizę chodu wykonano przed zabiegiem operacyjnym i minimum 6 miesięcy po operacji. W badaniu wykorzystano system do przestrzennej analizy ruchu Smart DX BTS.

**Wyniki.** Po stronie dotkniętej chorobą zwyrodnieniową faza podporowa była znamiennie statystycznie krótsza ( $p<0,05$ ) i wynosiła 63,8 (% cyklu chodu) w stosunku do strony zdrowej 69,4 (% cyklu chodu). Po zabiegu, po stronie zdrowej wydłużeniu uległa faza przenoszenia  $p<0,05$  z 30,6 do 35,1 (% cyklu chodu). Istotna statystycznie zmiana dotyczyła także fazy podwójnego podporu (wykrocza kończyna z koksartrozą), która uległa wyraźnemu skróceniu. Wydłużyła się średnia długość kroku pojedynczego oraz podwójnego, kadencja, średnia prędkość lokomocji oraz prędkość wymachu kończyny w fazie przenoszenia. Zakres ruchomości stawu biodrowego zwiększył się we wszystkich płaszczyznach, szczególnie w płaszczyźnie strzałkowej.

**Wniosek.** Analizowane parametry czasowo-przestrzenne chodu w obrębie kończyny operowanej po endoprotezoplastyce, wskazują na poprawę w stosunku do stanu przed zabiegiem, jednak nie dorównują parametrom ludzi zdrowych.

**Słowa kluczowe:** chód, aloplastyka, biodro, wymiana, choroba zwyrodnieniowa

### SUMMARY

**Background.** Osteoarthritis (OA) is the most common joint pathology and the main cause of disability in elderly persons. Arthroplasty still remains the most effective treatment of OA. Routine post-operative patient assessment does not include an objective functional examination leading to conclusions regarding the need of further rehabilitation. This role is played by gait analysis performed in patients after arthroplasty. The aim of the study was to conduct a quantitative and qualitative analysis of selected gait parameters in patients after unilateral cementless hip arthroplasty.

**Material and methods.** The study involved a group of 16 patients who were examined before and after hip arthroplasty. Gait analysis was conducted before surgery and at least 6 months after the procedure. The Smart DX BTS system for spatial gait analysis was used.

**Results.** The duration of the stance phase on the affected side was 63.8 [% gait cycle] and was significantly shorter ( $p<0.05$ ) than the phase on the unaffected side, with a duration of 69.4 [% gait cycle]. After surgery, the duration of swing phase on the unaffected side increased ( $p<0.05$ ) from 30.6 to 35.1 [% gait cycle]. A statistically significant change was also found in the double support phase (the arthritic limb as the front limb), which was markedly shortened. The average length of a single and double step, cadence, average gait velocity, and the velocity of leg swing in the swing phase increased. The range of hip mobility increased in all planes, especially in the sagittal plane.

**Conclusion.** The space and time gait parameters with regard to the operated leg after hip arthroplasty indicate an improvement as compared with the baseline results; however, they do not reach the values found in healthy persons.

**Key words:** gait, arthroplasty, hip, replacement, osteoarthritis

## WSTĘP

Choroba zwyrodnieniowa jest najczęstszą patologią stawów i główną przyczyną niepełnosprawności osób starszych w krajach rozwiniętych. Według rejestrów norweskich szacuje się, że objawy kliniczne lub radiologiczne mogą dotyczyć nawet 12,8% populacji po 25 roku życia [1]. Lokalizacja w stawie biodrowym jest drugą co do częstości po stawie kolano-wym, a według badań amerykańskich występuje u 5,9% ludzi w grupie wiekowej 45-54 i aż u 17% ludzi powyżej 75 roku życia [2]. Przy stale rosnącej średniej długości życia, choroba zwyrodnieniowa stawów stała się jednym z najważniejszych schorzeń cywilizacyjnych, generującym olbrzymie koszty społeczne [3]. Oczekuje się, że koszty te będą jeszcze większe wraz z coraz częstszym występowaniem otyłości [4]. Według WHO i AAOS chorobę zwyrodnieniową stawów definiujemy jako wynik zdarzeń zarówno mechanicznych, jak i biologicznych, które prowadzą do zaburzenia równowagi pomiędzy powiązanymi ze sobą procesami degeneracji i regeneracji chrząstki stawowej i warstwy podchrzęstnej kości. Etiologia choroby jest wieloczynnikowa, a w patogenezie biorą udział czynniki genetyczne, rozwojowe, metaboliczne i urazowe. Choroba obejmuje wszystkie tkanki stawu i przejawia się zmianami morfologicznymi, biochemicznymi, molekularnymi i biomechanicznymi zarówno w obrębie komórek, jak i macierzy. Prowadzi do rozmiękania, zwłóknienia, powstania nadżerek i ubytków chrząstki, a także zagęszczenia tkanki kostnej podchrzęstnej, tworzenia osteofitów i torbieli podchrzęstnych. Klinicznie manifestuje się bólem, upośledzoną czynnością stawu, wzmożoną tkliwością, ograniczeniem ruchomości czynnej i biernej stawu, różnie nasiłonym obrzękiem wraz z miejscowym stanem zapalnym, a w przypadku stawów kończyny dolnej ma istotny wpływ na zmiany kinetyczne oraz kinematyczne chodu [5]. Mimo rozwoju badań nad patogenezą choroby, nie określono jednego, zasadniczego łańcucha patogenetycznego prowadzącego do uszkodzenia struktur tworzących staw i nie ma obecnie możliwości wdrożenia skutecznego leczenia przyczynowego choroby ani modyfikującego jej przebieg [6]. Dlatego też na pierwszym planie skutecznej walki z chorobą staje zabieg chirurgiczny – endoprotezoplastyka stawu. Celem endoprotezoplastyki jest likwidacja bólu, przywrócenie funkcji stawu oraz poprawa jakości życia pacjenta. W dobie rozwoju technik operacyjnych, w tym nawigacji komputerowej i chirurgii małoinwazyjnej, stale rośnie doskonałość chirurgiczna operacji. Jednocześnie nowoczesne biomateriały i ciągle doskonalona trybologia pozwalają na coraz dłuższe „przeżycie”

## BACKGROUND

Osteoarthritis is the most common joint pathology and the main cause of disability in elderly persons in the developed countries. Estimations based on Norwegian registers show that the clinical or radiographic findings may concern as much as 12.8% of the population over the age of 25 [1]. The hip is the second most common location of OA after the knee joint; according to American studies, lesions in this joint are found in 5.9% of those aged 45-54 years and in as many as 17% of the persons over the age of 75 [2]. Taking into consideration the continuous increase in the average life span, osteoarthritis has become one of the most important diseases of civilization, creating huge social costs [3]. The costs are expected to rise even more with the increasing incidence of obesity [4]. According to WHO and AAOS, osteoarthritis is defined as a consequence of both mechanical and biological events leading to disturbed balance between interrelated processes of degeneration and regeneration of the articular cartilage and subchondral bone layer. The disease has a multifactorial aetiology and its pathogenesis combines genetic, developmental, metabolic, and mechanical factors. The disease affects all joint tissues and results in morphological, biochemical, molecular, and biomechanical changes within both the cells and the matrix. It leads to cartilage softening, fibrosis, erosion, and defects, subchondral bone tissue thickening, and the development of osteophytes and subchondral cysts. The clinical symptoms include pain, compromised joint function, increased tenderness, limited active and passive joint mobility, and various degrees of oedema and local inflammation. OA of lower limb joints has an important impact on gait kinetics and kinematics [5]. Despite progress in research on the pathogenesis of OA, a single, underlying pathogenic chain leading to damage to the joint structures has not been determined and currently it is not possible to introduce effective causal treatment or a therapy which could modify the course of the disease [6]. Consequently, effective treatment relies on a surgical procedure (arthroplasty), which is aimed at eliminating the pain, restoring joint function, and improving the patient's quality of life. In the age of the development of surgical techniques, including computer navigation and minimally invasive surgery, the surgical efficacy of procedures is constantly increasing. Moreover, new biomaterials and continual advances in tribology allow for increasingly longer implant survival and a lower risk of difficult and extensive repeat surgeries.

An analysis of the results of hip arthroplasty shows that the outcomes have mostly been good and

implantów oraz zmniejszenie ryzyka trudnych i rozległych operacji rewizyjnych.

Analiza wyników endoprotezoplastyki stawu biodrowego pozwala w większości na zakwalifikowanie ich do dobrych i bardzo dobrych. Kryteria oceniające wynik operacji mają jednak w większości wymiar subiektywny. Rozpowszechnione skale oceny pooperacyjnej, takie jak WOMAC czy skala Harrisa, w dużej części opierają się na subiektywnych odczuciach pacjenta lub badającego, natomiast obiektywne badanie radiologiczne często obarczone jest wieloma błędami wynikającymi z braku możliwości standaryzacji badania czy oceny tylko w dwóch płaszczyznach [7-8]. Ponadto bardzo dobry wynik radiologiczny endoprotezoplastyki nie musi iść w parze z wynikiem klinicznym i odwrotnie. Czy chód niepowodujący bólu, utykający, z idealnym zakresem ruchomości stawu i prawidłowym obrazem radiologicznym endoprotezoplastyki jest wynikiem dobrym, bardzo dobrym, czy może dostatecznym? W rutynowej ocenie pooperacyjnej pacjentów brakuje obiektywnego badania funkcjonalnego, z możliwością wnioskowania dotyczącego ewentualnej dalszej rehabilitacji i uniknięcia w przyszłości ciężkiego zabiegu rewizyjnego. Przestrzeń tą w pełni obecnie wypełnia analiza chodu pacjentów po zabiegu endoprotezoplastyki. Prawidłowy chód definiowany jest jako precyzyjne, skoordynowane, powtarzające się ruchy kończyn, których celem jest przeniesienie się z miejsca na miejsce, w pozycji pionowej, przy jak najmniejszym wydatku energetycznym. Zaburzenia chodu mogą być przyczyną niewłaściwych kierunków działania układu sił w stawie biodrowym, tym samym sprzyjają procesom degeneracyjnym stawu i mogą być również przyczyną przedwczesnego obluzowania implantu, jak i sprzyjać rozwojowi zmian degeneracyjnych kontralateralnych stawów kończyny dolnej i kręgosłupa [9-11]. Celem pracy była analiza ilościowa i jakościowa wybranych parametrów kinematycznych chodu pacjentów przed i po jednostronnej niecementowanej endoprotezoplastyce stawu biodrowego.

## MATERIAŁ I METODY

Badaniu poddano grupę 16 pacjentów leczonych w Katedrze i Klinice Ortopedii i Traumatologii Narządu Ruchu w Katowicach, przed i po zabiegu endoprotezoplastyki stawu biodrowego. W celu stworzenia maksymalnie jednolitej grupy, dobór pacjentów do grupy badanej opierał się o ścisłe kryteria włączenia i wyłączenia. Kryteria włączenia obejmowały jednostronną chorobę zwyrodnieniową, wiek poniżej 75 roku życia (46-75) oraz możliwość przejścia bez pomocy ortopedycznych dystansu około 20 m. Z grupy

excellent. However, the criteria assessing the surgery results are generally subjective. Popular scoring systems for postoperative assessment, such as the WOMAC score or Harris Hip Score, are based mainly on the subjective assessment of the patient or examiner, and radiographic examination, while objective, is often prone to errors resulting from the fact that assessment is possible in only two planes or that it is not possible to standardize the examination [7-8]. Moreover, an excellent radiographic result of arthroplasty is not necessarily paralleled by a similar clinical outcome and vice versa. Does a limping painless gait with a full range of joint mobility and normal post-arthroplasty radiographic findings constitute a good, excellent, or fair result? Routine post-operative patient assessment lacks an objective functional examination leading to conclusions regarding the need of further rehabilitation and the possibility of avoiding an extensive repeat surgery in the future. Currently, this role is fulfilled by gait analysis after arthroplasty. Normal gait is defined as precise, coordinated, repeated limb movements aimed at moving from one place to another in an erect position and with minimal energy expenditure. Gait disturbances may cause abnormal forces to act on the hip and thus contribute to degenerative processes within the joint. They may also result in faster implant loosening and contribute to the development of degenerative processes in the contralateral lower limb joints and the spine [9-11]. The aim of the study was to conduct a quantitative and qualitative analysis of selected kinematic gait parameters in patients before and after unilateral cementless hip arthroplasty.

## MATERIAL AND METHODS

The study involved 16 patients treated at the Department of Orthopaedics and Musculoskeletal Traumatology in Katowice, examined before and after hip arthroplasty. The selection of patients for the study was based on precise inclusion and exclusion criteria so as to obtain a maximally homogeneous sample. The inclusion criteria were as follows: unilateral osteoarthritis, age under 75 years (46-75), and the ability to walk over a distance of approx. 20 m without walking aids. Patients were excluded from the study if

badanej wyłączono pacjentów z chorobą zwyrodnieniową innych stawów kończyny dolnej, pacjentów po zabiegach operacyjnych kończyn dolnych, pacjentów z dysplazją stawu biodrowego powyżej Crove II, ze skróceniem kończyny przekraczającym 5 cm oraz oczekujących na zabieg endoprotezoplastyki powyżej roku. Wszyscy chorzy byli operowani przez jeden zespół chirurgów, z dostępu przednio-bocznego Hardinge'a, z implantacją endoprotezy niecementowanej z dużą głową (powyżej 28 mm). U wszystkich pacjentów wdrożono jednolity program rehabilitacji pooperacyjnej, który składał się z dwóch części. We wczesnym okresie pooperacyjnym pacjenci byli pionizowani i chodzili o 2 kulach przez 3 tygodnie, odciążając staw biodrowy. Kolejne 3 tygodnie pacjenci obciążali staw biodrowy częściowo, wspierając się 1 kulą łokciową. Po 6 tygodniach w pełni obciążali operowany staw. Po 12 tygodniach od operacji, w warunkach szpitalnych prowadzono rehabilitację ruchową czynną i bierną oraz fizykoterapię przez 3 tygodnie. Następnie pacjenci ćwiczyli samodzielnie według wyuczonego schematu.

Analizę chodu wykonano przed zabiegiem operacyjnym i 6 do 8 miesięcy po operacji, szacując ten okres jako najistotniejszy dla możliwości wykształcenia prawidłowych wzorców chodu. W obiektywnej ocenie chodu posłużono się systemem do przestrzennej analizy ruchu Smart DX BTS (Włochy). Obejmując on optoelektroniczną rejestrację ruchu (6 kamer na podczerwień, częstotliwość zapisu 140Hz, model i protokół analizy chodu wg Davis'a) z wykorzystaniem markerów biernych umieszczonych na skórze pacjenta, elektromiograficzny zapis pracy mięśni w czasie poszczególnych sekwencji kroków oraz rejestrację sił nacisku na podłożę w czasie podporu. Badani, po wstępny przejściu około 20 m i adaptacji do warunków badania, chodzili boso z preferowaną przedkością przemierzając 10-krotnie 8-metrową ścieżkę pomiarową, z czego do analizy wybrano po 6 pełnych cykli chodu dla każdej kończyny. Na potrzeby tej pracy zaprezentowano wyłącznie analizę wybranych parametrów kinematycznych.

Analizie poddano następujące parametry: czasy trwania poszczególnych faz chodu, prędkość lokomocji oraz wymachu kończyny w fazie przeniesienia, długość pojedynczego i podwójnego kroku, częstość krocznia oraz ruch w stawie biodrowym we wszystkich płaszczyznach. Pod względem klinicznym pacjentów oceniono za pomocą skali Harrisa i kwestionariusza WOMAC. Ocenę radiologiczną dokonano w oparciu o kryteria Hip Society. Analizę statystyczną wykonano w oparciu o program Statistica 10.0 PL. Z uwagi na brak rozkładu normalnego części zmiennych oraz niejednorodne wariancje, zastosowano do oceny różnic

they had osteoarthritis of other lower limb joints, had undergone lower limb surgery, had Crowe III-IV hip dysplasia or limb length discrepancy exceeding 5 cm or had waited for arthroplasty for more than a year. All the study participants were operated on by one team of surgeons through the Hardinge anterolateral approach with the implantation of a cementless large-head endoprosthesis (over 28 mm). All patients attended a uniform postoperative rehabilitation programme, which consisted of two parts. In the early post-operative period, ambulation was performed and the patients walked with two crutches for 3 weeks, unloading the hip. In the next 3 weeks, the patients partially loaded the hip using one elbow crutch. After 6 weeks, the operated joint was fully loaded. At 12 weeks after the surgery, the patients underwent active and passive inpatient motor rehabilitation and physical therapy for 3 weeks. Next, the patients performed exercises on their own, following the pattern they had been taught.

Gait analysis was performed before the surgery and at 6–8 months after the surgery since this period was regarded as critical for the development of normal gait patterns. The Smart DX BTS system (Italy) for spatial movement analysis was utilised for objective gait assessment. It involves optoelectronic motion recording (6 infrared cameras, recording frequency of 140 Hz, gait analysis model and protocol according to Davis) using passive markers placed on the patient's skin, electromyographic recording of muscle activity during individual step sequences, and recording of the pressure forces on the ground during stance. After walking over a trial distance of approx. 20 m and adapting to the examination conditions, the participants walked 10 times barefoot at their preferred speed along the 8-metre long measurement path. Six full gait cycles were selected and analysed for each limb. Only the analysis of selected kinematic parameters is presented in this paper.

We analysed the following parameters: duration of each gait phase, velocity of gait and leg swing during the swing phase, the length of a single and double step, cadence, and the motion in the hip joint in all planes. The patients were assessed clinically with the Harris Hip Score and the WOMAC score. Radiographic assessment was based on the Hip Society criteria. Statistical analysis was performed with Statistica 10.0 PL software. As some variables were not normally distributed and variances were heterogeneous, the differences between the groups were assessed with the Mann-Whitney U test (assessment of differences between the operated vs. non-operated limb) and the Wilcoxon test was used for dependent variables (examination before vs. after surgery).

międzygrupowych test U Manna-Whitneya (ocena różnic ze względu na rodzaj kończyny: operowana-nieoperowana), zaś dla układu zależnego (badanie przed względem po) test Wilcoxona.

## WYNIKI

Wyniki uzyskanych wielkości kinematycznych opisujących swobodny chód pacjentów przed i po zabiegu endoprotezoplastyki stawu biodrowego przedstawiono w Tabelach 1 i 2. Na Rycinach 1-2 zobrazowano zmienne wykazujące istotne statystycznie zróżnicowanie.

Po stronie dotkniętej chorobą zwyrodnieniową stawu biodrowego, faza podporowa była znamiennie statystycznie krótsza w pierwszym badaniu i wynosiła 63,8 (% cyklu chodu) w stosunku do strony zdrowej 69,4 (% cyklu chodu) (Ryc. 1). Tym samym wydłużeniu uległ czas fazy przenoszenia 36,1 (% cyklu chodu) dla strony chorej w stosunku do 30,6 (% cyklu chodu) dla strony zdrowej (Tab. 1). Po zabiegu endoprotezoplastyki, po stronie operowanej procentowy udział faz chodu nie uległ zmianie, natomiast zauważalna była zmiana po stronie zdrowej, gdzie wydłużeniu istotnie uległa faza przenoszenia do 35,1 (% cyklu chodu) (Tab. 1) kosztem fazy podporu 64,8 (% cyklu chodu) (Ryc. 1), wartościami zbliżającymi się do strony operowanej. Wydłużony czas trwania fazy podwójnego podporu kończyny dotkniętej procesem chorobowym do 18,14 (% cyklu chodu) – wykroczenie

## RESULTS

The kinematic values describing free gait of the patients before and after hip arthroplasty are presented in Table 1 and 2. Figures 1-2 show the variables with statistically significant differences.

On the side of the osteoarthritic hip, the stance phase was significantly shorter in the first examination and lasted 63.8 (% gait cycle), compared to 69.4 (% gait cycle) on the unaffected side (Fig. 1). Consequently, the duration of the swing phase was increased to 36.1 (% gait cycle) on the affected side, as compared with 30.6 (% gait cycle) on the unaffected side (Tab. 1). After arthroplasty, the percentages of the gait phases on the operated side did not change while there was a marked change on the healthy side, where the swing phase was significantly lengthened to 35.1 (% gait cycle) (Tab. 1), shortening the stance time to 64.8 (% gait cycle) (Fig. 1); these values were close to those obtained on the operated side. The double support phase of the affected limb (front leg affected) lasted 18.14 (% gait cycle) before surgery, while it was shorter on the unaffected side (front leg unaffected), where it was 15.02 (% gait cycle); after hip arthroplasty, it was visibly shortened (Fig. 2). Mean

Tab. 1. Parametry kinematyczne chodu z podziałem na kończynę operowaną i nieoperowaną przed i po zabiegu (średnia arytm.± odchylenie standardowe)

Tab. 1. Kinematic gait parameters in operated and non-operated limb before and after surgery (mean±standard deviation)

	Kończyna operowana Operated limb		Kończyna nieoperowana Non-operated limb	
	Przed Before	Po After	Przed Before	Po After
Sw [%]	36.2±4.95 <sup>A</sup>	36.5±4.27	30.6±5.74 <sup>A,B</sup>	35.1±3.86 <sup>B</sup>
StLen [m]	0.46±0.130	0.48±0.116	0.42±0.154	0.44±0.143
StrLen [m]	0.93±0.315	0.97±0.289	0.93±0.314	0.97±0.295

Sw – czas fazy przenoszenia [% cyklu chodu], StLen – długość kroku pojedynczego [m], StrLen – długość kroku podwójnego [m],

<sup>A</sup> – istotna różnica ( $p<0.05$ , test U Manna Whitneya) dla Sw kończyny operowanej względem nieoperowanej przed zabiegiem,

<sup>B</sup> – istotna różnica ( $p<0.05$ , test Wilcoxona) dla Sw kończyny nieoperowanej przed zabiegiem względem stanu po.

Sw – swing phase time [% gait cycle], StLen – single step length [m], StrLen – double step length [m], <sup>A</sup> – statistically significant difference (( $p<0.05$ ) Mann-Whitney U test) for Sw of the operated limb in comparison with the non-operated limb before surgery, <sup>B</sup> – statistically significant difference (( $p<0.05$ ) Wilcoxon test) for Sw of the operated limb in comparison with the non-operated limb after surgery.

Tab. 2. Parametry kinematyczne chodu przed i po zabiegu (średnia arytm.±odchylenie standardowe)

Tab. 2. Kinematic gait parameters before and after surgery (mean±standard deviation)

	Przed Before	Po After
Vel [m/s]	0.64±0.340	0.72±0.260
Cad [kroki/min] [steps/min]	84.8±14.24	93.3±7.09

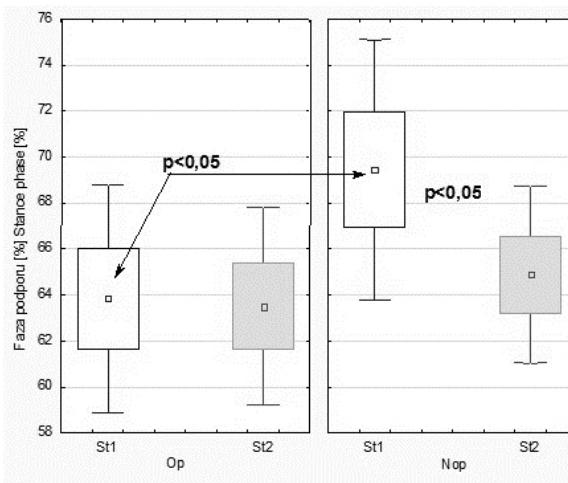
Vel – średnia prędkość chodu [m/s], Cad – kadencja [liczba kroków/minutę]

Vel – mean gait velocity, Cad – cadence [steps per minute]

na kończyna chorą, względem zdrowej 15,02 (% cyklu chodu) – wykrocza kończyna zdrowa, została istotnie skrócony po operacji stawu biodrowego (Ryc. 2). Wydłużeniu uległa średnia długość kroku pojedynczego i podwójnego (Tab. 1) po endoprotezoplastyce zarówno po stronie operowanej, jak i po stronie zdrowej. Zwiększyły się wartości częstości kroków (kadencji)

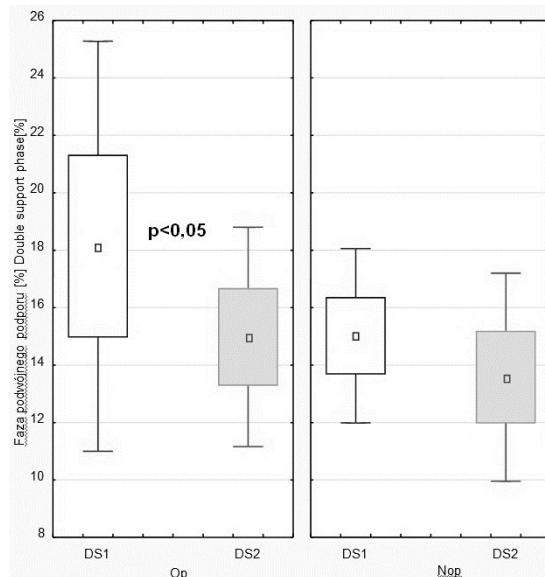
single and double step length was increased (Tab. 1) after arthroplasty on the operated as well as the non-operated side. The values of cadence and mean gait velocity were higher (Tab. 2) and the velocity of leg swing was increased (Fig. 3).

A comparison of the indices of motion in the hip of the operated (Op) and non-operated (Nop) limb in all



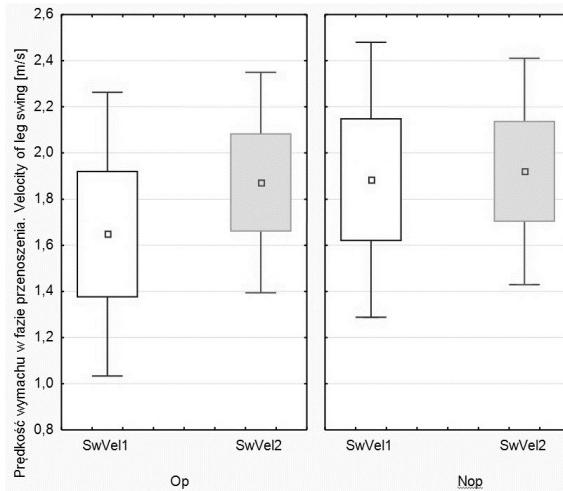
Ryc. 1. Czas fazy podporu (% cyklu chodu) kończyny operowanej (Op) i nieoperowanej (Nop) w badaniu przed (St1) i po zabiegu (St2) (średnia arytm.±odch.st.). Istotna różnica ((p<0,05) test Wilcoxon'a) dla kończyny nieoperowanej przed zabiegiem względem stanu po oraz przed zabiegiem między kończynami ((p<0,05) test U Manna Whitneya)

Fig. 1. Stance phase time (% of gait cycle) of the operated (Op) and non-operated (Nop) before (St1) and after (St2) surgery (mean±standard deviation). Statistically significant difference in the non-operated limb before and after surgery ((p<0.05) Wilcoxon test) and between limbs before surgery ((p<0.05) Mann Whitney U test)



Ryc. 2 Czas fazy podwójnego podporu (% cyklu chodu) kończyny operowanej – wykroczej(Op) i nieoperowanej – wykroczonej (Nop) w badaniu przed (DS1) i po zabiegu (DS2) (średnia±odch.st.). Istotna różnica ((p<0,05) test Wilcoxon'a) dla kończyny operowanej przed zabiegiem względem stanu po zabiegu

Fig. 2 Double support time of the front limb (% of gait cycle) – operated (Op) and non-operated (Nop), before (DS1) and after (DS2) surgery (mean±standard deviation). Statistically significant difference ((p<0.05) Wilcoxon test) for the operated limb before vs. after surgery



Ryc. 3 Prędkość wymachowa kończyny dolnej operowanej (Op) i nieoperowanej (Nop) w fazie przenoszenia [m/s] w badaniu przed (SwVel1) i po zabiegu (SwVel2) (średnia±odch.st.)

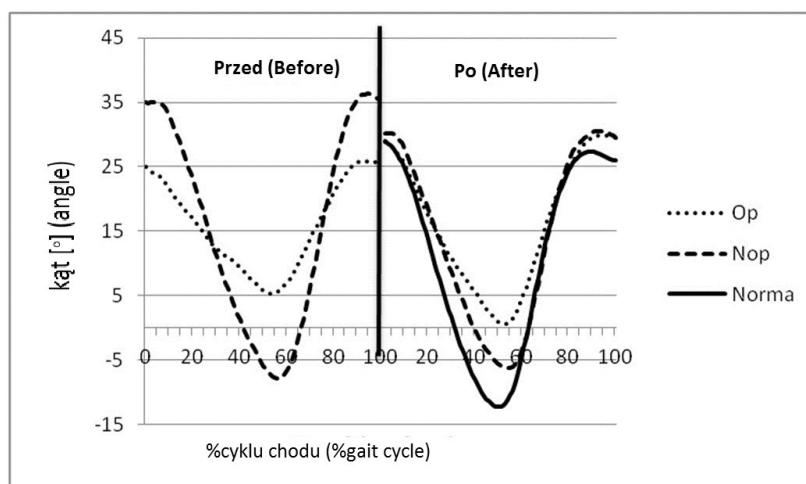
Fig. 3 Velocity of leg swing [m/s] of the operated (Op) and non-operated (Nop) limb in the swing phase before (SwVel1) and after (SwVel2) surgery (mean±standard deviation)

i średniej prędkości lokomocji (Tab. 2) oraz prędkości wymachu kończyny w fazie przenoszenia (Ryc. 3).

Zestawienie wielkości opisujących ruch w stawie biodrowym kończyny operowanej (Op) i nieoperowanej (Nop) we wszystkich płaszczyznach dla znormalizowanego czasu względem czasu cyklu chodu zaprezentowano na Rycinach 4-6. Do wyników badania po zabiegu dołączono dane osób zdrowych (Norma) z normatywnej bazy danych producenta systemu pomiarowego. Obraz zachowania się kończyny z kokartrozą wskazuje głównie na zmniejszone zakresy ruchu we wszystkich płaszczyznach.

planes for standardized time relative to duration of the gait cycle is presented in Figures 4-6. The examination results obtained after arthroplasty are accompanied by the results of healthy persons (Norma) from a reference database provided by the measuring system's manufacturer. An examination of a coxarthrotic limb shows mainly limited ranges of motion in all planes.

After surgery, there was a visible increase in the range of motion in the sagittal plane (Fig. 4) and a slight increase in the frontal plane (Fig. 5). It is also important to restore or approximate normal joint patterns and to decrease the asymmetry between the



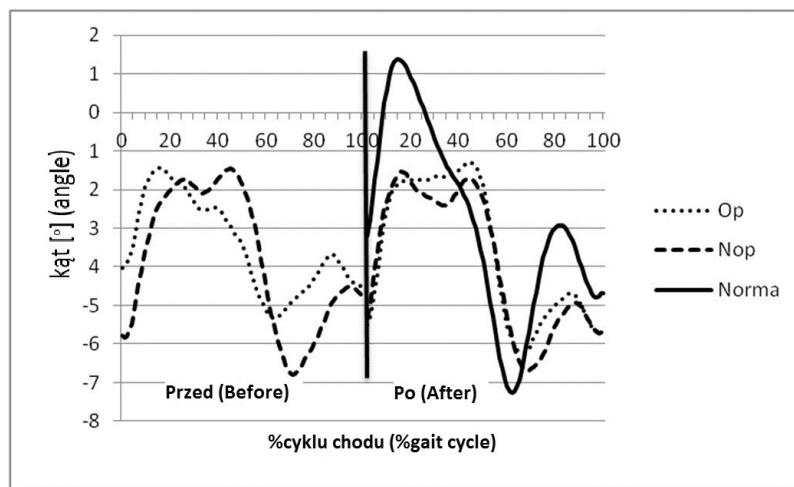
Ryc. 4. Przebieg zmian kąta w stawie biodrowym dla płaszczyzny strzałkowej przed i po zabiegu. Wartości dodatnie – zgięcie w stawie biodrowym. Op – kończyna operowana, Nop – kończyna nieoperowana, Norma – grupa referencyjna

Fig. 4. Changes of hip joint angle in the sagittal plane before and after surgery. Positive values represent flexion. Op – operated limb, Nop – non-operated limb, Norma – reference group, Przed – before surgery, Po – after surgery, Kąt – angle, (% cyklu chodu) – (% gait cycle)

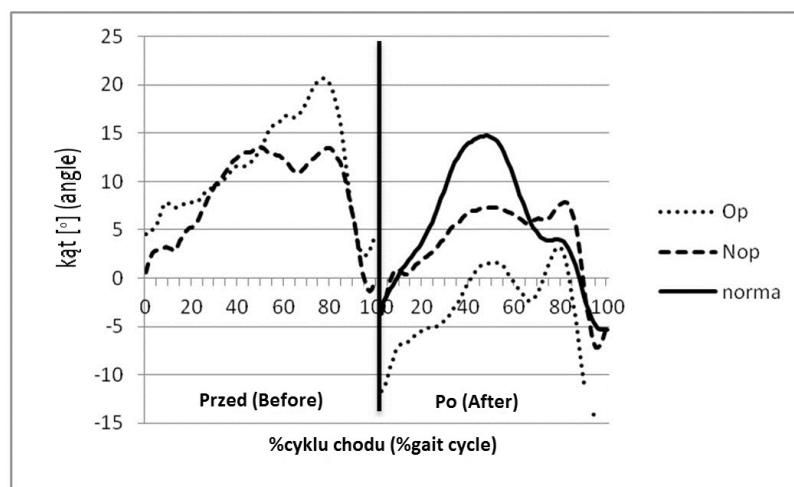
Po zabiegu wyraźnie widoczne jest zwiększenie zakresu ruchu w płaszczyźnie strzałkowej (Ryc. 4) i niewielki przyrost w płaszczyźnie czołowej (Ryc. 5). Istotne jest również przywrócenie lub zbliżenie kształtu charakterystyki tych ruchów do obrazu grupy z poprawnym wzorcem lokomocji oraz zmniejszenie asymetrii między kończynami. Dla ruchów rotacji w stawie biodrowym (Ryc. 6) nastąpiło przesunięcie przebiegu ruchu w położenie bardziej neutralne i wyraźniej zaznaczone są charakterystyczne cechy ruchów dla tej płaszczyzny zbieżne z ruchem prawidłowym.

limbs. As regards rotation in the hip (Fig. 6), the path of motion was displaced to a more neutral position and the typical features of the movements for this plane consistent with normal movement were more pronounced.

Clinical assessment of the patients utilized the Harris Hip Score, which revealed improved scores with a mean of 86 points at 6 months after surgery, as compared with 56 points before arthroplasty. The subjective patient assessment based on the WOMAC questionnaire also improved significantly (60 points before vs. 14 points after surgery). However, the analy-



Ryc. 5. Przebieg zmian kąta w stawie biodrowym dla płaszczyzny czołowej przed i po zabiegu. Wartości dodatnie – ustawienie stawu biodrowego w przywiedzeniu. Op – kończyna operowana, Nop – kończyna nieoperowana, Norma – grupa referencyjna  
Fig. 5. Changes of hip joint angle in the frontal plane before and after surgery. Positive values represent adduction. Op – operated limb, Nop – non-operated limb, Norma – reference group, Przed – before surgery, Po – after surgery, Kąt – angle, (% cyklu chodu) – (% gait cycle)



Ryc. 6. Przebieg zmian kąta w stawie biodrowym dla płaszczyzny poprzecznej przed i po zabiegu. Wartości dodatnie – rotacja wewnętrzna w stawie biodrowym. Op – kończyna operowana, Nop – kończyna nieoperowana, Norma – grupa referencyjna  
Fig. 6. Changes of hip joint angle in the transverse plane before and after surgery. Positive values represent internal rotation. Op – operated limb, Nop – non-operated limb, Norma – reference group, Przed – before surgery, Po – after surgery, Kąt – angle, (% cyklu chodu) – (% gait cycle)

W klinicznej ocenie pacjentów posłużono się skalą Harrisa, uzyskując poprawę punktową do średnio 86 pkt. sześć miesięcy po operacji, w stosunku do 56 pkt. przed endoprotezoplastyką. Istotną poprawę uzyskano także w subiektywnej ocenie pacjenta na podstawie kwestionariusza WOMAC 60 pkt. przed i 14 pkt. po zabiegu. W analizie grupy badanej nie ma jednak korelacji wyników skal oceny klinicznej WOMAC i Harrisa z wynikami parametrów chodu. Ocena radiologiczna na podstawie pooperacyjnych zdjęć RTG obu stawów biodrowych wykazała średnią kąt nachylenia panewki 43 st. (52-39) oraz kąt otwarcia 15 st. (0-32). We wszystkich przypadkach ustawnienie trzpienia endoprotezy było prawidłowe i odtworzono offset oraz prawidłową długość kończyny, wypełniając warunki prawidłowej rekonstrukcji biomechanicznej stawu biodrowego.

## DYSKUSJA

Ścisłe kryteria włączenia i wykluczenia pacjentów do badania pozwoliły na dobór homologicznej grupy badanej, której wynik kliniczny endoprotezoplastyki stawu biodrowego był bardzo dobry. Poprawie uległy niemalże wszystkie parametry kinematyczne chodu. Pomimo prawidłowej rekonstrukcji biomechanicznej stawu biodrowego, nie osiągnęły one jednak wartości charakterystycznych dla kończyny zdrowej czy zakresu ruchu analogicznego do tzw. normy, z normatywnej bazy danych producenta systemu pomiarowego. Wyniki te były zgodne między innymi z badaniami Benetta, który analizował parametry chodu po endoprotezoplastyce stawu biodrowego w poszczególnych grupach wiekowych. W żadnej z grup nie uzyskał on parametrów charakterystycznych dla prawidłowego chodu [12]. Podobne wnioski wysunął Winiarski, zwracając uwagę na fakt największego przyrostu zakresu ruchu w płaszczyźnie strzałkowej zarówno miednicy, jak i stawu biodrowego [13].

Mniejsze wartości rozrzutu analizowanych zmiennych po operacji świadczą o bardziej powtarzalnym zachowaniu się pacjentów w trakcie realizacji loko-mocji. Parametry bez podziału na stronę ciała, takie jak prędkość oraz kadencja, zwiększyły swoje wartości, co przekłada się na bardziej efektywny chód. Zmiany parametrów liniowych u chorych z koksartrozą wynikają oczywiście z dolegliwości bólowych towarzyszących chorobie i są przyczyną tzw. chodu antalgicznego. Wyniki opisujące parametry drogi liniowej w okresie przedoperacyjnym były wyższe niż w badaniach Zajt-Kwiatkowskiej czy Pietraszek-Kusik, co mogło wynikać ze stosunkowo wcześniejszej kwalifikacji pacjentów z naszego badania do endoprotezoplastyki stawu [14,15]. Wiąże się to zapewne

sis of the study group revealed no correlation between the WOMAC clinical assessment score, the Harris Hip Score, and the gait parameters. Radiographic assessment based on postoperative radiographs of both hips showed an average inclination angle of the acetabulum of 43 degrees (52-39) and an opening angle of 15 degrees (0-32). In all the cases, the endoprosthesis stem was correctly positioned and the offset and normal length of the limb had been restored, thus meeting the requirements of correct biomechanical reconstruction of the hip joint.

## DISCUSSION

The precise inclusion and exclusion criteria allowed for the selection of a homogeneous study group whose clinical hip arthroplasty results were very good. Almost all kinematic gait parameters improved. However, despite correct biomechanical reconstruction of the hip joint, they did not reach values typical of healthy limbs or the range of motion similar to the so-called reference obtained from a reference database of normal results provided by the measuring system's manufacturer. These results were similar to those reported by Bennett, who analysed gait parameters after hip arthroplasty in separate age groups. He did not obtain parameter values typical of normal gait in any of the groups [12]. Similar conclusions were drawn by Winiarski, who specifically pointed out that the largest increase was found in the range of motion in the sagittal plane in the pelvis and hip [13].

The study variables were less scattered after surgery, which suggests that the patients' gait patterns were more reproducible. Parameters not divided according to the side of the body, such as velocity and cadence, were increased, contributing to a more efficient gait. Changes in linear parameters in patients with coxarthrosis certainly result from the associated pain and cause so-called antalgic gait. The results describing linear parameters in the preoperative period were higher than those presented by Zajt-Kwiatkowska or Pietraszek-Kusik, which might have been caused by relatively early qualification of our study participants for hip arthroplasty [14,15]. This is probably connected with the fact that our patients had not developed pathological gait patterns and the correctly performed surgery and rehabilitation allowed for achieving good results in the postoperative

z faktem, że pacjenci z naszego badania nie nabrali patologicznych wzorców chodu, a prawidłowo przeprowadzony zabieg operacyjny wraz z postępowaniem rehabilitacyjnym pozwoliły na uzyskanie dobrych wyników w pooperacyjnej analizie chodu. Podobne wnioski wysunął Tanaka, który, analizując chód 43 kobiet po przeprowadzonej endoprotezoplastyce stawu biodrowego zauważył, że najistotniejsze dla poprawy i zbliżenia tych parametrów do normy jest zaawansowanie choroby zwyrodnieniowej i długość kończyn [16]. Świadczy to o konieczności wczesnej kwalifikacji i skrócenia czasu oczekiwania pacjentów na zabieg endoprotezoplastyki, co z pewnością ułatwia technicznie zabieg chirurgiczny i daje możliwość bardzo dobrego wyniku funkcjonalnego. Istotna statystycznie zmiana parametrów chodu po stronie nieoperowanej (zdrowej) po zabiegu operacyjnym kończyny z koksartrozą, świadczy o lepszych możliwościach adaptacyjnych zdrowego biodra do nowej sytuacji biomechanicznej narządu ruchu. Innymi słowy, zdrowy staw biodrowy automatycznie przystosowuje się do nowych możliwości realizacji lokomocji, natomiast biodro z koksartrozą, mimo prawidłowej rekonstrukcji biomechanicznej stawu, po endoprotezoplastyce wymaga długiej rehabilitacji, z uwzględnieniem reedukacji prawidłowego chodu i eliminacji utrwalonych cech chodu antalgicznego. Przedmiotem badania Pospischill'a i Queen'a był także dostęp operacyjny. Mimo że nie wykazano istotnie statystycznych różnic w analizie chodu między grupami pacjentów poddanych zabiegowi endoprotezoplastyki stawu z dostępu małoinwazyjnego przedniego i dostępu bocznego Hardinga, brak uszkodzenia mięśnia pośladkowego średniego w dostępie przednim najpewniej sprzyja zmniejszeniu dolegliwości bólowych we wczesnym okresie pooperacyjnym [17-19]. Podobne wyniki otrzymał Rathod porównując dostęp przedni z tylnym, jednak należy podkreślić, że w przypadku dostępu tylnego istotnemu zmniejszeniu uległy ruchy rotacji stawu biodrowego, co niewątpliwie należy wiązać z techniką operacyjną, w której niezbędne jest odcięcie mięśni rotatorów [20]. Przedmiotem analizy parametrów czasowo – przestrzennych chodu były także rodzaje endoprotez stawu biodrowego, gdzie wykazano przewagę endoprotezy odtwarzającej powierzchnię stawu biodrowego nad tradycyjną endoprotezą długotrzpieniową [21].

Mimo coraz dokładniejszego rozbudowywania kwestionariuszy oceny pooperacyjnej, ich stosowanie wymaga pełnego zrozumienia przez pacjenta, udzielania jednoznacznej odpowiedzi, przez co obarczone jest subiektywizmem zarówno badanego, jak i badającego. Wyniki podawane są w skali punktowej, a wnioskowanie staje się ograniczone. Decydujący wpływ na

gait analysis. Similar conclusions were presented by Tanaka, who analysed the gait of women after hip arthroplasty and noticed that the most important factors for improvement in these parameters or allowing them to reach near-reference levels are the degree of severity of osteoarthritis and limb length [16]. This shows the importance of early patient qualification and shortening the waiting time for arthroplasty, which surely makes the surgery technically easier and contributes to excellent functional outcomes. A statistically significant change in gait parameters on the non-operated (unaffected) side after surgery of the coxarthrotic limb indicates greater adaptability of the healthy hip to the new musculoskeletal biomechanics. To put it differently, the healthy hip joint automatically adjusts to new locomotor possibilities, whereas the coxarthrotic hip, despite correct biomechanical joint reconstruction, requires long rehabilitation after arthroplasty, including normal gait re-education and the elimination of persistent antalgic gait features. Pospischill and Queen also investigated the effect of the surgical approach. Even though no statistically significant differences were found in gait analysis conducted in groups of patients after minimally invasive anterior approach vs. Hardinge lateral approach arthroplasty, the absence of damage to the gluteus medius with the anterior approach probably contributes to decreased pain in the early postoperative period [17-19]. Similar results were obtained by Rathod, who compared the anterior and posterior approaches. However, it should be stressed that in the case of the posterior approach, hip rotation was largely decreased. This is definitely connected with the surgical technique, which involves severing the rotator muscles [20]. The effect of type of hip endoprosthesis has also been investigated in analyses of the spatio-temporal gait parameters, showing an advantage of the endoprosthesis reconstructing the surface of the hip joint over the traditional long-stem implant [21].

Despite the elaboration of increasingly precise post-operative assessment questionnaires, their administration relies on full comprehension by the patient and giving unequivocal answers, which is why the results are prone to being subjective on the part of both the patient and the examiner. The results are given as scores and conclusions are limited. The absence of pain after surgery is decisive for assessing clinical outcomes as excellent in the questionnaires, while it does not have such a crucial impact on the objective gait parameters. A very good early clinical result with an abnormal gait pattern and abnormal forces acting on the hip does not guarantee a good long-term outcome. Objective functional assessment of the gait after arthroplasty allows for predicting

bardzo dobry wynik kliniczny w ocenianych ankietach ma przede wszystkim brak dolegliwości bólowych pacjentów po operacji, co nie przekłada się w tak istotnym zakresie na obiektywne parametry chodu. Wczesny bardzo dobry wynik kliniczny przy nieprawidłowym wzorcu chodu i nieprawidłowym kierunku działania sił w stawie biodrowym, nie gwarantuje ostatecznie dobrego wyniku odległego. Obiektywna ocena funkcjonalna chodu po zabiegu endoprotezoplastyki pozwala na wnioskowanie co do poprawy określonych parametrów chodu i zbliżenia ich do wartości prawidłowych, w celu uniknięcia w przyszłości trudnego zabiegu rewizyjnego, wynikającego z obluzowania elementów endoprotezy [22,23].

## WNIOSKI

1. Analiza wybranych parametrów kinematycznych chodu przed zabiegiem operacyjnym wskazuje, że w przypadku choroby zwyrodnieniowej stawu biodrowego zasadniczy wpływ na patologię chodu ma skrócenie fazy podporu wynikające z dolegliwości bólowych obciążanej kończyny.
2. Po analizie przeprowadzonej po około 6 miesiącach od endoprotezoplastyki, istotne statystycznie zmiany parametrów chodu dotyczyły kończyny nieoperowanej, co wskazuje na fakt szybszej adaptacji zdrowego biodra do realizacji lokomocji w nowych warunkach biomechanicznych.
3. Leczenie operacyjne miało istotny wpływ na skrócenie fazy podwójnego podporu (wykrocza kończyna chora), co świadczy o możliwości pełnego obciążania operowanej kończyny.
4. Mimo bardzo dobrych i dobrych wyników klinicznych endoprotezoplastyki biodra, analizowane parametry chodu odbiegają od wartości charakterystycznych dla ludzi zdrowych. Wskazuje to na konieczność dalszej rehabilitacji, szczególnie w zakresie reedukacji chodu.

## PIŚMIENIĘTWO / REFERENCES

1. Grotle M, Hagen KB, Natvig B, Dahl FA, Kvien TK. Prevalence and burden of osteoarthritis: results from a population survey in Norway. *J. Rheumatol.* 2008; 35(4): 677.
2. Jordan JM, Helmick CG, Renner JB, et al. Prevalence of hip symptoms and radiographic and symptomatic hip osteoarthritis in African Americans and Caucasians: the Johnston County Osteoarthritis Project. *J. Rheumatol.* 2009; 36(4): 809.
3. Lopez AD, Mathers CD, Ezzati M, et al. Global and regional burden of disease and risk factors, 2001: systematic analysis of population health data. *Lancet* 2006; 367: 1747-57.
4. Hunter DJ, Felson DT. Osteoarthritis. *BMJ* 2006; 332: 639-42.
5. Hart DJ, Spector TD. The classification and assessment of osteoarthritis. *Baillieres Clin. Rheumatol.* 1995; 9: 407-32.
6. Łapaj Ł, Markuszewski J, Wierusz-Kozłowska M. Współczesne poglądy na patogenezę choroby zwyrodnieniowej stawów. *Chirurgia Narządów Ruchu i Ortopedia Polska* 2010; 75(4): 248-60.
7. Kersten P, White PJ, Tennant A. The visual analogue WOMAC 3.0 scale—internal validity and responsiveness of the VAS version. *BMC Musculoskeletal Disord.* 2010; 11: 80.
8. Soderman P, Malchau H. Is the Harris hip score system useful to study the outcome of total hip replacement? *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2001; 384: 189-97.
9. Illyes A, Bejek Z, Szlavik I, Paroczai R, Kiss RM. Three-Dimensional gait analysis after unilateral cemented total hip arthroplasty. *Physical Education and Sport* 2006; 1: 27-34.

improvement in certain gait parameters and possible approximation of reference results in order to prevent difficult repeat surgeries in the future necessitated by the loosening of parts of the endoprosthesis [22-23].

## CONCLUSIONS

1. An analysis of selected kinematic gait parameters before surgery indicates that the gait pathology in hip osteoarthritis is influenced mainly by the shortening of the stance phase, caused by pain in the loaded limb.
2. The analysis, conducted at approx. 6 months after the arthroplasty, showed that statistically significant changes in gait parameters were found in the non-operated limb, which suggests that the unaffected hip adapts faster to gait in the new biomechanical conditions.
3. Surgical treatment had a significant impact on shortening the double support time (front limb affected), which shows that the operated limb can be fully loaded.
4. Despite very good and good clinical hip arthroplasty outcomes, the gait parameters analysed in the study differ from the values found in healthy persons. This indicates the necessity of further rehabilitation, especially with respect to gait re-education.

10. Foucher KC, Wimmer MA. Contralateral hip and knee gait biomechanics are unchanged by total hip replacement for unilateral hip osteoarthritis. *Gait Posture*; 2011.
11. Gage JR, Ounpuu S. Gait analysis in clinical practice. *J Bone Joint Surg Am*. 1989; 4(2): 72-87.
12. Bennett D, Humphreys L, O'Brien S, Kelly C, Orr JF, Beverland DE. Gait kinematics of age-stratified hip replacement patients—A large scale, long-term follow-up study. *Gait & Posture* 2008; 28: 194-200.
13. Winiarski S, Aleksandrowicz K, Jarząb S, Pozowski A, Rutkowska-Kucharska A. Ocena chodu pacjenta leczzonego obustronną alopastyką stawów biodrowych. *Studium przypadku. Ortop Traumatol Rehabil* 2014; 2(6): 197-208.
14. Zajt-Kwiatkowska JM. Biomechaniczna analiza ruchu w praktyce klinicznej – ocena wpływu endoprotezoplastyki na kinematykę chodu chorych ze zmianami zwyrodnieniowymi. *Nowiny Lekarskie* 2005; 74(2): 108-15.
15. Pietraszek-Kusik H. Ocena chodu i ogólnej sprawności chorych po totalnej endoprotezoplastyce stawu biodrowego. Praca doktorska. Poznań: Akademia Medyczna; 2001.
16. Tanaka R, Shigematsu M, Motooka T, Mawatari M, Hotokebuchi T. Factors Influencing the Improvement of Gait Ability After Total Hip Arthroplasty. *J Arthroplasty* 2010; 25(6): 982-5.
17. Pospischill M, Kranzl A, Attwenger B, Knahr K. Minimally invasive compared with traditional transgluteal approach for total hip arthroplasty: a comparative gait analysis. *J Bone Joint Surg Am*. 2010; 92(2): 328-37.
18. Wojciechowski P, Kusz D, Kopeć K, Borowski M. Małoinwazyjne dostępy operacyjne w endoprotezoplastyce stawu biodrowego. *Ortop Traumatol Rehabil* 2007; 9(1): 1-7.
19. Queen RM, Butler RJ, Watters TS, Kelley SS, Attarian DE, Bolognesi MP. The effect of total hip arthroplasty surgical approach on postoperative gait mechanics. *J Arthroplasty* 2011; 26(6 Suppl): 66-71.
20. Rathod PA, Orishimo KF, Krementz IJ, Deshmukh AJ, Rodriguez JA. Similar Improvement in Gait Parameters Following Direct Anterior & Posterior Approach Total Hip Arthroplasty. *The Journal of Arthroplasty* 2014; 29: 1261-4.
21. Chen YS, Zhao S, Cao L, Zhang XL. Gait analysis of patients with metal-on-metal resurfacing hip arthroplasty compared with big-femoral-head total hip arthroplasty. *Saudi Med J*. 2011; 32(4): 394-9.
22. Aminian K, Trevisan C, Najafi B, et al. Evaluation of an ambulatory system for gait analysis in hip osteoarthritis and after total hip replacement. *Gait Posture* 2004; 20(1): 102-7.
23. Ewen AM, Stewart S, St Clair Gibson A, Kashyap SN, Caplan N. Post-operative gait analysis in total hip replacement patients – A review of current literature and meta-analysis. *Gait & Posture* 2012; 36: 1-6.