

**Zaangażowanie Autorów**

- A – Przygotowanie projektu badawczego
- B – Zbieranie danych
- C – Analiza statystyczna
- D – Interpretacja danych
- E – Przygotowanie manuskryptu
- F – Opracowanie piśmiennictwa
- G – Pozyskanie funduszy

**Author's Contribution**

- A – Study Design
- B – Data Collection
- C – Statistical Analysis
- D – Data Interpretation
- E – Manuscript Preparation
- F – Literature Search
- G – Funds Collection

**Agnieszka Wnuk<sup>1(A,B,D,E,F)</sup>, Anita Król<sup>1(A,B,D,E,F)</sup>,  
Maciej Polak<sup>2(C,D)</sup>, Elżbieta Szczygieł<sup>3(B,D)</sup>,  
Grzegorz Mańko<sup>1(D,E)</sup>**

<sup>1</sup> Zakład Ergonomii i Fizjologii Wysiłku Fizycznego, Wydział Nauk o Zdrowiu, Uniwersytet Jagielloński Collegium Medicum, Kraków, Polska

<sup>2</sup> Zakład Epidemiologii i Badań Populacyjnych, Instytut Zdrowia Publicznego, Uniwersytet Jagielloński Collegium Medicum, Kraków, Polska

<sup>3</sup> Katedra Fizjoterapii, Wydział Rehabilitacji Ruchowej, Akademia Wychowania Fizycznego, Kraków, Polska

<sup>1</sup> Department of Ergonomic and Exercise Physiology, Faculty of Health Sciences, Jagiellonian University Collegium Medicum, Cracow, Poland

<sup>2</sup> Department of Epidemiology and Population Studies, Institute of Public Health, Faculty of Health Sciences, Jagiellonian University Collegium Medicum, Cracow, Poland

<sup>3</sup> Department of Physiotherapy, Faculty of Motor Rehabilitation, The University School of Physical Education, Cracow, Poland

**AKTYWNOŚĆ MIĘŚNIA POPRZECZNEGO  
BRZUCHA I DŁUGOŚĆ WYBRANYCH MIĘŚNI  
KOMPLEKSU ŁĘDŹWIOWO-MIEDNICZNEGO  
W RÓŻNYCH TYPAH USTAWIENIA MIEDNICY  
WŚRÓD MŁODYCH KOBIET**  
*TRANSVERSES ABDOMINIS MUSCLE ACTIVITY AND LENGTH  
OF THE SELECTED LUMBO-PELVIC COMPLEX MUSCLES  
IN VARIOUS TYPES OF PELVIC POSITION IN YOUNG WOMEN*

**Słowa kluczowe:** typ miednicy, mięśnie kulszowo-goleniowe, zginacze stawu biodrowego, test PBU

**Key words:** pelvis type, hamstring, hip flexor, PBU test

**Streszczenie**

**Background.** Porównanie aktywności i długości wybranych mięśni kompleksu lędźwiowo-miednicznego w różnych typach ustawienia miednicy wśród młodych kobiet, a także określenie wzajemnych korelacji między długością i aktywnością poszczególnych mięśni.

**Materiały i metody.** Badanie przeprowadzono w grupie 60 studentek w wieku 20-26 lat. Średnia wieku 22,3 lat ± 1,83 lat (Me=22,5 lat). Ustawienie miednicy oceniono za pomocą inklinometru elektronicznego Duometr Plus (OPIW), zdolność do aktywacji mięśnia poprzecznego brzucha przy pomocy Stabilizer Pressure Biofeedback (test PBU), wykonano dwa testy do oceny długości mięśni kulszowo-goleniowych (test AKE) oraz mięśni biodrowo-lędźwiowych. Użyto program Statistica 6.0 (Stat-Soft) oraz Microsoft Excel 2010.

**Wyniki.** Średnia wartość długości mięśni kulszowo-goleniowych po prawej i lewej stronie była istotnie większa wśród kobiet z miednicą skręconą lub mieszaną w porównaniu z osobami z asymetrycznym typem miednicy (odpowiednio p=0,036, p=0,045) po uwzględnieniu wpływu BMI i wieku. Natomiast nie wykazano różnicy w skorygowanej wartości średniej długości zginaczy stawu biodrowego w typach ustawienia miednicy po prawej i lewej stronie (Tabela 3). Nie wykazano również różnicy w zdolności do aktywacji mięśni głębokich brzucha (test PBU) w różnych typach ustawienia miednicy (p=0,1).

**Wnioski.** Istnieją różnice w długości mięśni podkolanowych w różnych typach ustawienia miednicy wśród młodych kobiet (osoby z asymetrią niewymagającą interwencji terapeutycznej wykazują mniejszą długość mięśni kulszowo-goleniowych), natomiast nie ma wyraźnej różnicy w długości zginaczy stawów biodrowych i zdolności do aktywacji mięśni głębokich brzucha.

**Summary**

**Background.** Comparing the activity and length of selected muscles of lumbo-pelvic complex in various types of pelvic position among young women, and finding the correlations between individual selected muscles.

**Materials and methods.** The study was performed in a group of 60 female students aged 20-26. The age average was 22,3 ± 1.83 (Median=22.5 years). The pelvic position was assessed using the Duometer Plus (OPIW) electronic inclinometer, the ability to activate transverse abdominal muscle - using the Stabilizer Pressure Biofeedback test (PBU test); two tests for the assessment of length of ischiocrural muscles (AKE test) and iliopectineals were performed. The SPSS Software, IBM, Armonk were used.

**Results.** The mean value of length of ischiocrural muscles on the right and left side were significantly higher in women with twisted or mixed type of pelvis (p=0,036, p=0,045 respectively) compared with asymmetric type after controlling for effect of BMI and age, whereas no difference was indicated in the average length of hip joint flexors in pelvic position types. No difference was also demonstrated in the ability to activate deep abdominal muscles (the PBU test) in various pelvic types (p=0,1).

**Conclusions.** There are differences of ischiocrural muscles length in various types of pelvic position among young women (individuals with asymmetry not requiring therapeutic intervention have less elastic ischiocrural group), whereas there is no clear difference exists in the length of hip flexor and the ability to activate deep abdominal muscles.

**Word count:** 6762  
**Tables:** 4  
**Figures:** 0  
**References:** 34

**Adres do korespondencji / Address for correspondence**

Agnieszka Wnuk  
ul. Szarych Szeregów 1/14, 32-065 Krzeszowice, Poland  
tel. 504 002 650, e-mail: agnieszka90.wnuk@uj.edu.pl

Otrzymano / Received xx.xx.200x r.  
Zaakceptowano / Accepted xx.xx.200x r.

## Wstęp

Kompleks lędźwiowo-miedniczny stanowi anatomiczne oraz funkcjonalne połączenie między kręgosłupem oraz obręczą miedniczną. Miednica uważana jest przez wielu autorów za kluczowy element postawy ciała [1], jednak nie jest morfologicznie i funkcjonalnie wyizolowana. Opisując jej czynność w narzędzie ruchu, należy ją rozpatrywać jako jeden z elementów kompleksu lędźwiowo-miednicznego.

W literaturze naukowej odnaleźć można kilka metod pozwalających na ocenę ustawienia miednicy. Dokładna ocena biomechaniczna możliwa jest na podstawie zdjęć rentgenowskich [2]. Na zdjęciu ocenia się symetrię ustawienia miednicy, spojenie łonowe, położenie kości krzyżowej, czy wielkość lordozy lędźwiowej [3]. Możliwa jest także ocena zmiany położenia panewki stawu biodrowego w korelacji z pozycją miednicy [4]. Inną możliwością jest inklinometria uznana za wiarygodną i rzetelną metodę do oceny ustawienia miednicy [5,6] i w porównaniu do metody wykorzystującej zdjęcia RTG jest tańsza, szybsza i bardziej dostępna dla praktyków. Od lat poszukuje się przyczyn i możliwych konsekwencji asymetrycznego ustawienia miednicy. Udowodniono korelacje między asymetrycznym ustawieniem miednicy a bólem kręgosłupa [7,8] oraz zmianami degeneracyjnymi stawów biodrowych, powstającymi w wyniku nierównomiernego obciążania kończyn dolnych [9]. Za decydujący wpływ na ustawienie miednicy uważane są głównie dwie grupy mięśniowe. Pierwsza grupa mięśni swoim napięciem zwiększa przodopochylenie miednicy (mięsień prosty uda i biodrowo-lędźwiowy z przodu oraz mięsień czworoboczny lędźwi i prostownik grzbietu z tyłu), natomiast druga grupa mięśni podczas napięcia działa przeciwnie, zmniejszając przodopochylenie miednicy (mięsień pośladkowy wielki, grupa kulszowo-goleniowa oraz mięśnie przywodziciele i mięśnie brzucha [10]. Wingerden et al. [9] na podstawie własnych badań postawił hipotezę, że zwiększone napięcie mięśni kulszowo-goleniowych i ich skrócenie jest mechanizmem kompensacyjnym w niestabilności kompleksu lędźwiowo-miednicznego będącej wynikiem osłabienia mięśni pośladkowych, jednakże badania prowadzone przez Hodges'a i Richardson'a [11,12,13,14] dowodzą, że najważniejszym stabilizatorem kompleksu lędźwiowo-miednicznego jest mięsień poprzeczny brzucha, a nie mięśnie pośladkowe. Na skrócenie i wzrost sztywności mięśni mogą wpływać także czynniki środowiskowe [15]. Długotrwałe utrzymywana pozycja siedząca wywołuje stan ciągłego zbliżenia przyczepów mięśni kulszowo-goleniowych, które przejmują funkcję stabilizacyjną miednicy czego efektem jest optymalne tyłopochylenie miednicy [1]. Istnieje zatem potrzeba określenia zależności między aktywnością mięśni stabilizujących kompleks lędźwiowo-miedniczny, a długością mięśni globalnych, które przez swoje przyczepy mogą wpływać na ustawienie miednicy (grupa kulszowo-goleniowa oraz zginacze stawu biodrowego).

Ocena długości mięśni w obrębie miednicy jest częstą procedurą podczas badania pacjentów z dolegliwościami mięśniowo-szkieletowymi. Wielu autorów oceniało długość i aktywność mięśni w zależności od płci [16], wieku [17] występowania dolegliwości bólowych dolnego odcinka kręgosłupa [18], natomiast brak doniesień naukowych oceniających dłu-

## Background

The lumbo-pelvic complex makes the anatomic and functional connection between the spine and the pelvic girdle. Pelvis is considered as the key element of body posture [1], however it is not morphologically and functionally isolated. While describing its activity in the motor system it should be treated as one of the elements of the complex.

In scientific literature, several methods allowing for the assessment of pelvic position can be found. The detailed biochemical assessment of pelvic position is possible based on X-ray images [2]. In the image, the symmetry of pelvic position is assessed, as well as the pubic symphysis, position of the sacrum, or the level of lumbar lordosis [3]. Assessment of the change in the position of hip joint cavity in correlation with the pelvic position is also possible [4]. Another possibility is inclinometry, recognised as a reliable and plausible method for the assessment of pelvic position [5,6] and compared to the method based on X-ray images, it is cheaper, faster and more accessible to practitioners. For years, causes and potential consequences of the asymmetric pelvic position have been explored. Correlations between the asymmetric pelvic position and back pain have been evidenced [7,8] as well as degenerative disorders of hip joints developing as a result of uneven burden of lower limbs [9]. Two main muscle groups are deemed to have a decisive impact on pelvic position. The tension of the first muscle group increases anterior pelvic tilt (straight thigh muscle and iliopsoas in the anterior part, and quadratus lumborum muscle and erector spine in the posterior part), whereas the second group acts in the opposite way, decreasing the anterior pelvic tilt (gluteus maximus, ischiocrural muscle group as well as adductor muscles and abdominal muscles [10]. Wingerden et al. [9] based on own studies, makes the hypothesis that the increased tension of ischiocrural muscles and their contraction represent the compensating mechanism in the instability of the lumbo-pelvic complex resulting from the weakening of hamstrings muscles, however, the studies carried out by Hodges and Richardson [11, 12,13,14] prove that the most important stabiliser of the lumbo-pelvic complex is the transverse abdominal muscle, instead of hamstrings muscles. Environmental factors can also affect the contraction and increased stiffness of muscles [15]. Sitting position maintained for a long time causes the condition of continuous approximation of ischiocrural muscle attachments which take over the stabilising function of the pelvis, resulting in optimum posterior pelvic tilt [1]. Therefore, there is a need to define the dependence between the activity of muscles stabilising the lumbo-pelvic complex and the elasticity of global muscles which may affect pelvic position through their attachments (the ischiocrural muscles group and hip joint flexors).

The assessment of muscle length within the pelvis is a common procedure during examination of patients with muscle and skeletal disorders. Numerous research studies assess the elasticity and activity of muscles depending on sex [16], age [17] of incidence of pain in lower spine section [18], whereas no research reports are available which would assess the length of muscles in various types of pelvic position. The

gość mięśni w różnych typach ustawienia miednicy. Celem badania było porównanie aktywności i długości wybranych mięśni kompleksu lędźwiowo-miednicznego w różnych typach ustawienia miednicy wśród młodych kobiet, a także określenie wzajemnych korelacji między długością i aktywnością poszczególnych mięśni.

## **Materiał i metody**

### *Uczestnicy badania*

Badanie przeprowadzono w grupie 60 studentek w wieku 20-26 lat. Średnia wieku wynosiła 22,3 lat  $\pm 1,83$  lat (Me=22,5 lat). Większość badanych (98%) to osoby praworęczne, tylko 2% za dominującą stronę uznaje lewą. Badane kobiety to osoby zdrowe, które wyraziły zgodę na udział w badaniu. Kryteria wykluczenia z badania stanowiły: brak zgody na udział w badaniu, wiek  $>30$  lat i  $<18$  lat, uraz kręgosłupa, przebyta operacja kręgosłupa, zdiagnozowane choroby reumatologiczne, neurologiczne, ortopedyczne, asymetria długości kończyn, wady wrodzone, skoliozy, ciąża, nowotwory. Respondenci w dniu badania i dzień poprzedzający badanie nie podejmowali nadmiernej (znacznie większej niż zazwyczaj) aktywności fizycznej. Na prowadzenie badania uzyskano zgodę Komisji Bioetycznej UJCM.

### *Narzędzia pomiarowe*

Ustawienie miednicy oceniono za pomocą inklinometru Duometr (OPIW) według metodologii opisanej przez Crowella [6].

Zdolność do aktywacji mięśnia poprzecznego brzucha (test PBU) oceniono za pomocą Stabilizer Pressure Biofeedback (producent: Chattanooga). Urządzenie to jest używane do pośredniego pomiaru zdolności badanego do napięcia mięśnia poprzecznego brzucha i oceny stabilizacji kompleksu lędźwiowo-miednicznego. Badania naukowe potwierdzają wiarygodność tego narzędzia badawczego do oceny funkcji mięśni głębokich, ich roli w stabilizacji lędźwiowego odcinka kręgosłupa [11,14]. Stabilizer Pressure Biofeedback jest powszechnie stosowany w ćwiczeniach stabilizacyjnych wszystkich części ciała [13,19].

Długość mięśni (kulszowo-goleniowych oraz zginaczy stawu biodrowego) została oceniona pośrednio przez pomiar zakresu ruchu w odpowiednich stawach za pomocą goniometru SH5102 (SAEHAN)  $180^\circ - 15$  cm (skala z podziałką co  $1^\circ$ ).

### *Procedury pomiarowe*

Ocena zdolności do aktywacji mięśni głębokich brzucha (test PBU)

Badanie wykonano w pozycji leżenia przodem z kończynami ułożonymi wzdłuż ciała i głową ustawioną w linii środkowej. Urządzenie umieszczono pod brzuchem pacjenta, tak aby pępek znajdował się w jego centrum, a koniec dalszy podkładki na jednej linii z prawym i lewym kolcem biodrowym przednim górnym (ASIS). Urządzenie następnie pompowano do momentu, gdy ciśnienie w podkładce wyniosło 70 mmHg i unieruchamiano go na tym poziomie. Przed rozpoczęciem badania każda osoba otrzymała słowne instrukcje, o tym, aby rozluźniła całkowicie brzuch. Po-

aim of our study was compare the activity and elasticity of selected lumbo-pelvic complex muscles in various types of pelvic position among young people, and to define the correlations between individual muscles.

## **Materials and methods**

### *Subjects*

The study was performed in a group of 60 female students aged 20-26. The age average was 22.3 years  $\pm 1.83$  years (Median=22.5 years). The majority of subjects (98%) are right-handed, only 2% consider their left-hand side as dominating. The women studied are healthy individuals who agreed to participate in the study. The ineligibility criteria, excluding from the study, included: lack of consent to participate in the study, age  $>30$  and  $<18$ , spinal injury, recent spine surgery, diagnosed rheumatologic, neurological, orthopaedic diseases, birth defects, asymmetry of limb length, scoliosis, cancer, pregnancy. On the day of the study and on the day preceding the study the respondents did not undertake excessive physical activity (much higher than average). The approval of the UJCM Bioethics Commission to conduct the studies was obtained.

### *Measurement tools*

The pelvic position was assessed using the Duometer (OPIW) inclinometer according to the methodology described by Crowell [6].

The ability to activate transverse abdominal muscle (the PBU test) was assessed using the Pressure Biofeedback Stabilizer (manufacturer: Chattanooga). This device is used for indirect measurements of the ability of the studied subject to tighten the transverse abdominal muscle and for the assessment of the lumbo-pelvic complex stability. Scientific studies confirm the reliability of this research tool for the assessment of deep muscles functions, their role in stabilisation of the lumbar section of the spine and rotational control of the trunk [11,14]. The Pressure Biofeedback Stabilizer is commonly used in stabilising exercise of all body parts [13,19].

The length of muscles (ischio-crural muscles and hip joint flexors) was assessed indirectly through the measurement of the scope of movement in relevant joints using the SH5102 (SAEHAN) goniometer  $180^\circ - 15$  cm (scale with the graduation at each  $1^\circ$ ).

### *Measurement procedures*

Assessment of ability to activate transverse abdominal muscle (the PBU test)

The study was performed in front horizontal, with limbs stretched along the body and the head positioned in the middle line of the body. The devices was placed under the abdomen of the patient, so that the belly button was in the centre, and the distant edge of the matt was positioned along the same line with the right and left anterior superior iliac spine (ASIS). Then the device was pumped until the moment when the pressure of 70 mmHg was reached in the matt, and the it was fixed at this pressure level. Prior to the commencement of the test, the patient received

lecenie wciągnięcia jego dolnej części było poprzedzone spokojnym wdechem i wydechem. Następnie, bez kolejnego wdechu, badany otrzymywał polecenie o wciągnięciu dolnej części brzucha, w trakcie którego odczytywano wychylenie wskaźnika na manometrze. U każdej osoby badanie wykonano dwukrotnie, a podany wynik stanowił średnią arytmetyczną dwóch pomiarów.

Zmniejszenie ciśnienia o 4-10 mmHg oznaczało prawidłowe wykonanie testu (pacjent potrafił napiąć mięsień poprzeczny brzucha w warunkach jego skrócenia). Zmniejszenie ciśnienia 0-4 mmHg, bez ruchu kręgosłupa i uwypuklenia brzucha oznaczało, że badany potrafił napiąć mięsień poprzeczny brzucha, ale bez jego wystarczającego skrócenia lub skurcz był asymetryczny. Zwiększenie ciśnienia oznaczało aktywację globalnych mięśni brzucha, natomiast duży spadek ciśnienia (powyżej 20 mmHg) oznaczał, że badany wykonał ruch kręgosłupem lub miednicą. Obserwacja wzrokowa i palpacja potwierdziła wynik [11].

#### Ocena ustawienia miednicy

Badanie wykonano w swobodnej pozycji stojącej. Na ciele badanego zaznaczono punkty orientacyjne: wyrostki kolczyste L5, S1, kolce biodrowe przednie górne, kolce biodrowe tylne górne. Ustawienie miednicy oceniono w trzech płaszczyznach. W płaszczyźnie strzałkowej oceniono pochylenie miednicy, przykładając ramiona duometru do kolca biodrowego przedniego górnego (ASIS) i kolca biodrowego tylnego górnego (PSIS) po prawej stronie. Wynik podawany był w stopniach. W płaszczyźnie czołowej oceniono skośne ustawienie miednicy, przykładając ramiona duometru do kolców biodrowych przednich górnych po lewej i po prawej stronie. Oceniano kąt zawarty pomiędzy linią łączącą kolce biodrowe przednie górne, a linią poziomą. W płaszczyźnie poprzecznej oceniono skrócenie miednicy, obliczając różnicę między pochyleniem miednicy po prawej i po lewej stronie.

W oparciu o wyniki badań innych autorów [20], wyróżniono pięć wariantów ustawienia miednicy: symetryczna, asymetryczna, skośna, skręcona, mieszana (Tabela 1).

#### Ocena elastyczności mięśni kulszowo-goleniowych

Do oceny długości mięśni kulszowo-goleniowych wykonano test active knee extension (AKE) opisany przez Gajdosik i wsp. [21]. Badany leżał na plecach, na polecenie zgiął nogę w stawie biodrowym do kąta 90°. Następnie utrzymując kąt zgięcia w stawie biodrowym prostował staw kolanowy. Badający monitorował zgięcie w stawie biodrowym. Kąt aktywnego

relevant instructions to relax her abdomen completely. The instruction to pull in the lower abdominal part had to be preceded by a slow breathing-in and breathing-out. Then, without the subsequent breathing-in, the patient received the instruction to pulled in the lower part of her abdomen, during which the inclination of the manometer indicator was read. The test was performed twice in each subject and the result reported was the arithmetic mean of two measurements.

Reducing the pressure by 4-10 mm Hg meant the correct performance of the test (the patient is able to tighten the transverse abdominal muscle under the condition of its shortening). Reduction of the pressure by 0-4 mmHg without any spine movement and protruding of the abdomen means that the patient is able to tighten the transverse abdominal muscle, however, without its sufficient shortening, or asymmetrically. The increase in pressure means the activation of global abdominal muscles, whereas a high drop in pressure (above 20 mmHg) means that the patient made a movement of her spine or pelvis. The visual observation and palpation confirmed the result [11].

#### Pelvic position assessment

The examination was performed in free standing position. On the body of a subject, orientation points were marked: L5, S1, anterior superior iliac spine, posterior superior iliac spine. Pelvic position was assessed in three planes. In the sagittal plane, the pelvic tilt was assessed, placing the arms of the duometer on the anterior superior iliac spine (ASIS) and on the posterior superior iliac spine (PSIS) on the right-hand side. The result was provided in grades. In the coronal plane, the oblique pelvic position was assessed, by placing the arms of the duometer on the anterior superior iliac spines on the left and right-hand side. The angle contained between the line connecting the anterior superior iliac spines and the horizontal line was assessed. In the transverse plane, the pelvic twist was assessed, by calculating the difference between the pelvic tilt on the tight and left-hand side.

Based on results of the studies reported by other authors [20], five variants of pelvic position were distinguished: symmetric, asymmetric, oblique, twisted and mixed (Table 1).

#### Assessment of ischiocrural muscles elasticity

For the assessment of ischiocrural muscles length the active knee extension test (AKE) described by Gajdosik et al. [21] was performed. The subject examined was lying on her back and, once instructed, bent her leg in the hip joint to the 90° angle. Subsequently, maintaining the angle of the bent in the hip joint, the subject straightened the knee joint. The examiner

Tab. 1. Typ ustawienia miednicy

Tab. 1. Pelvic position type

Typ miednicy/ Pelvis type	Skręcenie [°]/ Twist [°]	Skośne ustawienie [°]/ Oblique position [°]
Symetryczna/ Symmetric	<1	<1
Asymetryczna/ Asymmetric	≥ 1; <3	≥ 1; <3
Skośna/ Oblique	<3	≥3
Skręcona/ Twisted	≥3	<3
Mieszany/ Mixed	≥3	≥3

wyprost w stawie kolanowym mierzony był za pomocą goniometru.

#### Ocena elastyczności zginaczy stawu biodrowego

Długość zginaczy stawu biodrowego oceniono za pomocą zmodyfikowanego testu Thomasa opisanego przez Pietruszka i Śliwiński [22]. Badany siedział na brzegu leżanki i rękami utrzymywał pełne zgięcie w stawie biodrowym i kolanowym. Następnie polecano badanemu położyć się na leżance z luźno spuszczoną drugą nogą poza leżankę. Norma długości badanego mięśnia wynosi (-50°) tzn. że badana noga ma opaść (-50°) poniżej poziomu leżanki. Test wykonano po prawej i lewej stronie. Kąt między opuszczoną nogą a poziomem leżanki mierzono za pomocą goniometru, wynik podawano w stopniach.

#### Analiza statystyczna

Rozkład badanych zmiennych opisano poprzez podanie procentów w przypadku zmiennych jakościowych oraz podanie wartości średniej i odchylenia standardowego w przypadku zmiennych ilościowych.

Do oceny różnicy w długości mięśni kulszowo-goleniowych oraz zginaczy stawu biodrowego pomiędzy kategoriami ustawienia miednicy jak i kategoriami testu PBU użyto testu t-Studenta. ANCOVA została użyta do kontroli zmiennych towarzyszących takich jak wiek i BMI.

Zależność pomiędzy testem Jandy a testem AKE badano za pomocą korelacji liniowej Perason'a. Wykonano również regresję prostą w celu uzyskania postaci ewentualnej zależności. Do oceny zależności między ustawieniem miednicy a zdolnością do aktywacji mięśni głębokich brzucha (test PBU) zastosowano test chi-kwadrat.

Przyjęto poziom istotności  $\alpha=0,05$ . Wszystkie obliczenia wykonano przy pomocy SPSS Software, IBM, Armonk

#### Wyniki

Asymetryczne ustawienie miednicy występowało u 66,7% badanych, u 26,7% studentek miednica była skrzyżowana, a 6,6% prezentowała typ miednicy mieszanej. U nikogo nie stwierdzono ustawienia symetrycznego ani skośnego. Prawidłową aktywność mięśni głębokich brzucha zaobserwowano u 58,3% badanych. W Tabeli 2 przedstawiono średnią i odchylenie standardowe badanych zmiennych.

monitored the bent in the hip joint. The angle of active stretch in the knee joint was measured using a goniometer.

#### Assessment of hip joint flexor elasticity

The length of hip joint flexors was assessed by means of Janda test, described by Pietruszka and Śliwiński [22]. The subject was sitting on the edge of a coach, keeping full bent in the hip joint and knee joint with her hands. Then the subject was instructed to lie down on the coach with the second leg let loose beside the coach. The standard length of the muscle examined is (-50°), it means that the leg examined should fall (-50°) below the coach level. The test was performed on the right and on the left-hand side. The angle between the leg let loose and the coach level was measured using the goniometer, and the result was provided in degrees.

#### Statistical analysis

The distribution of the variables studied was described through providing the percentages in case of qualitative variables and the average value and standard deviation- in case of quantitative variables.

For the assessment of the difference in the length of ischiocrural muscles and hip joint flexors between the categories of pelvic position and PBU categories, the t-Student test was applied.

ANCOVA was also used to control for covariates such as age and BMI.

The relationship between the Janda test results and the AKE test results was examined Perason's Correlation, and the linear regression was also performed in order to obtain the nature of the potential relationship. The chi-squared was used to analyse the association between the ability to activate deep abdominal muscles (the PBU test) and pelvic position.

The significance level of  $\alpha=0.05$  was adopted. All calculations were performed using SPSS Software, IBM, Armonk.

#### Results

Asymmetric pelvic position occurs in 66.7% of the subjects examined, twisted pelvic position occurs in 26.7% of students, and 6.6% of the subjects demonstrate mixed pelvic position. Symmetric or oblique pelvic position was not found in any of the subjects. Correct ability to activate deep abdominal muscles was demonstrated in 58.3% of students. Table 2 presents the mean and the standard deviation of the variables tested.

Tab. 2. Średnia i odchylenie standardowe (SD) badanych zmiennych

Tab. 2. Mean and standard deviation (SD) the tested variables

Zmienne/ Variable	N	Średnia/ Mean	SD
Wiek [lata]/ Age [years]	60	22,3	2,25
BMI [kg/m <sup>2</sup> ]	58	21	2,44
Długość mięśni kulszowo-goleniowych (strona prawa) Hamstrings length (right side) [°]	60	158	11,6
Długość mięśni kulszowo-goleniowych (strona lewa)/ Hamstrings length (left side) [°]	60	158	10,9
Długość mięśnia zginacza stawu biodrowego (strona prawa)/ Hip flexor length (right side) [°]	60	26,5	6,5
Długość mięśnia zginacza stawu biodrowego (strona lewa)/ Hip flexor length (left side) [°]	60	25,9	7,3

Do dalszej analizy utworzono dwie kategorie ustawienia miednicy (miednica asymetryczna – asymetrie w płaszczyźnie strzałkowej oraz poprzecznej  $<3^\circ$  oraz miednica skręcona lub mieszana – asymetrie  $\geq 3^\circ$ ). Średnia wartość długości mięśni kulszowo-goleniowych po prawej i lewej stronie była istotnie większa wśród kobiet z miednicą skręconą lub mieszaną w porównaniu z osobami z asymetrycznym typem miednicy (odpowiednio  $p=0,036$ ,  $p=0,045$ ) po uwzględnieniu wpływu BMI i wieku. Natomiast nie wykazano różnicy w skorygowanej wartości średniej długości zginaczy stawu biodrowego w typach ustawienia miednicy po prawej i lewej stronie (Tabela 3). Nie wykazano również różnicy w zdolności do aktywacji mięśni głębokich brzucha (test PBU) w różnych typach ustawienia miednicy ( $p=0,1$ ).

Nie wykazano istotnej statystycznie różnicy w skorygowanej wartości średniej długości mięśni kulszowo-goleniowych i zginaczy stawu biodrowego w kategoriach testu PBU (Tabela 4).

Istnieje ujemna korelacja liniowa pomiędzy wartościami testu Jandy zmierzonego dla lewej nogi a testem AKE dla prawej nogi ( $r = -0,35$ ,  $p = 0,05$ ). Nie uzyskano istotnej zależności pomiędzy testem Jandy dla lewej nogi i testem AKE również dla lewej nogi ( $r = -0,22$ ,  $p = 0,086$ ).

W przypadku rezultatu testu AKE dla prawej jak i lewej nie uzyskano istotnie statystycznego związku (odpowiednio  $r = -0,22$ ,  $p = 0,084$ ,  $r = -0,07$ ,  $p = 0,62$ ).

For the purpose of further analysis, two categories of pelvic position were created (asymmetric pelvis – asymmetries in the sagittal plane and transverse  $<3^\circ$ , and twisted or mixed pelvis – asymmetries  $\geq 3^\circ$ ). The mean value of length of ischiocrural muscles on the right and left side were significantly higher in women with twisted or mixed type of pelvis compared with asymmetric type of pelvis ( $p=0,036$ ,  $p=0,045$  respectively) after controlling for effect of BMI and age, whereas no difference was indicated in the average length of hip joint flexors in pelvic position types (Table 3). No difference was also demonstrated in the ability to activate deep abdominal muscles (the PBU test) in various pelvic position types ( $p=0,1$ ).

No statistically significant difference was showed in the adjusted value of the average length of ischiocrural muscles and hip joint flexors in PBU test categories (Table 4).

Negative linear correlation exists between the values of the Janda test measured for the left leg and the AKE test for the right leg ( $r = -0.35$ ,  $p=0.006$ ); no significant relationship was obtained between the Janda test for the left leg and the AKE also for the left leg ( $r=-0.22$ ,  $p=0.086$ ).

In case of the Janda test for the right leg result for both the right and the left leg, no statistically significant correlation was obtained ( $r= -0.22$ ,  $p=0.084$ ,  $r=-0.07$ ,  $p=0.62$ , respectively).

Tab. 3. Średnie wyniki testu Jandy i AKE w kategoriach typu miednicy

Tab. 3. Means of AKE and Janda tests according to the category of pelvis type

	Typ miednicy/ Pelvis type				P
	Asymetryczna/ Asymmetric		Skręcona lub mieszana/ Twisted or mixed		
Zmienna/Variable	N	Średnia/ Mean (SE)	n	Średnia/ Mean (SE)	
AKE test (prawa/right)	40	155,6 (1,76)	18	162,6 (2,69)	<b>0,036</b>
AKE test (lewa/left)	40	156,1 (1,82)	18	162,6 (2,27)	<b>0,045</b>
Janda test (prawa/right)	40	26,8 (1,02)	18	25,9 (1,53)	0,6
Janda test (lewa/left)	40	26,6 (1,19)	18	24,94 (1,78)	0,5

AKE test - active knee extension test/ test aktywnego wyprostu w stawie kolanowym ,  
SE – standard error/błąd standardowy

\* F test from ANCOVA

Tab. 4. Średnie wyniki testu Jandy i AKE w odniesieniu do wyników testu PBU

Tab. 4. Means of AKE and Janda tests according to the result of PBU test

	PBU test				p
	Nieprawidłowy/ Incorrect		Prawidłowy/ Correct		
Zmienne/ Variable	N	Średnia/ Mean (SE)	N	Średnia/ Mean (SE)	
AKE test (prawa/right)	33	160,4 (1,97)	25	154,3 (2,26)	0,05
AKE test (lewa/left)	33	160,1 (1,88)	25	155,5 (2,16)	0,14
Janda test (prawa right)	33	25,6 (1,2)	25	27,8 (1,29)	0,3
Janda test (lewa/left)	33	26,6 (1,19)	25	27,96 (1,48)	0,13

AKE test - active knee extension test/test aktywnego wyprostu w stawie kolanowym, PBU test - Pressure Biofeedback Unit test/ocean aktywności mięśnia poprzecznego brzucha,

SE – standard error/błąd standardowy

\* F test from ANCOVA

Na podstawie modelu regresji liniowej prostej średnia wartość testu AKE maleje o 0,55, gdy wartość testu Jandy wzrośnie o jeden stopień.

## Dyskusja

Asymetryczne ustawienie miednicy dotyczy zarówno osób w wieku rozwojowym [23] jak i osób dorosłych [24]. Nasze badania potwierdziły częste występowanie asymetrycznego ustawienia miednicy, jednak należy podkreślić, że są to asymetrie  $<3^\circ$ , które wg Crowella i wspł. [6] nie wymagają interwencji terapeutycznej ze względu na czułość aparatury pomiarowej. Asymetria jest często określana jako normalny objaw ludzkiego ciała, który nie stanowi przeszkody w jego prawidłowym funkcjonowaniu, jednakże w pozycji stojącej powoduje nieprawidłowe ustawienie poszczególnych elementów ciała względem siebie [25]. Taka asymetria dynamiczna czyli różnica długości i siły mięśni oraz zakresu ruchu w stawach po prawej i lewej stronie może powodować wzrost napięcia stale obciążanych grup mięśniowych, więzadeł i torebek stawowych i utrwalenia schematów kompensacyjnych, które w efekcie mogą stać się przyczyną zmian strukturalnych. Trudno jednoznacznie określić które asymetrie są fizjologiczne, a które patologiczne i z czasem będą prowadzić do przeciążeń w układzie mięśniowo-szkieletowym i jak pokazują najnowsze badania wpływać na jakość życia pacjentów [26,27,28].

Nasze badania wykazały, że osoby z mniejszymi asymetriami w obrębie miednicy wykazują większą sztywność mięśni podkolanowych. Może to być spowodowane faktem, że ta grupa mięśniowa oraz mięśnie ściany brzucha i mięśnie pośladkowe to mięśnie biorące czynny udział w utrzymaniu prawidłowej pozycji miednicy i prawidłowej postawy [29]. W opozycji do otrzymanych wyników przedstawiają się badania Nourbakhsh et al. [10], którzy w grupie 600 badanych w wieku 20-65 lat wykazali istotny związek pochyleń miednicy z zmniejszeniem elastyczności mięśni tylnej grupy uda.

Nie wykazaliśmy silnej zależności między długością mięśni zginaczy biodra, a typem ustawienia miednicy, jednak należy podkreślić, że długość badanych mięśni u wszystkich osób jest poniżej normy ustalonej przez autora testu. Corkery et al. [30] stosując zmodyfikowany test Thomasa również otrzymał zaskakująco niskie wyniki elastyczności mięśni zginaczy biodra. Grupa badaczy uzasadnia ten wynik metodologią badania. W porównaniu ze zwykłym testem Thomasa, w tej wersji nie pozwala się na ruch biodra poniżej jego neutralnej pozycji.

Osoby z prawidłową aktywnością mięśni głębokich brzucha wykazują większe skrócenie mięśni podkolanowych, co nie potwierdza hipotezy Wingerdena o mechanizmie kompensacyjnym w niestabilności kompleksu lędźwiowo-miednicznego [9]. Nasze wyniki korelują z badaniami Park K-N i współpracowników [31], którzy potwierdzili, że długość grupy kulszowo-goleniowej nie odzwierciedla zdolności do aktywnej stabilizacji kompleksu lędźwiowo-miednicznego, podważając tym samym powszechną opinię, iż w wyniku słabej kontroli centrum ciała, znacząco podwyższa się napięcie peryferyjnych grup mięśniowych.

U prawie połowy badanych wykazano nieprawidłową zdolność do aktywacji głębokich mięśni brzu-

Base on the simple linear regression model, the average value of the AKE test decreased by 0.55 when the value of the Janda test increased by one degree.

## Discussion

The asymmetric pelvic position refers both to persons in development age [23] and to the adults [24]. Our studies confirmed frequent occurrence of asymmetric pelvic position, however, it should be stressed these are asymmetries of  $<3^\circ$ , which, according to Crowell et al. [6] do not require therapeutic intervention due to the sensitivity of the measurement instruments. Asymmetry is often defined as a standard symptom of the human body, which does not hamper its correct functioning, causing, however, incorrect position of individual body elements against each other in standing position [25]. Such a dynamic asymmetry, i.e. the difference between the length and strength of muscles and the scope of movement in joints on the right and left hand side, may result in the increased tension of the permanently overloaded muscle groups, attachments and joint capsules as well as in sustainability of compensation schemes which may consequently generate structural changes. It is difficult to define explicitly which asymmetries are physiological and which are pathological, subsequently leading to overloading of the musculoskeletal system and, as the recent studies show, affecting the patients' quality of life [26,27,28].

Our studies have shown that individuals with smaller asymmetries within the pelvis demonstrate increased stiffness of popliteal muscles. It may result from the fact that this muscle group as well as the muscles of abdominal wall and hamstring muscles, are those actively participating in maintaining the correct position of the pelvis and the correct posture [29]. Studies by Nourbakhsh et al. [10] are opposed to the results obtained, where in a group of 600 subjects aged 20-65 a significant relationship was demonstrated between the pelvic tilt and the reduced elasticity of the posterior thigh muscle group.

We have not demonstrated the dependence between the length of hip joint flexors and the type of pelvic position, however, it should be stressed that the length of muscles examined in all subjects is below the standard set by the test author. Corkery et al. [30], using the modified Thomas test, has also obtained surprisingly low results of hip joint elasticity. A group of researched justifies this result with the methodology of the study. Comparing to the standard Thomas test, in this version, hip movement below its neutral position is not allowed.

Individuals with correct activity of deep abdominal muscles demonstrate increased shortening of popliteal muscles occurs, which does not confirm the Wingerden hypothesis on the compensating mechanism in the lumbo-pelvic complex instability [9]. Our results are correlated with the studies by Park K-N and co-workers [31], who confirmed that the length of the ischiocrural group does not reflect the ability of active stabilisation of the lumbo-pelvic complex, consequently undermining the common opinion that due to the poor control of the body centre, the tension of peripheral muscle groups increases significantly.

Almost half of the respondents demonstrated poor

cha. Rasouli i wsp. [3] potwierdził w badaniach USG bardzo słabą aktywność głębokich mięśni tułowia, podczas niedbałego siedzenia na krześle. Określił także, że największy skurcz został zarejestrowany podczas siedzenia na piłce szwedzkiej i unoszenia jednej nogi. Długotrwałe przebywanie w jednej pozycji może być więc jednym z czynników powodujących osłabienie centralnej stabilizacji badanych i zaburzeń ustawienia miednicy. Mork i Westgaard [32] przy użyciu EMG potwierdzili osłabioną aktywność mięśnia poprzecznego brzucha i mięśnia wielodzielnego oraz zmniejszenie długości mięśnia biodrowo-lędźwiowego u 21 młodych kobiet pracujących umysłowo przy komputerze. Wyniki te potwierdziły się także w trakcie tego badania. Mięśnie poddawane długotrwałej pracy, szczególnie w warunkach statycznych, ulegają wzmożonemu napięciu, skróceniu, oraz bolesnym przykurczom. Większość zaburzeń funkcjonalnych związanych jest z nieprawidłowym wykonywaniem pracy zawodowej.

W opracowanych wynikach nie znaleziono istotnych zmian między długością mięśni po prawej i lewej stronie. Wang i wspł. [33] oceniając długość zginaczy biodra również nie wykazali istotnych różnic pomiędzy prawą i lewą stroną. Fakt ten tłumaczą tym, że pomimo zmian strukturalnych, podczas chodu ciało funkcjonalnie stara się jednakowo rekrutować tą jednostkę mięśniową dopasowując ją do zmieniających się warunków środowiska. Przeciwnie wyniki otrzymał Radwan et al. [34] wykazując istotną różnicę w długości mięśni kulszowo-goleniowych po prawej i lewej stronie.

Analiza zebranego materiału pozwala zasugerować, iż istnieją różnice w długości mięśni w różnych typach ustawienia miednicy. W celu weryfikacji otrzymanych wyników należy przeanalizować liczebniejszą i bardziej zróżnicowaną (szczególnie pod względem płci i wieku) grupę badanych. Konieczna jest również ocena długości pozostałych mięśni w obrębie miednicy, a także analiza aktywności mięśniowej za pomocą badania elektromiograficznego, co stanowi kolejny etap badań autorów.

### Wnioski

1. Istnieją różnice w długości mięśni podkolanowych w różnych typach ustawienia miednicy wśród młodych kobiet.
2. Nie ma wyraźnej różnicy w długości zginaczy stawów biodrowych i zdolności do aktywacji mięśni głębokich brzucha w różnych typach ustawienia miednicy.
3. Występowanie asymetrycznego ustawienia miednicy wśród młodych kobiet jest częstym zjawiskiem, jednak osoby z asymetrią niewymagającą interwencji terapeutycznej wykazują mniejszą długość mięśni kulszowo-goleniowych. Wskazuje to na konieczność prowadzenia dalszych badań, które określą czynniki wpływające na powstawanie asymetrii w tym rejonie, a także wskażą kierunek postępowania klinicznego.

ability to activate deep abdominal muscles. Rasouli et al. [3] confirmed, in the USG tests, very poor activity of deep trunk muscles during negligent sitting on a chair. He also defined that the biggest contraction was registered during sitting on a Swedish ball and raising one leg. Thus, long-term staying in one position may be one of the factors causing the weakening in central stabilisation of the subjects and pelvic position disorders. Mork and Westgaard [32], using the EMG, confirmed the weakened activity of transverse abdominal muscle and the multifidus as well as decreased elasticity of the iliopsoas muscle in 21 young women performing mental work at the computer. These results were also confirmed during this study. Muscles exposed to long-term, overloading work, particularly in static conditions, become excessively tense, shorter and are subject to painful contraction.

In the results elaborated no significant changes were found between the elasticity of muscles on the right and left-hand side. Wang et al. [33] in their studies also did not detect significant differences between the right and left-hand side. They explain this fact by indicating that during walking the body, in spite of structural changes, tries to recruit functionally this muscle unit in equal manner, adjusting it to the changing environmental conditions. Radwan et al. [34] received opposite results, demonstrating significant difference in sciatic-shin muscles on the right and left side.

The analysis of the material collected allows for indicating that differences exist in muscle length in various types of pelvic position. In order to verify the results obtained, a bigger and more diversified group of subjects should be analysed (in particular, in terms of gender and age). It is also necessary to assess the length of the remaining muscles within the pelvis as well as to analyse the muscle activity using the electromyography test, which is the next stage of the author's research.

### Conclusions

1. There are differences in the length of popliteus muscles in various types of pelvic placing amongst young women.
2. There is no distinct difference in the length of hip joint flexor muscles and the ability to activate deep abdominal muscles in different types of placing of the pelvis.
3. Appearance of asymmetrical placing the pelvis among young women is a frequent occurrence, however people with asymmetry that does not need therapeutic intervention demonstrate shorter sciatic-shin muscles. This fact indicates the need to conduct further research, which could help determine the factors that influence the asymmetry in this area, as well as could show the direction of clinical proceedings.

### Piśmiennictwo / References

1. Saulicz E, Kuszewski M, Gnat R, Saulicz M, Kokosz M, Matyja M. Sitting posture and its influence on hamstrings stiffness. Polish Journal of Environmental Studies 2008; 16 (1): 92-8.
2. Lafage V, Schwab F, Patel A, Hawkinson N, Farcy JP. Pelvic Tilt and Truncal Inclination: Two Key Radiographic Parameters in the Setting of Adults With Spinal Deformity. Spine 2009; 34: 599-606.



3. Rasouli O, Arab A.M, Amiri M., Jaberzadeh S. Ultrasound measurement of deep abdominal muscle activity in sitting positions with different stability levels in subjects with and without chronic low back pain. *Manual Therapy* 2011; 16: 388-93.
4. Siebenrock A, Kalbermatten D, Ganz, R. Effect of Pelvic Tilt on Acetabular Retroversion: A Study of Pelves From Cadavers. *Clinical Orthopaedics & Related Research*: 2003; 4 (7): 241-8.
5. Levangie P. The Association Between Static Pelvic Asymmetry and Low Back Pain. *Spine* 1999; 1234-42.
6. Crowell RD, Cummings GS, Walker JR, Tillman LJ. Intratester and intertester reliability and validity of measures of innominate bone inclination. *J Orthop Sports Phys Ther* 1994; 20: 88-97.
7. Al-Eisa E, Egan E, Deluzio D, Wassersug R. Effects of Pelvic Asymmetry and Low Back Pain on Trunk Kinematics During Sitting: A Comparison With Standing. *Spine* 2006; 31: 135-43.
8. Gary A. Knutson DC. Incidence of foot rotation, pelvic crest unleveling, and supine leg length alignment asymmetry and their relationship to self-reported back pain. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics* 2002; 25: 1-7.
9. Van Wingerden JP, Vleming A, Kleinrensink GJ, Stoeckart R. The role of the hamstrings in pelvic and spinal function. Movement, stability and low back pain. The essential role of the pelvis. New York: Churchill Livingstone; 1997.
10. Nourbakhsh M, Massoud Arabloob A, Salavati M. The relationship between pelvic cross syndrome and chronic low back pain. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation* 2006; 19: 119-28.
11. Richardson C, Hodges P, Hides J. Kinesiotherapy in stabilisation of the lumbo-pelvic complex. *Elesviser Urban & Partner* 2004; 72 (88): 167-76.
12. Hodges PW. Is there a role for transversus abdominis in lumbo-pelvic stability? *Manual Therapy* 1999; 74-86.
13. Hodges PW, Richardson C. Inefficient muscular stabilization of the lumbar spine associated with low back pain. A motor control evaluation of transversus abdominis. *Spine* 1996; 2640-50.
14. Hodges PW. Core stability exercise in chronic low back pain. *Orthop. Clin. North Am* 2003; 34.
15. Kuszewski M, Saulicz E, Gnat R. Possible paradox: Muscle stiffness – indispensable Or undesirable? *Fizjoterapia* 2008; 16: 92-8.
16. Hicks, Audrey L, Kent-Braun J, Ditor D. Sex Differences in Human Skeletal Muscle Fatigue. *Exerc. Sports Sci. Rev.* 2001; 29: 109-12.
17. Gnat R, Saulicz E, Bialy M, Klaptocz P. Does Pelvic Asymmetry always Mean Pathology? Analysis of Mechanical Factors Leading to the Asymmetry. *Journal of human kinetics* 2009; 21: 23-32.
18. Renkawitz T, Boluki D, Grifka J. The association of low back pain, neuromuscular imbalance, and trunk extension strength in athletes. *The Spine Journal* 2006; 6: 673-83.
19. Cameron DM, Bohannon R. Relationship between Active Knee Extension and Active Straight Leg Rise Test Measurements. *Journal of Orthopaedic & Sport Physical Therapy*; 1993.
20. Mens J, Vleeming A, Snijders C, Stam H, Ginai A. The active straight leg raising test and mobility of the pelvic joints. *Eur Spine J* 1999; 8: 468-73.
21. Gajdosik R, Lusin G. Hamstring muscle tightness: Reliability of an active-knee-extension test. *Phys Ther.* 1983; 63: 1085-8.
22. Pietruszka S, Śliwiński Z. Assessment of pelvic statics and muscle balance in children aged 7-9. *Kwart. Ortop.* 2012; 1: 91-106.
23. Dziewulski M, Szymaniak W. Epidemiology of scoliosis in children and teenagers. *Fizjoterapia Polska* 2003; 3(2): 106-12.
24. Roussouly P, Gollogly S, Berthonnaud E. Classification of the normal variation in the sagittal alignment of the human lumbar spine and pelvis in the standing position. *Spine* 2005, 30 (3): 346-53.
25. Malinowski A. Introduction to anthropology and ecology of man. Łódź: Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego; 1994. p. 129-34.
26. Protosaltis T, Schwab F, Bronsard, et al. The T1 Pelvic Angle, a Novel Radiographic Measure of Global Sagittal Deformity, Accounts for Both Spinal Inclination and Pelvic Tilt and Correlates with Health-Related Quality of Life. *J Bone Joint Surg Am* 2014; 96 (19): 1631 -40.
27. Araújo F, Raquel L, Alegrete N, Azevedo A, Barros H. Sagittal standing posture, back pain, and quality of life among adults from the general population: a sex-specific association. *Spine* 2014; 39 (13): 782-94.
28. Protosaltis TS, Scheer JK, Terran JS, et al. How the neck affects the back: changes in regional cervical sagittal alignment correlate to HRQOL improvement in adult thoracolumbar deformity patients at 2-year follow-up. *Journal of neurosurgery.* *Spine* 2015; 23 (2): 153-8.
29. Schunke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker K. *PROMETEUSZ Atlas Anatomii Człowieka.* MedPharm Polska; 2013.
30. Corkery M, Briscoe H, Ciccone N, et al. Establishing normal values for lower extremity muscle length in college-age students. *Physical Therapy in Sport* 2007; 8: 66-74.
31. Park K-N, Yi Ch-H, Jeon H-S. Effects of lumbopelvic neutralization on the electromyographic activity, lumbopelvic and knee motion during seated knee extension in subjects with hamstring shortness. *Journal of Physical Therapy Science* 2012; 24 (1): 17-22.
32. Mork P.J, Westgaard R.H. Back posture and low back muscle activity in female computer workers: a field study. *Clinical Biomechanics* 2009; 24: 169-75.
33. Wang, Baoqi, and Helmut Strasser. Left-and right-handed screwdriver torque strength and physiological cost of muscles involved in arm pronation and supination. *The ergonomics of manual work.* Washington DC: Taylor and Francis London; 1993. p. 223-6.
34. Radwan A, Bigney KA, Buonomo HN, et al. Evaluation of intra-subject difference in hamstring flexibility in patients with low back pain: An exploratory study. *J Back Musculoskelet Rehabil.* 2014; 28 (1): 61-6.