



The variability of kinematic parameters of the lower limb joints of subjects before and after total knee replacement

Zmienność parametrów kinematycznych stawów kończyn dolnych u pacjentów przed i po endoprotezoplastyce stawu kolanowego

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

Original article/Artykuł oryginalny

KATARZYNA OGRODZKA¹, TADEUSZ NIEDŹWIEDZKI^{1,2}

¹ Akademia Wychowania Fizycznego, Kraków

² 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 1139/1262

Tables/Tabele 0

Figures/Ryciny 3

References/Piśmiennictwo 8

Received: 10.10.2007

Accepted: 18.11.2007

Published: 19.01.2008

Summary

INTRODUCTION. The aim of the studies was an attempt to evaluate the variability of kinematic parameters of the lower limb joints of subjects before and after total knee replacement in the context of therapeutic rehabilitation. Angular values changes in the knee, ankle, and hip joints were studied in three planes of movement. The analysis assumed parameters, which have changed as a result of the surgical intervention.

MATERIAL AND METHODS. Studies on the locomotion were carried out on 20 subjects within the age range of 48 to 74 years using Vicon 250 system for three dimensional locomotion analysis. **RESULTS.** The movement pattern of lower limb joints has changed after knee arthroplasty. The analysis of kinematic parameters has showed that the most prominent changes were revealed in the ankle joints in the sagittal plane, in the knee joints in the transverse and frontal planes and in the hip joints in transversal plane.

Key words: locomotion, gonarthrosis, three-dimensional motion analysis, arthroplasty

Streszczenie

WSTĘP. Celem badań była ocena zmienności parametrów kinematycznych stawów kończyn dolnych u pacjentów przed i po endoprotezoplastyce stawu kolanowego w kontekście usprawniania leczniczego. Po uwagę wzięto wartości zmian kątowych stawów kolanowych, skokowych i biodrowych w trzech płaszczyznach ruchu. Analiza obejmowała parametry, które w wyniku zabiegu uległy zmianie.

MATERIAŁ I METODA. Badania lokomocji przeprowadzone zostały u 20 osób w przedziale wieku od 48 do 74 roku życia z wykorzystaniem systemu do trójwymiarowej analizy ruchu Vicon 250. **WYNIKI.** W wyniku zabiegu zmienił się wzorzec ruchu stawów kończyn dolnych w poszczególnych płaszczyznach.

WNIOSKI. Analiza parametrów kinematycznych wykazała, że największe zmiany odnotowano w stawach skokowych w płaszczyźnie strzałkowej, w stawach kolanowych w płaszczyznach czołowej i poprzecznej oraz w stawach biodrowych w płaszczyźnie poprzecznej.

Słowa kluczowe: lokomocja, zmiany zwyrodnieniowe, trójwymiarowa analiza ruchu, artroplastyka

INTRODUCTION

Gonarthrosis is one of the most forms of osteoarthritis. A pain in either anterior or medial part of the shank is referred to as a leading symptom, growing on loading of the lower extremity in the initial phase of the disease. The pain appears even in unloaded leg, in rest as the disease progresses [1]. Oedema and flexion contraction develop [2,3].

Alloplasty, as a definite form of therapy gives good clinical results [4], it helps in pain release, improves knee joint mobility [5] and recurrence of correct gait pattern [1,4].

Degenerative lesions of the knee joint affect strongly function of the ankle and hip joints, position of pelvis and vertebral column. That is why a complete biomechanical analysis and interpretation of locomotoric examination is required.

Because of a missing information on locomotorics from continuous observations of the patients before and after endoprosthesis-plasty, the objective of our study is evaluation of the variability of the kinematic parameters in the lower limbs' joints in these patients, based on the analysis of their natural speed gait in the context of therapeutic rehabilitation.

The considered parameters were angular measures of the knee, ankle and hip joints in three motion planes. The parameters undergoing significant changes after the surgery were included into the study only.

MATERIAL AND METHODS

Locomotoric examination was performed in 20 patients 40-70y.o. with a 3D motion analyzer Vicon250. First examination was done before endoprosthesis-plasty, second – 6 months after the operation, in patients mobile without orthopedic support devices. In the studied 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 tests were done in Laboratory of Biokinetics in Chair of Anthropomotorics, 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.

To study the motion a 3D analyzer Vicon, based on passive markers attached to the rotation axes of the joints and other characteristic anthropometric points was applied. The markers are placed according to biomechanical model "Golem" on chest, pelvis, extremities and hand. Thus a spatial representation of the body segments is ensured.

A nomenclature after Rancho Los Amigos Medical Center was used to describe patient locomotoric charac-

WSTĘP

Choroba zwyrodnieniowa stawów kolanowych jest jedną z najczęstszych form osteoartrozy. Jako główny objaw choroby podaje się ból w przedniej lub przyśrodkowej części goleni, w początkowym etapie choroby nasilający się podczas obciążania, który z czasem pojawia się również w spoczynku [1], obrzęk oraz przykurcz zgięciowy stawu [2, 3].

Alloplastyka stawu kolanowego, jako ostateczna forma leczenia, daje dobre wyniki kliniczne [4] i pozwala na zmniejszenie bólu pacjenta i zwiększenie zakresu ruchu stawu kolanowego [5] oraz przywrócenie prawidłowego wzorca chodu [1, 4].

Zmiany zwyrodnieniowe stawów kolanowych w istotny sposób wpływają również na funkcjonowanie stawów skokowych i biodrowych, a także na ustawienie miednicy i kręgosłupa. Stąd też konieczna staje się analiza i interpretacja wyników badań lokomocji w odniesieniu do całego biomechanizmu.

Dlatego też ze względu na brak wyników lokomocji, z badań ciągłych, u pacjentów przed i po endoprotezoplastyce, celem badań stała się ocena zmienności parametrów kinematycznych stawów kończyn dolnych u tych pacjentów, w trakcie chodu z naturalną prędkością, w kontekście usprawniania leczniczego.

Po uwagę wzięto wartości zmian kątowych stawów kolanowych, skokowych i biodrowych w trzech płaszczyznach ruchu. Analiza obejmowała tylko te parametry, które w wyniku zabiegu uległy znacznej zmianie.

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. Pierwsze badanie lokomocji przeprowadzone było przed zabiegiem endoprotezoplastyki, drugie natomiast 6 miesięcy po operacji, gdy pacjenci poruszali się samodzielnie bez użycia pomocy ortopedycznych.

W badanej grupie nie stwierdzono przed zabiegiem zmian chorobowych w pozostałych stawach kończyn dolnych. Choroba zwyrodnieniowa spowodowała, 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.

Dla określenia przebiegu ruchu wykorzystano system do trójwymiarowej analizy Vicon, który bazuje na biernych markerach, naklejanych w osiach obrotu stawów i wybranych punktach antropometrycznych ciała. Markery przykleja się bezpośrednio na skórę badanego w charaktery-

teristics, presumed a single cycle of gait as 100%. The distinguished phases of a gait cycle are:

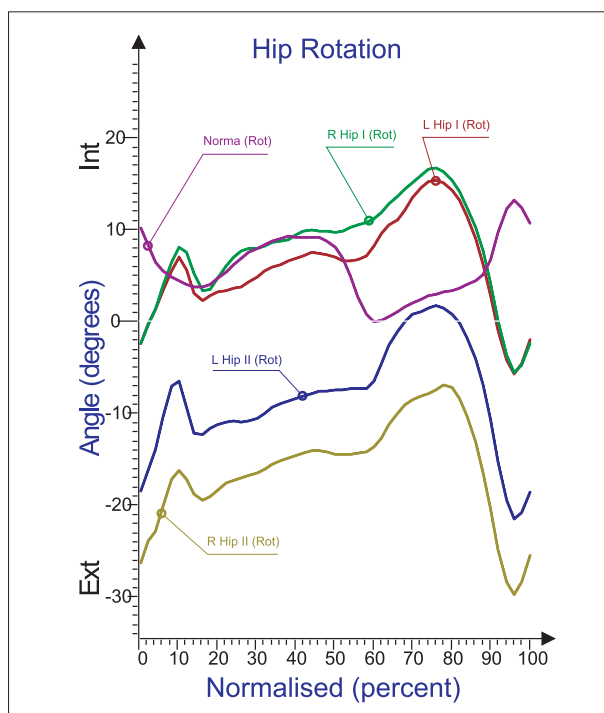
1. initial contact – contact of a heel with the ground – 0%,
2. loading response – charging of an extremity – 0-10%,
3. midstance – phase of a single support – 10-30%,
4. terminal stance – final phase of support -30-50%,
5. preswing – recoil – 50-60%,
6. initial swing – toe-off and back swing – 60-70%,
7. midswing – transposition of a limb – 70-85%,
8. terminal swing – anterior swing 85-100%.

RESULTS

In the Pictures 1-4. the ranges of angular variations in hip, knee and ankle joints are presented in three motion planes (sagittal frontal, ankle), in patients before and after knee joint arthroplasty.

ANALYSIS OF THE ANGULAR VARIATIONS IN HIP JOINT

Analysis of the motion in the hip joints showed a significant change in motoric pattern in transverse plane. The differences from biomechanical norm were observed before the surgery in the swing phase only - 16° in midswing, as a forced external rotation. After arthroplasty such enormous external rotation was seen through the entire gait cycle (Pic.1).



stycznych punktach: na klatce piersiowej, miednicy kończynach i głowie, zgodnie ze schematem odpowiadającemu biomechanicznemu modelowi „Golem”. Umożliwia to odwzorowanie w przestrzeni segmentów ciała.

W analizie lokomocji pacjentów wykorzystana została nomenklatura opracowana w Rancho Los Amigos Medical Center [6], która zakłada, że jeden cykl chodu stanowi 100%. Wyróżnia ona następujące fazy chodu:

1. initial contact – oparcie pięty – 0%
2. loading response – obciążenie kończyny – 0-10%
3. midstance – podpór jednoż – 10-30%
4. terminal stance – końcowa faza podporu – 30-50%
5. pressing – odbicie – 50-60%
6. initial swing – oderwanie palucha – wymach tyłem – 60-70%
7. midswing – przeniesienie kończyny – 70-85%
8. terminal swing – wymach przodem – 85-100%

WYNIKI

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

ANALIZA ZMIAN KĄTOWYCH STAWÓW BIODROWYCH

Analiza ruchu stawów biodrowych wykazała znaczną zmianę wzorca pracy stawów w płaszczyźnie poprzecznej. Przed zabiegiem różnice między normą biomechaniczną, a wynikami widoczne były tylko w fazie swing – różnica 16o w fazie midswing – zwiększona rotacja wewnętrzna. Po zabiegu, w przebiegu całego cyklu chodu, pojawiła się ponadnormatywna rotacja zewnętrzna stawów (ryc. 1).

Fig. 1. Hip joints' angular variations in the transverse plane [Ext. – external rotation, Int. – internal rotation; Hip I – 1st examination of the hip joints' mobility, before endoprosthesis-plasty of the knee; Hip II – 2nd examination of the hip joints' mobility, after endoprosthesis-plasty of the knee; Angle (degrees) – angular measures; Normalised (percent) – normalized duration of the gait cycle (in percents); Norm – angular variations of the normal gait in the control group (mean value +/-2SD)]

Ryc. 1. Zmiany kątowe stawów biodrowych w płaszczyźnie poprzecznej [Ext – rotacja zewnętrzna, Int – rotacja wewnętrzna; Hip I – I badanie, ruchy stawów biodrowych przed zabiegiem endoprotezoplastyki stawu kolanowego; Hip II – II badanie, ruchy stawów biodrowych 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)]

ANGULAR VARIATIONS OF THE KNEE

A reversal of the motion pattern was seen in the frontal plane. Before the surgery varus knee was observed in the joints – maximal difference of 14° deviation compared to the norm in midswing phase. The alloplasty evoked valgus knee setting (Picture 2).

ANALYSIS OF ANGULAR VARIATIONS IN ANKLE JOINTS

The position of ankle joints in the sagittal plane also changed. The angular variability curve was closer to plantar flexion. In the initial contact phase it varied for about 2° compared to the norm. After the surgery the mobility changed. From the beginning of terminal stance till the end of midswing phase the joints were in dorsal hyperflexion (Picture 3).

ANALIZA ZMIAN KĄTOWYCH STAWÓW KOLANOWYCH

Do odwrócenia wzorca ruchowego stawów kolanowych doszło w płaszczyźnie czołowej. Przed zabiegiem zaznaczyło się szpotawe ustawienie stawów – maksymalna różnica między normą, a wynikami wyniosła ok. 14° w fazie midswing. Przeprowadzona endoprotezoplastyka wpłynęła na przesunięcie się zakresu ruchu w kierunku koślawienia. (ryc. 2).

ANALIZA ZMIAN KĄTOWYCH W STAWACH SKOKOWYCH

Zmieniło się również ustawienie stawów skokowych w płaszczyźnie strzałkowej. Przed operacją krzywa zmian kątowych przesunięta była w kierunku zgięcia podeszwowego. W fazie initial contact różnica między normą, a wynikami wyniosła ok. 2°. Po zabiegu charakter ruchu zmienił się. Od początku fazy terminal stance do końca fazy mid swing stawy są nadmiernie zgięte grzbietowo (ryc.3).

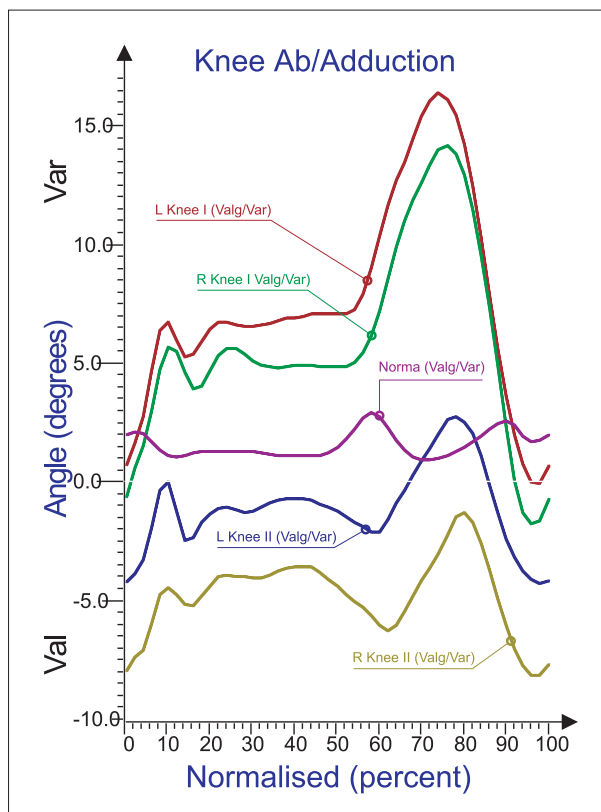


Fig. 2. Knee joints' angular variations in the frontal plane [Var. – varus, Val. – valgus; **Knee I** – examination of the knee joints, before endoprosthesis-plasty of the knee; **Knee II** – examination of the knee joints, after endoprosthesis-plasty of the knee]

Ryc. 2. Zmiany kątowe stawów kolanowych w płaszczyźnie czołowej [Var – szpotawość; Val – koślawość; **Knee I** – I badanie, ruchy stawów kolanowych przed zabiegiem endoprotezoplastyki stawu kolanowego; **Knee II** – II badanie, ruchy stawów kolanowych po zabiegu endoprotezoplastyki stawu kolanowego]

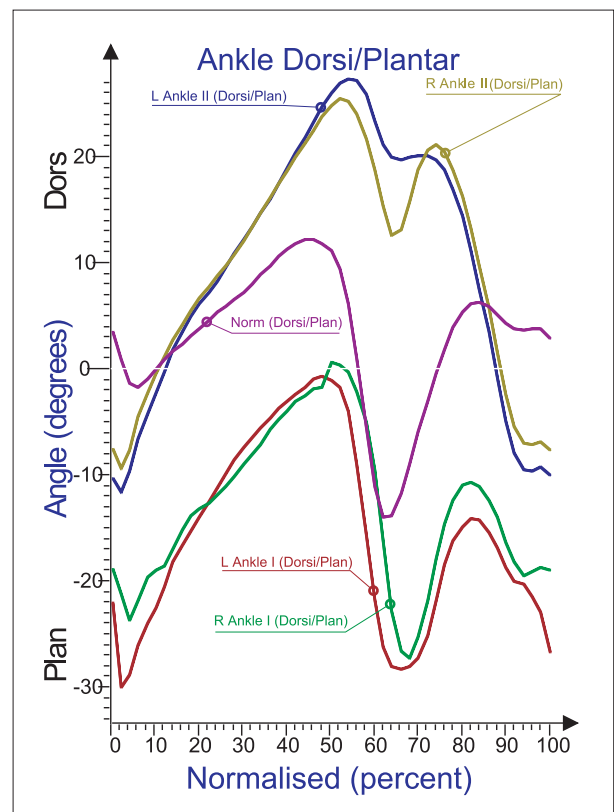


Fig. 3. Ankle joints' angular variations in the sagittal plane [Plan – plantar flexion, Dors – dorsal flexion; **Ankle I** – examination of the ankle joints, before endoprosthesis-plasty of the knee; **Ankle II** – examination of the ankle joints, after endoprosthesis-plasty of the knee]

Ryc. 3. Zmiany kątowe stawów skokowych w płaszczyźnie strzałkowej [Plan – zgięcie podeszwoowe; Dors – zgięcie grzbietowe; **Ankle I** – I badanie, ruchy stawów skokowych przed zabiegiem endoprotezoplastyki stawu kolanowego; **Ankle II** – II badanie, ruchy stawów skokowych po zabiegu endoprotezoplastyki stawu kolanowego]

DISCUSSION

Advanced gonarthrosis affects significantly gait stereotype with a limitation in function of a patient. Endoprosthesis-plasty is a method of therapy, which allows to improve the gait pattern, although it demands time and proper rehabilitation to record correct pattern. A detailed analysis of gait cycle is necessary for optimal results, since it illustrates and presents various disturbances in individual gait pattern. This can be reached in a 3D motion analysis, which presents spatial arrangement of body segments in three planes of motion.

A locomotoric examination was done in 20 patients to discover variations of kinematic parameters. Angular changes in ankle, knee and hip joints were considered in three planes of motion, however only apparent differences were included into the study.

The most important changes were seen in hip joints in the transverse plane, then in the knee joints in frontal plane, and finally in ankle joints in sagittal plane. The hip joints were functionate in a close to biomechanical norm range before alloplasty of the knee. A greater internal rotation was observed only. After the surgery, enormous external rotation developed. In the entire gait cycle. Varus knees before alloplasty turned into valgus after the operation. Analysis of the ankle joints mobility after 1st examination, showed plantar hyperflexion. Alloplasty changed the relation: In stance phase the setting was within the biomechanical norm, while in swing phase shifted towards dorsal hyperflexion.

Such interpretation of the obtained results allows to for an opinion, that gonarthrosis affects gait pattern whereas endoprosthesis-plasty reverts the affected pattern. The reversed pattern however differs from biomechanical norm. Such abnormal pattern may result from too early post-operative examination – 6 months, when recorded preoperative compensatory mechanisms were still maintained and the results might just be a transient phase to total recovery.

Numerous studies of the gait stereotype before and after alloplasty of the knee joints [4,7,8] did not present clear-cut results of a continuous observation in patients with a diagnosed 3D locomotoric model and its importance in rehabilitation. Only chosen kinematic parameters of gait are presented in our study. The main objective, however was to turn the attention to certain motions in the joints in set planes, which demand a detailed analysis in physiotherapeutic context.

In default of missing data on discussed problem, interpretation of the changes developing in the segments of biomechanism before and after alloplasty of knee joint, is of major importance, since it influences planning and choice of rehabilitation methods of the patients.

DYSKUSJA

Zaawansowane zmiany zwyrodnieniowe stawów kolanowych w istotny sposób wpływają na zmianę stereotypu chodu, powodując funkcjonalne ograniczenia chorego. Endoprotezoplastka stawu, jako jedna z metod leczenia choroby, pozwala na poprawę tego wzorca, ale wymaga to czasu i odpowiedniej rehabilitacji, która pozwoliłaby na utrwalenie prawidłowego schematu ruchu. Aby tego dokonać konieczna staje się dokładna i rzetelna analiza cyklu chodu, która uwidacznia i ilustruje zaburzenia w sposobie poruszania się tych pacjentów. Taką możliwość daje trójwymiarowa analiza ruchu, która przedstawia przestrzenne ułożenie segmentów ciała w trzech płaszczyznach.

W celu określenia zmienności parametrów kinematycznych chodu u chorych przed i po alloplastyce stawu kolanowego, przeprowadzono badanie lokomocji u 20 pacjentów. Pod uwagę wzięto zmiany kątowe w stawach skokowych, kolanowych i biodrowych w trzech płaszczyznach ruchu, ale do analizy wybrano tylko te parametry, które uległy wyraźnej zmianie.

Najbardziej istotne zmiany nastąpiły w stawach biodrowych w płaszczyźnie poprzecznej, w stawach kolanowych w płaszczyźnie czołowej i w stawach skokowych w płaszczyźnie strzałkowej. Stawy biodrowe przed zabiegiem funkcjonowały w zakresie ruchu zbliżonym do normy biomechanicznej. Tylko w fazie swing nastąpiła nadmierna rotacja wewnętrzna. Po zabiegu pojawiła się ponadnormatywna rotacja zewnętrzna stawów w przebiegu całego cyklu chodu. Stawy kolanowe przed alloplastyką ustawione były w szpotawości, która po zabiegu przeszła w koślawość kolan. Natomiast analiza ruchu stawów skokowych przeprowadzona po pierwszej sesji badawczej wykazała, że stawy są przesadnie zgięte podszwowo. Ten obraz ruchu zmienił się znacznie po przeprowadzeniu artroplastyki stawu kolanowego. W fazie stance zakres ruchu pokrywał się z normą biomechaniczną, a w fazie swing przesunął się w kierunku zwiększonego zgięcia grzbietowego.

Ta interpretacja uzyskanych wyników pozwala na stwierdzenie, że choroba zwyrodnieniowa stawów kolanowych zmienia stereotyp chodu, a przeprowadzona endoprotezoplastyka stawu powoduje odwrócenie tego wzorca. Odwrócenie to jednak nie do końca pokrywa się z normą biomechaniczną. Być może spowodowane jest to tym, że drugie badanie lokomocji przeprowadzone zostało tylko 6 miesięcy po zabiegu, kiedy utworzone wcześniej mechanizmy kompensacyjne jeszcze się utrzymywały, a uzyskane wyniki są tylko etapem pośrednim przed powrotem do wartości prawidłowych.

Liczne opracowania na temat stereotypu chodu osób przed i po zabiegu endoprotezoplastki stawów kolanowych [4,7,8] nie przedstawiają w sposób jednoznaczny wyników badań ciągłych, przeprowadzonych u tych pacjentów, w których określony byłby trójwymiarowy obraz lokomocji oraz jego znaczenie w procesie rehabilitacji. Praca ta prezentuje tylko wybrane parametry kinematyczne chodu, ale celem było zwrócenie uwagi na

CONCLUSIONS

1. Gonarthrosis affects gait pattern.
2. Maximal changes develop in ankle joints, in the sagittal plane, in knee joints in frontal plane and in hip joints in transverse plane.
3. Alloplasty of knee joint altered motion pattern of the lower extremities in the set planes.

poszczególne ruchy w stawach, w poszczególnych płaszczyznach, które wymagają szczególnej analizy w kontekście fizjoterapii.

Wobec braku tego typu wyników badań znacząca staje się interpretacja zmian, zachodzących w poszczególnych segmentach biomechanizmu przed i po artroplastyce stawu kolanowego, która będzie miała istotny wpływ na zaplanowanie i dobór leczenia usprawniającego u tych chorych.

WNIOSKI

1. Zmiany zwyrodnieniowe powodują zaburzenie wzorca lokomocji.
2. Największe zmiany odnotowano w stawach skokowych w płaszczyźnie strzałkowej, w stawach kolanowych w płaszczyźnie czołowej oraz w stawach biodrowych w płaszczyźnie poprzecznej.
3. W wyniku zabiegu zmienił się wzorzec ruchu stawów kończyn dolnych w poszczególnych płaszczyznach.

References/Piśmiennictwo:

1. Deluzio K, Wyss U, Zee B i wsp.: *Principal component models of knee kinematics and kinetics: Normal vs. pathological gait patterns.* *Hum Mov Sci*, 1997; 16: 201-217
2. Kaufman K, Huges C, Morrey B. i wsp.: *Gait characteristics of patients with knee osteoarthritis.* *J Biomech*, 2001; 34: 907-915
3. Yu S, Stuart M, Kienbacher T, i wsp.: *Valgus – varus motion of the knee in normal level walking and stair climbing.* *Clin Biomech*, 1997; 12 (5): 286-293
4. 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.
5. 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
6. Perry J. *Gait analysis.* Thorofare, SLACK, 1992.
7. 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.
8. Ishii Y, Terajima K, Koga Y i wsp.: *Gait analysis after total knee arthroplasty. Comparison of posterior cruciate retention and substitution.* *J Orthop Sci*, 1998; 3: 310 – 317.