



# Three-dimensional movement pattern of the knee joints of subjects after arthroplasty

## Przestrzenny wzorec ruchu kolana u osób po zabiegu artroplastyki stawu

© J ORTHOP TRAUMA SURG REL RES 1 (9) 2008

Original article/Artykuł oryginalny

KATARZYNA OGRODZKA<sup>1</sup>, TADEUSZ NIEDŹWIEDZKI<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Akademia Wychowania Fizycznego, Kraków

<sup>2</sup> Klinika Ortopedii i Traumatologii Narządu Ruchu, Collegium Medicum UJ, Kraków

Address for correspondence/Adres do korespondencji:

Katarzyna Ogrodzka

Al. Jana Pawła II 84/904, 31-579 Kraków, Poland

tel. 600443384; e-mail: katarzynaogrodzka@wp.pl

### Statistic/Statystyka

Word count/Liczba słów 1160/1201

Tables/Tabele 1

Figures/Ryciny 3

References/Piśmiennictwo 7

Received: 10.10.2007

Accepted: 15.11.2007

Published: 19.01.2008

### Summary

**INTRODUCTION.** The main goal of this study was to estimate the influence of knee arthroplasty on angular changes of knee movement in three planes. Angular values changes in the knee joints and spatio-temporal parameters were studied.

**MATERIAL AND METHODS.** The three-dimensional analysis of locomotion was carried out with 20 subjects after total knee replacement aged 40-70, using Vicon system. The examination took place 6 months after arthroplasty.

The results were represented at the background of biomechanical gait parameters of 30 healthy people aged 50-70.

**RESULTS.** Studies on the locomotion were carried out in the Laboratory of Biokinetics, Chair of Anthropometrics, Academy of Physical Education in Kraków.

Increased external rotation in knee joints and flexion contracture of the joint in stance phase was proved. Double support phase was lengthened but cadence was decreased.

**Key words:** locomotion, arthroplasty, three-dimensional motion analysis, spatio-temporal parameters

### Streszczenie

**WSTĘP.** Celem badań było określenie wzorca ruchowego stawów kolanowych u osób po endoprotezoplastyce stawu w trakcie chodu z naturalną prędkością. Ocenie poddano wartości zmian kątowych stawu kolanowego w trzech płaszczyznach ruchu oraz parametry czasowo - przestrzenne chodu.

**MATERIAŁ I METODA.** Badania lokomocji przeprowadzone zostały u 20 osób w przedziale wieku od 40 do 70 roku życia z wykorzystaniem systemu do trójwymiarowej analizy ruchu Vicon 250. Sesja badawcza odbyła się 6 miesięcy po zabiegu endoprotezoplastyki.

Wyniki badań lokomocji zostały przedstawione na tle grupy porównawczej 30 zdrowych osób w przedziale wieku 50-70 lat.

Sesje badawcze zostały przeprowadzone w Pracowni Biokinetyki Katedry Antropomotoryki Akademii Wychowania Fizycznego w Krakowie.

**WYNIKI.** Badanie lokomocji, przeprowadzone po zabiegu artroplastyki, wykazało ponadnormatywną- rotację zewnętrzną w stawie oraz niewielkie ograniczenie wyprostu w fazie podporu (stance). Zmniejszona jest również częstotliwość kroku i wydłużona faza podwójnego podparcia.

**Słowa kluczowe:** lokomocja, artroplastka, trójwymiarowa analiza ruchu, parametry czasowo-przestrzenne

## INTRODUCTION

Endoprosthesis-plasty of the knee joint is a definite therapy of its degenerative disease giving good results (Otsuki et al. 1999). A primary objective of this operation is pain release, secondary is improvement in extremity's mobility range (Matsumoto 2005) and finally recurrence of the correct gait pattern (Deluzio et al. 1997, Otsuki et al. 1999). According to Matsumoto et al. (2005) the range of mobility of the knee joint after an arthroplasty depends on the intraarticular features: design of endoprosthesis, efficiency of the ligament apparatus, as well as on extraarticular ones: disturbances of the extension apparatus of the knee.

Considering the mentioned studies evaluation of a correct mobility pattern of the knee joint after endoprosthesis-plasty during a natural speed gait is required.

The three-dimensional angular variations of the knee joint in motion and tempo-spatial parameters of gait were analyzed in our study.

## MATERIAL AND METHODS

A locomotoric examination was performed in 20 patients aged 40-70y.o. with a use of a 3D motion analyzer Vicon 250. The examination session was made 6 months after endoprosthesis-plasty. In the examined group no other degenerative lesions in the remaining lower limbs' joints were stated. The degeneration evoked an apparent flexion contraction in the affected knee joint in all patients (mean angle value: 6°).

Control group was made of 30 healthy people, aged 50-70years, representing the so called biomechanical norm.

The locomotoric test were done in Laboratory of Biokinetics in Chair of Anthropomotrics, Physical Education Academy in Cracow.

The study design was approved by Commission of Bioethics in District Physicians College of Cracow under the code 43/KBL/OIL/2006.

The gait was studied with a computerized system of three dimensional motion analysis Vicon 250, completed of 5 cameras with luminescent diodes and a data bank. The cameras' record is done in the infrared, with a pictures acquisition regulated according to a type and settings of a camera. Camera speed was 120fps. The acquired 2D picture from a single camera is stored in data bank and combined with the pictures from other cameras thus reconstructing a 3D pattern of the markers. Data bank is a special computer, which collects the data from the cameras. The markers are made of plastic balls (diameter: 25mm) painted with a fluorescent paint. The system is able to perform a 3D positioning of the markers and their spatial transpositions. The passive markers are attached on patients' skin and their distribution gives a scheme of biomechanical model. They are stuck on the articular axes in a proper distance from the joints' centers and on the characteristic points on the head, chest and pelvis. Spatial representation of these body segments

## WSTĘP

Endoprotezoplastyka stawu kolanowego jest ostateczną formą leczenia zmian zwyrodnieniowych, dająca dobre wyniki kliniczne (Otsuki i wsp. 1999). Celem zabiegu jest w pierwszym etapie zmniejszenie bólu pacjenta, a następnie zwiększenie zakresu ruchu stawu kolanowego (Matsumoto 2005) i przywrócenie prawidłowego wzorca chodu (Deluzio i wsp. 1997, Otsuki i wsp. 1999). Zdaniem Matsumoto i wsp. (2005) zakres ruchu w stawie kolanowym po artroplastyce stawu zależy od czynników wewnątrzstawowych: budowy endoprotezy, wydolności więzadeł oraz czynników zewnątrzstawowych: zaburzeń w obrębie aparatu wyprostnego kolana.

W świetle powyższych wyników badań celem badań stało się określenie wzorca ruchowego stawów kolanowych u osób po endoprotezoplastyce stawu w trakcie chodu z naturalną prędkością.

Ocenie poddano wartości zmian kątowych stawu kolanowego w trzech płaszczyznach ruchu oraz parametry czasowo-przestrzenne chodu.

## MATERIAŁ I METODA

Badania lokomocji przeprowadzone zostały u 20 osób w przedziale wieku od 40 do 70 roku życia z wykorzystaniem systemu do trójwymiarowej analizy ruchu Vicon 250. Sesja badawcza odbyła się 6 miesięcy po zabiegu endoprotezoplastyki. W badanej grupie nie stwierdzono przed zabiegiem zmian chorobowych w pozostałych stawach kończyn dolnych. Zmiany zwyrodnieniowe spowodowały, że u wszystkich pacjentów widoczny był przykurcz zgięciowy w chorym stawie (średnio 6°).

Grupę porównawczą stanowiło 30 osób zdrowych w przedziale wieku 50 - 70 lat tzw. norma biomechaniczna.

Badania lokomocji zostały przeprowadzone w Pracowni Biokinetyki Katedry Antropomotoryki Akademii Wychowania Fizycznego w Krakowie.

Projekt badawczy uzyskał zgodę Komisji Bioetycznej przy Okręgowej Izbie Lekarskiej w Krakowie – nr 43/KBL/OIL/2006.

Chód został zbadany przy zastosowaniu komputerowego systemu do trójwymiarowej analizy ruchu Vicon 250, który tworzy 5 kamer z zespołem diod luminescencyjnych oraz stacją danych. Kamery pracują w paśmie podczerwieni, a szybkość zapisu obrazu zależy od ustawienia i rodzaju kamery. Częstotliwość pracy kamery wynosi 120 klatek na sekundę. Zarejestrowany, dwuwymiarowy obraz z jednej z kamer przesyłany jest następnie do stacji danych, gdzie w połączeniu z obrazem z pozostałych kamer tworzy trójwymiarowe odwzorowanie markerów. Stację danych stanowi wyspecjalizowany komputer, który gromadzi i przetwarza dane zarejestrowane przez kamery. Markerami są plastikowe kulki o średnicy 25 mm, pokryte materiałem odbłaskowym. System określa trójwymiarowe położenie markerów w postaci punktów i rejestruje ich zmiany w przestrzeni. Bezpośrednio na skórę pacjenta przykleja się tzw. bierne

is thus obtained, as well as measures of certain parameters, like pelvic and thoracic diameters.

A nomenclature after Rancho Los Amigos Medical Center was used to describe patient locomotoric characteristics [7], presumed a single cycle of gait as 100%. Thus the phases of a gait cycle are: initial contact – contact of a heel with the ground – 0%, loading response – charging of an extremity – 0-10%, midstance – middle phase of a single support – 10-30%, terminal stance – final phase of support – 30-50%, preswing – recoil – 50-60%, initial swing – toe-off-back swing – 60-70%, midswing – transposition of a limb – 70-80%, terminal swing – anterior swing 85-100%.

## RESULTS

The mean values of the angular variations in three motion planes (frontal, sagittal, transverse) of the knee joints after arthroplasty were given in Pictures 1-3.

A constant limitation of the extension in sagittal plane was seen throughout the stance phase, however in the swing phase the range of motion was correct. In the terminal stance the difference between the study group and biomechanical norm was  $10^\circ$  (Pic.1).

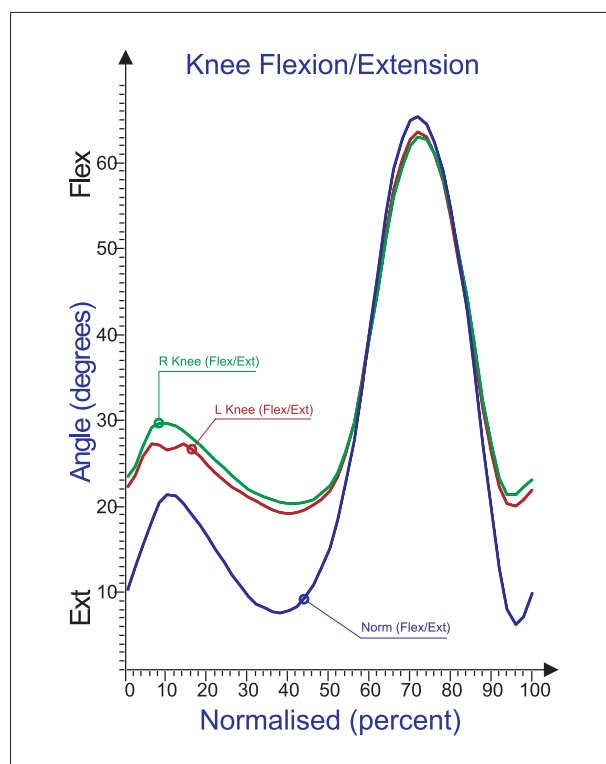
markery. Ich układ odzwierciedla schemat biomechanicznego modelu. Naklejane są w osiach stawów, w odpowiedniej odległości od środka stawów oraz w charakterystycznych punktach na głowie, klatce piersiowej i miednicy. Dzięki temu możliwe jest przestrzenne przedstawienie tych segmentów ciała, jak również pomiar poszczególnych parametrów – wymiary miednicy, rozpiętość klatki piersiowej.

W analizie lokomocji pacjentów wykorzystana została nomenklatura opracowana w Rancho Los Amigos Medical Center [7], która zakłada, że jeden cykl chodu stanowi 100%. Wyróżnia ona następujące fazy chodu: initial contact – kontakt pięty z podłożem – 0%, loading response – obciążenie kończyny – 0-10%, midstance – środkowa część fazy pojedynczego podparcia – 10-30%, terminal stance – końcowa faza podparcia – 30-50%, preswing – odbicie – 50-60%, initial swing – oderwanie palucha – wymach tyłem – 60-70%, midswing – przeniesienie kończyny – 70-85%, terminal swing – wymach przodem – 85-100%.

## WYNIKI

Na rycinach 1–3 przedstawione zostały średnie wartości zakresów zmian kątowych stawów kolanowych, w trzech płaszczyznach ruchu (strzałkowej, czołowej i poprzecznej), u pacjentów po artroplastyce stawu kolanowego.

W płaszczyźnie strzałkowej zauważyć można utrzymujące się przez całą fazę stance ograniczenie wyprostu stawu, ale już w fazie swing zakres ruchu jest prawidłowy. W fazie terminal stance różnica między normą biomechaniczną, a uzyskanymi wynikami wyniosła ok.  $10^\circ$  (rys. 1).



**Fig. 1.** Angular variations of the knee joint in sagittal plane [**Ext.** – extension, **Flex.** – flexion; **Knee R/L** – mobility of the knee joint (Right/Left) after endoprosthesis-plasty; **Angle (degrees)** – angular measures in the joints (in degrees); **Normalized** (percent) – normalized timing of a complete gait cycle (percentage); **Norm** – angular variations in normal gait of the control group (mean,  $\pm$  2SD)]

**Ryc. 1.** Zmiany kątowe stawów kolanowych w płaszczyźnie strzałkowej [**Ext.** – wyprost, **Flex.** – zgięcie; **Knee R/L** – ruchy stawów kolanowych (prawego/lewego) po zabiegu endoprotezoplastyki stawu kolanowego; **Angle (degrees)** – wartości kątowe w stawach (wyrażone w stopniach); **Normalised (percent)** – znormalizowany czas trwania pełnego cyklu chodu (wyrażony w wartościach procentowych); **Norma** – zmiany kątowe obserwowane podczas normalnego chodu, reprezentowanego przez grupę porównawczą (średnia oraz 2 SD)]

The gait pattern in frontal plane changed either. Alloplasty evoked in motion range a tendency to develop a valgus knee. Such setting of the knee was marked stronger in the non-operated limb – maximal deviation of 8 ° in the initial contact phase (Pic.2).

Motion of the shank in the transverse plane deviated to external rotation in angular variations throughout the gait cycle. After the surgery the articular rotation was 25 ° in stance phase and 30 ° in swing phase (Pic.3).

## ANALYSIS OF TEMPO-SPATIAL PARAMETERS

On examination tempo-spatial measures were taken from all patients (Tab.1)

The results shown in Tab.1 represent mean values of the tempo-spatial parameters specified after locomotoric examination of the study group and the corresponding measures in healthy individuals of the control group.

Healthy persons usually made 101(+/-9) steps per minute. Duration of a double support was 0,36s (+/-0,07), while single lasted 0,42s (+/-0,04). Length of a step was 0,55m (+/-0,08) average; step duration 0,60s (+/-0,08). Length of a cycle reached 1,10m (+/-0,16) and its duration 1,20s (+/-0,12). Average speed of patients walk was 0,93m/s (+/-0,16).

Do zmiany wzorca ruchowego stawów kolanowych doszło również w płaszczyźnie czołowej. Alloplastyka stawu spowodowała przesunięcie zakresu ruchu w kierunku koślawienia. Koślawie ustawienie stawu bardziej zaznacza się w kończynie nieoperowanej – maksymalne odchylenie stawu wyniosło 8° w fazie initial contact (ryc. 2).

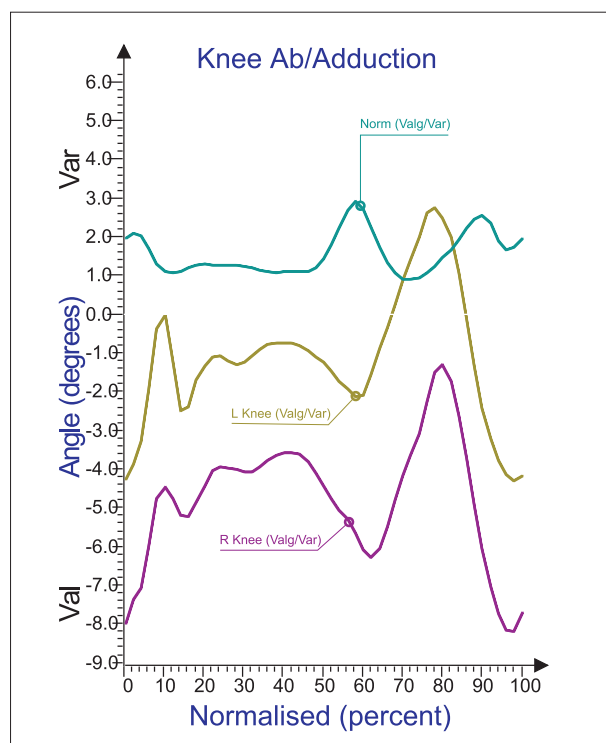
Ruch podudzia w płaszczyźnie poprzecznej charakteryzował się wyraźnym przesunięciem zakresu zmian kątowych w kierunku rotacji zewnętrznej w całym przebiegu cyklu chodu. Po zabiegu rotacja stawu utrzymywała się na poziomie ok. 25° w fazie stance, a w fazie swing sięgnął ok. 30° (ryc.3).

## ANALIZA PARAMETRÓW CZASOWO-PRZESTRZENNYCH

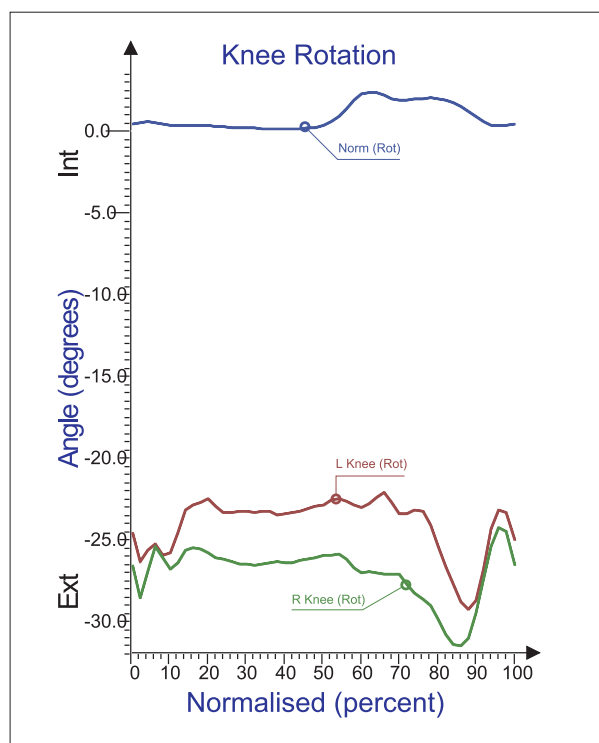
Wszystkim pacjentom podczas badania zmierzono parametry czasowo-przestrzenne chodu, które zostały przedstawione w tabeli 1.

Wyniki zaprezentowane w tabeli 1 przedstawiają średnie wartości parametrów czasowo-przestrzennych, określonych po badaniu lokomocji oraz analogiczne parametry uzyskane dla osób zdrowych w grupie porównawczej.

Badane osoby wykonywały średnio 101(±9) kroków w ciągu minuty. Czas podwójnego podparcia wyniósł 0,36 s (±0,07), natomiast czas pojedynczego podparcia 0,42 s (±0,04). Długość kroku pacjentów wyniosła średnio 0,55 (±0,08); czas kroku wyniósł 0,60 (±0,08), z kolei długość cyklu 1,10 m (±0,16), a czas cyklu 1,20 s (±0,12). Badani poruszali się średnio z prędkością 0,93 m/s (±0,16).



**Fig. 2.** Angular variations in frontal plane [Var. – varus, Val. – valgus]  
**Ryc. 2.** Zmiany kątowe stawów kolanowych w płaszczyźnie czołowej [Var – szpotawość; Val – koślawość]



**Fig. 3.** Angular variations of the knee joints in transverse plane [Ext. – external rotation, Int. – internal rotation]

**Ryc. 3.** Zmiany kątowe stawów kolanowych w płaszczyźnie poprzecznej [Ext – rotacja zewnętrzna; Int – rotacja wewnętrzna]

**Tab. 1.** Values of tempo-spatial parameters of gait

| Tempo-spatial parameters       | Study group<br>$\bar{x} \pm sd$ | norm<br>$\bar{x} \pm sd$ |
|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Gait frequency [steps/min]     | 101 $\pm$ 9.27                  | 113 $\pm$ 9.68           |
| Duration of double support [s] | 0.36 $\pm$ 0.07                 | 0.19 $\pm$ 0.02          |
| Duration of single [s]         | 0.42 $\pm$ 0.04                 | 0.47 $\pm$ 0.02          |
| Length of step [m]             | 0.55 $\pm$ 0.084                | 0.69 $\pm$ 0.045         |
| Duration of step [s]           | 0.60 $\pm$ 0.068                | 0.54 $\pm$ 0.051         |
| Length of gait cycle [m]       | 1.10 $\pm$ 0.16                 | 1.38 $\pm$ 0.091         |
| Duration of cycle [s]          | 1.20 $\pm$ 0.12                 | 1.07 $\pm$ 0.096         |
| Speed of walk [m/s]            | 0.93 $\pm$ 0.16                 | 1.30 $\pm$ 0.14          |

[ $\bar{x} \pm sd$  – arithmetic average  $\pm$  standard deviation; **study group values** – results after endoprosthesis-plasty; **norm** – results of the control group]

## DISCUSSION

An apparent change of the gait pattern after arthroplasty is seen in all three planes of motion.

After knee arthroplasty flexion of the joint in the stance phase develops, however in the swing phase the mobility of the joint is correct. Exaggerated varus knee and its external rotation is maintained through the entire gait cycle.

Gonarthrosis affects patients locomotoric pattern. However in a longer period of time such stereotype results in secondary health problems, which last even after the endoprosthesis-plasty. That is why the obtained results, 6 months after the surgery may change with time, even approaching the biomechanical norm.

The values of tempo-spatial parameters are altered as well. The studied persons, when compared to healthy ones, developed reduced gait frequency, shorter single support duration, shorter step and gait cycle. It resulted in longer double support duration, affected time of swing and cycle. The speed of walk was reduced. Such results can either prove pain problems or fear of loading the operated extremity.

Bibliographic findings on the studied problem are strongly different. In Börjesson's (2005) study, despite good clinical results after the operation, patients' speed of walk changed insignificantly and the remaining tempo-spatial parameters did not improve. These findings agree with the research by Benedetti (2003), emphasizing that range of flexion of the knee joint in the gait cycle remains reduced. However Webster (2003) in his studies stated, that in 8 of 12 patients flexion of the knee joint during walking enlarges after arthroplasty.

Application of more and more exact hardware for motion analysis is necessary to obtain best clinical results. Change in gait pattern is apparent in 3D analysis of patients motion after arthroplasty of the knee joint, estimation of these changes and range of disfunction can thus be measured. As so, one of the applications of the presented method is monitoring of the patients after the

**Tab. 1.** Wartości parametrów czasowo-przestrzennych chodu

| Parametry czasowo-przestrzenne  | wyniki badanej grupy<br>$\bar{x} \pm sd$ | norma<br>$\bar{x} \pm sd$ |
|---------------------------------|------------------------------------------|---------------------------|
| częstość kroku [krok/min]       | 101 $\pm$ 9.27                           | 113 $\pm$ 9.68            |
| czas podwójnego podparcia [s]   | 0.36 $\pm$ 0.07                          | 0.19 $\pm$ 0.02           |
| czas pojedynczego podparcia [s] | 0.42 $\pm$ 0.04                          | 0.47 $\pm$ 0.02           |
| długość kroku [m]               | 0.55 $\pm$ 0.084                         | 0.69 $\pm$ 0.045          |
| czas kroku [s]                  | 0.60 $\pm$ 0.068                         | 0.54 $\pm$ 0.051          |
| długość cyklu chodu [m]         | 1.10 $\pm$ 0.16                          | 1.38 $\pm$ 0.091          |
| czas cyklu [s]                  | 1.20 $\pm$ 0.12                          | 1.07 $\pm$ 0.096          |
| prędkość chodu [m/s]            | 0.93 $\pm$ 0.16                          | 1.30 $\pm$ 0.14           |

[ $\bar{x} \pm sd$  – średnia arytmetyczna  $\pm$  odchylenie standardowe; **wyniki badanej grupy** – wyniki uzyskane podczas badania po zabiegu endoprotezoplastyki; **norma** – wartości reprezentowane przez grupę porównawczą]

## DYSKUSJA

Analizując wyniki badań lokomocji pacjentów po zabiegu artroplastyki stawu kolanowego można zauważyć wyraźną zmianę wzorca ruchowego stawów we wszystkich płaszczyznach ruchu.

Po zabiegu alloplastyki stawów wyraźnie zaznacza się zgięciowe ustawienie kolan w fazie stance, ale w fazie swing stawy pracują już prawidłowo. Pojawia się również nadmierna koślawość i rotacja zewnętrzna stawów kolanowych, utrzymujące się przez cały cykl chodu.

Choroba zwyrodnieniowa stawów kolanowych powoduje zmianę wzorca lokomocji pacjentów. Jednak w dłuższym okresie czasu stereotyp ten jest powodem wtórnych problemów zdrowotnych, które mimo zabiegu endoprotezoplastyki stawu utrzymują się. Stąd też otrzymane wyniki badań, przeprowadzone 6 miesięcy po zabiegu, mogą z czasem zmienić się i zbliżyć do normy biomechanicznej.

Zmienione są również wartości parametrów czasowo-przestrzennych. Badane osoby, w porównaniu z normą biomechaniczną, miały zamniejszoną częstotliwość kroku, krótszy czas pojedynczego podparcia oraz krótszy krok i cykl chodu. Wpłynęło to bezpośrednio na wydłużenie czasu podwójnego podparcia, czasu kroku oraz cyklu. Zmniejszona była również prędkość chodu. Wyniki te mogą świadczyć albo o utrzymujących się dolegliwościach bólowych, albo o lęku pacjentów przed obciążeniem operowanej kończyny.

Literatura tematu wskazuje jednak na znaczne rozbieżności w opisie wyników badań. Börjesson (2005) zauważa, że pomimo dobrych wyników klinicznych po zabiegu, szybkość chodu pacjentów zmienia się nieznacznie, a tym samym pozostałe parametry czasowo-przestrzenne nie ulegają istotnej poprawie. Benedetti (2003) potwierdza te badania, dodając jednocześnie, że zakres zgięcia stawu kolanowego w całym cyklu chodu nadal jest ograniczony. Natomiast Webster (2003) w swych badaniach stwierdza, że u 8 z 12 pacjentów po zabiegu artroplastyki, zgięcie stawu kolanowego w trakcie chodu zwiększa się.



surgery. The obtained results can be then used for validation and verification of the efficacy of the applied therapy.

## CONCLUSIONS

1. Despite alloplasty of the knee joint, an altered gait pattern is sustained even 6 months after the surgery.
2. Locomotoric examination after arthroplasty showed enormous external rotation in the joint as well as minimally limited extension in stance phase.
3. Frequency of steps is reduced while double support phase is longer.

Zastosowanie coraz to dokładniejszej aparatury pomiarowej w analizie ruchu są koniecznością w uzyskaniu jak najlepszych wyników klinicznych. Na podstawie przeprowadzonej trójwymiarowej analizy można jednoznacznie zauważyć zmianę wzorca chodu u chorych po alloplastyce stawu oraz określić stopień i zakres tych dysfunkcji. A więc jedną z możliwości, jaką daje ta metoda badań jest monitorowanie przebiegu leczenia pacjentów po zabiegach chirurgicznych. Uzyskane wyniki można wykorzystać do oceny i weryfikacji skuteczności stosowanych sposobów leczenia.

## WNIOSKI

1. Mimo alloplastyki stawu kolanowego, w 6 miesięcy po zabiegu, zmieniony wzorzec lokomocji utrzymuje się.
2. Badanie lokomocji, przeprowadzone po zabiegu artroplastyki, wykazało ponadnormatywną rotację zewnętrzną w stawie oraz niewielkie ograniczenie wyprostu w fazie podporu (stance).
3. Zmniejszona jest również częstotliwość kroku i wydłużona faza podwójnego podparcia.

---

## References/Piśmiennictwo:

1. Otsuki T, Nawata K, Okuno M: *Quantitative evaluation of gait pattern in patients with osteoarthritis of the knee before and after total knee arthroplasty. Gait analysis using a pressure measuring system. J Orthop Sci*, 1999; 4: 99-105
2. Matsumoto T, Tsumura N, Kubo S i wsp.: *Influence of hip position on knee flexion angle in patients undergoing total knee arthroplasty. J Arthroplasty*, 2005; 20 (5): 669-673
3. Deluzio K, Wyss U, Zee B i wsp.: *Principal component models of knee kinematics and kinetics: Normal vs. pathological gait patterns. Hum Mov Sci*; 16: 201-217
4. Perry J. *Gait analysis. Thorofare, SLACK*, 1992
5. Börjesson M, Weidenhielm L, Mattsson E i wsp.: *Gait and clinical measurements in patients with knee osteoarthritis after surgery: a prospective 5 – year follow – up study. Knee* 2005; 12: 121-127
6. Benedetti M, Catani F, Bilotta T i wsp.: *Muscle activation pattern and gait biomechanics after total knee replacement. Clin Biomech*, 2003; 13: 871-876
7. Webster K, Wittwer J, Feller J: *Quantitative gait analysis after medial unicompartmental knee arthroplasty for osteoarthritis J Arthroplasty*, 2003; 18 (6): 751-759