

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Wydział Biologii

Anna Maria Kubicka

**Budowa, asymetria i dymorfizm płciowy stawu
ramiennego w populacji średniowiecznej i
współczesnej**

Praca doktorska wykonana
w Zakładzie Biologii Ewolucyjnej Człowieka
Instytutu Antropologii
Wydziału Biologii
Promotor: prof. dr hab. Janusz Piontek

Poznań, 2016

Pragnę wyrazić serdeczne podziękowania niżej wymienionym osobom:

- prof. dr hab. Januszowi Piontkowi – za okazaną pomoc w trakcie moich całych studiów (czyli od 2008 roku) oraz wspieranie moich wszystkich projektów naukowych (nawet tych najdziwniejszych),
- dr hab. Przemysławowi Lubiowskiemu oraz lek. med. Janowi Dawidowi Długoszowi – za zaufanie mi, poświęcenie mi swojego czasu oraz zapewnienie materiałów i miejsca pracy,
- prof. Mirosławowi Kralikowi – za dwukrotne przyjęcie mnie na staż w Brnie oraz „zaszczerpienie” we mnie fascynacji morfometrią geometryczną,
- dr Ani Myszcze – za mile spędzony czas w piwnicy na Ostrowie Lednickim oraz cenne uwagi dotyczące mojej pracy doktorskiej (i nie tylko),
- dr Grażynie Liczbińskiej – za niewątpliwy wpływ kształtowanie się moich zainteresowań, pomoc w zorganizowaniu staży zagranicznych oraz rzeczową korektę manuskryptu,
- mgr Ani Wrzesińskiej – za udostępnienie materiału z Ostrowa Lednickiego oraz za bardzo miłą gościnę.

Szczególnie podziękowania należą się także moim bliskim, którzy służyli mi wsparciem od początku mojej edukacji.

Praca doktorska powstała dzięki dofinansowaniu:

- Europejskiego Funduszu Społecznego (PO KL 8.2.2/30-310-13/14),
- Dziekana Wydziału Biologii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu (GDWB-01/2014).

Niniejszą rozprawę doktorską dedykuję rodzinie – moim ulubionym naczelnym

SPIS TREŚCI

STRESZCZENIE	5
SUMMARY	6
WSTĘP	7
1. Dokładność oceny ubytku w powierzchni stawowej panewki łopatki	9
1.1. Wstęp	9
1.2. Materiał i Metody	12
1.2.1. Metoda dwuwymiarowa (2D)	13
1.2.2. Metoda trójwymiarowa (3D)	14
1.2.3. Analiza statystyczna	17
1.3. Wyniki	17
1.3.1. Porównanie błędów między badaczami dla metody 2D i 3D	17
1.3.2. Porównanie wewnętrznego błędów badaczy dla metody 2D i 3D	18
1.4. Dyskusja	20
2. Staw ramienny w populacji średniowiecznej i współczesnej	24
2.1. Wstęp	24
2.1.1. Dymorfizm płciowy wielkości i kształtu stawu ramiennego	24
2.1.2. Asymetria kierunkowa stawu ramiennego	27
2.1.3. Wyznaczniki stresu mięśniowo-szkieletowego	29
2.2. Materiał i metody	32
2.2.1. Populacja średniowieczna	32
2.2.2. Populacja współczesna	35
2.2.3. Pomiary kości	36
2.2.4. Wyznaczniki stresu mięśniowo-szkieletowego	37
2.2.5. Analiza kształtu powierzchni stawowej panewki łopatki	38
2.2.6. Analiza statystyczna	41
2.3. Wyniki	44
2.3.1. Dymorfizm płciowy	44
2.3.2. Asymetria kierunkowa	47
2.3.3. Wyznaczniki stresu mięśniowo-szkieletowego	50
2.3.4. Analiza porównawcza	51
2.4. Dyskusja	54
2.4.1. Dymorfizm płciowy stawu ramiennego	54
2.4.2. Asymetria kierunkowa stawu ramiennego	59
2.4.3. Korelacja między wyznacznikami stresu mięśniowo-szkieletowego a kształtem panewki łopatki	63
2.4.4. Analiza porównawcza	64
PODSUMOWANIE	67
BIBLIOGRAFIA	69
SUPLEMENT	84

STRESZCZENIE

Głównymi celami pracy była: 1) analiza rzetelności pomiarów wykonanych za pomocą metody dwuwymiarowej (2D) i trójwymiarowej (3D) służących do oceny ubytku panewki łopatki, 2) analiza dymorfizmu płciowego i asymetrii kierunkowej kształtu i wielkości stawu ramiennego, 3) zbadanie korelacji między wyznacznikami stresu mięśniowo-szkieletowego (MSM) a kształtem panewki łopatki.

Materiał składał się z łopatek 3D otrzymanych z Tomogramów Komputerowych (TK) stawów ramiennych należących do dorosłych osobników. Rzetelność pomiarów panewki wyliczono dla 2 obserwatorów i 2 metod w oparciu o grupę współczesną. Do wykonania celu 2 i 3 wykorzystano stawy ramienne populacji współczesnej i średniowiecznej.

Metoda pomiaru 3D charakteryzowała się większą rzetelnością niż metoda 2D. Dla obu populacji stwierdzono istotnie statystyczny dymorfizm płciowy i asymetrię kierunkową w wielkości stawu ramiennego. Z kolei asymetrię kierunkową kształtu panewki łopatki wykazano dla grupy współczesnej i średniowiecznych kobiet. Stwierdzono także różnice między płciami w kształcie panewki dla grupy współczesnej i prawej strony ciała w grupie średniowiecznej. Korelacja między MSM, a kształtem powierzchni stawowej łopatki była nieistotna statystycznie.

Słaba rzetelność metody 2D jest wynikiem trudności w ustawieniu łopatki w odpowiednich płaszczyznach. Asymetria kierunkowa i dymorfizm płciowy w kształcie i wielkości ramienia jest rezultatem różnych typów i poziomów aktywności fizycznej. Brak korelacji między MSM, a kształtem panewki powinien być potwierdzony badaniami wykorzystującymi np. przekroje poprzeczne kości.

SUMMARY

The main objectives of the study were: 1) to compare the reliability of two-dimensional (2D) and three-dimensional (3D) measurement methods used in glenoid defect assessment; 2) to analyse the degree of directional asymmetry and sexual dimorphism in the shape and size of the shoulder; 3) to analyse the association between musculoskeletal stress markers (MSM) and glenoid cavity shape.

The material consisted of Computed Tomography (CT) images of the shoulder from adult individuals from which 3D scapulae were obtained. Intra- and inter-observer reliability of measurements, performed by 2 independent observers using 2 methods, was calculated based on the modern group. In order to achieve the 2 and 3 research objectives, shoulders from the modern and mediaeval groups were accepted for study.

Reliability was significantly greater for the 3D-CT method than for 2D-CT. Differences in the size of the shoulder between sexes and sides of the body were significant for both groups. Differences in the shape of the glenoid cavity between sides of the body were revealed for the modern group and mediaeval females. Sexual dimorphism of bone shape was observed bilaterally in the modern group and in the right side of the mediaeval group. The correlation between MSM and glenoid cavity shape was not significant.

The low level of reliability of the 2D method can be explained by errors in the plane settings. Directional asymmetry and sexual dimorphism in the size and shape of the shoulder are a consequence of different types and levels of physical activities. The lack of correlation between MSM and glenoid shape should be confirmed by cross-sectional geometry.

WSTĘP

Staw ramienny należy do stawów kulistych wolnych i składa się z dwóch powierzchni stawowych utworzonych przez głowę kości ramiennej oraz panewkę stawową łopatki. Duża ruchomość kończyny górnej w stawie ramiennym jest możliwa dzięki obszernej torebce stawowej, wzmocnionej przez mięśnie odpowiedzialne za obracanie ramienia [mięsień (m.) podłopatkowy, m. nadgrzebieniowy oraz m. podgrzebieniowy] oraz dzięki płytkiej i małej powierzchni stawowej panewki w stosunku do wielkości głowy kości ramiennej (Bochenek i Reicher, 2010). Zakres ruchu w opisywanym stawie jest bardzo duży i wpływa między innymi na budowę obojczyka, którego zadaniem jest minimalizowanie rotacji i przemieszczania się łopatki w trakcie wykonywania ruchów (Abbott i Lucas, 1954).

Powstałe do tej pory prace o stawie ramiennym poświęcone są takim zagadnieniom jak: tworzenie typów kształtu całej łopatki (Graves, 1921), zróżnicowanie grubości wyrostka kruczego (Gumina i in., 2012), mechanika stawu ramiennego (De Baets i in., 2013; Grewal i Dickerson, 2013), złamania łopatki (Alsey i in., 2012; Blondiaux i in., 2012; Cole i in., 2013) oraz artroskopia barku (Churchill, 2001; De Wilde i in., 2010; Gregory i in., 2014). Jednakże, najwięcej prac skupia się na testowaniu nowych metod oceny płci za pomocą cech metrycznych stawu ramiennego (Prescher i Klümpen, 1995; Ozer i in., 2006; Dabbs, 2009; Dabbs i Moore-Jansen, 2010; Papaioannou i in., 2012).

Analizowanie stawu ramiennego jest trudne ze względu na jego budowę anatomiczną, która charakteryzuje się małą ilością punktów homologicznych (zwłaszcza, głowa kości ramiennej i panewka łopatki). Stąd też, w zdecydowanej większości badań wykorzystuje się cechy metryczne (np. Prescher i Klümpen, 1995; Gielo-Perczak i Matz, 2007; Andrin i in., 2015) niemniej jednak, istnieje kilka prac, które skupiły się na analizie kształtu wybranych elementów ramienia (Di Vincenzo i in., 2012; Bello-Hellegouarch i in., 2013; Ibáñez-Gimeno i in., 2013).

W związku z tym, że panewka łopatki ma duży wpływ na prawidłowe funkcjonowanie stawu ramiennego oraz ruchomość kończyny górnej, dużą uwagę poświęca się w badaniach klinicznych analizie powtarzalności pomiarów tej kości. Od rzetelności oceny rodzaju i stopnia ubytku powierzchni stawowej łopatki zależy powodzenie wykonanej artroskopii barku

(Piasecki i in., 2009). Dlatego też, pierwsza część rozprawy doktorskiej ma charakter aplikacyjny i została poświęcona opracowaniu metody pomiaru panewki łopatki, która zapewni jak najbardziej powtarzalną i wiarygodną ocenę ubytku powierzchni stawowej tej kości.

Badanie stawu ramiennego jest ważne także w kontekście zmian ewolucyjnych człowieka. Uważa się, że budowa stawu ramiennego (głównie łopatki) odzwierciedla funkcjonalne wymagania różnych rodzajów lokomocji wśród naczelnych (Püschel i Sellers, 2016). Odpowiedni kształt łopatki, obojczyka oraz kości ramiennej jest wynikiem wykształcenia się dwunożności u ludzi. Co z kolei, umożliwiło odbywanie podróży i transportowanie potomstwa, narzędzi czy pożywienia na długie dystanse (Osborn i Homberger, 2015). Według Larson'a (1998), istnieje także duży związek między budową łopatki oraz kości ramiennej a kształtem klatki piersiowej (głównie obojczykiem). Powyższe prace opierają się na założeniu, że kształt kości może ulegać przekształceniom adaptacyjnym, które odzwierciedlają rodzaj i nasilenie mechanicznych obciążeń, działających na danego osobnika w trakcie jego życia (Ruff i in., 2006). Założenie to jest nazywane prawem Wollff'a (lub prawem Roux'a, patrz dyskusja Ruff i in., 2006) i może służyć do rekonstrukcji „zachowań” pojedynczych osobników lub do analizy zmienności w „zachowaniach” wewnątrz oraz między populacjami.

Dlatego też, druga część pracy została poświęcona analizie i porównaniu budowy stawu ramiennego (z uwzględnieniem obojczyka jako elementu łączącego kończynę górną ze szkieletem osiowym) w dwóch chronologicznie różnych populacjach z terenu Polski: średniowiecznej i współczesnej. Każda z wybranych grup cechuje odmienny typ gospodarki oraz charakteryzuje się innymi aktywnościami fizycznymi. Przeprowadzenie analizy porównawczej pozwoli stwierdzić jakie czynniki mają wpływ na formowanie się stawu ramiennego.

1. Dokładność oceny ubytku w powierzchni stawowej panewki łopatki

1.1. Wstęp

Przednia niestabilność stawu ramiennego objawia się nadmiernym przesuwaniem kości ramiennej po powierzchni stawowej panewki łopatki. Nawracające incydenty zwichnięć w stawie ramiennym aż w 90% przypadków, prowadzą do zeszlifowania powierzchni stawowej w części *anterior* i *inferior* (tzw. uszkodzenie Bankarta). Inne spotykane urazy to złamania panewki lub głowy kości ramiennej (tzw. uszkodzenie Hill-Sachsa, Beran i in., 2010). Postępujący ubytek w stawie ramiennym powoduje odczuwanie dyskomfortu i bólu podczas wykonywania ruchów, zwiększa prawdopodobieństwo wystąpienia nawracających incydentów zwichnięć (Piasecki i in., 2009) oraz zwiększa ryzyko przeprowadzenia ponownej artroskopowej stabilizacji barku (Burkhart i De Beer, 2000; Itoi i in., 2000). Dodatkowo, negatywny wpływ na leczenie niestabilności stawu ramiennego może mieć występowanie zapalenia kości i stawów lub wiek pacjenta w chwili wystąpienia objawów (Weishaupt i in., 2000; Churchill, 2011; Milano i in., 2011; Iannotti i in., 2013).

Obecnie brakuje jednej spójnej procedury, mającej na celu jak najdokładniejszą diagnostykę stopnia uszkodzenia Bankarta (Piasecki i in., 2009). Istnieje kilka metod oceny ubytku panewki (np. Gerber i Nyffeler, 2002; Griffith i in., 2003; Sugaya i in., 2003; Barchilon i in., 2008; Magarelli i in., 2009), ale żadna z nich nie jest wystarczająco dokładna (Saliken i in., 2015). Procent osób, u których po operacji stawu wciąż zachodzi proces degeneracyjny powierzchni stawowej może wynosić nawet do 25% (Graichen i in., 1999). Dlatego też, bardzo ważnym aspektem w planowaniu oraz wyboru odpowiedniej techniki operacyjnej jest możliwość wykonania jak najbardziej dokładnej i powtarzalnej oceny rodzaju oraz stopnia ubytku panewki (Inui i in., 2002; Boileau i in., 2006; Piasecki i in., 2009; Beran i in., 2010). Występujące problemy z oszacowaniem uszkodzeń stawu ramiennego spowodowały, że coraz więcej uwagi w badaniach klinicznych poświęca się testowaniu metod, w tym pod względem ich rzetelności (Iannotti i in., 2013).

Pierwsze badania, które skupiły się na analizie błędów wewnętrznego jak i między badaczami wykazały niską powtarzalność pomiarów wykonywanych na podstawie zdjęć rentgenowskich (Rozing i Obermann, 1999; Nyffeler i in., 2003). Wynik ten jest prawdopodobnie spowodowany dużym zróżnicowaniem w położeniu łopatki w stosunku do klatki piersiowej, które utrudnia wyznaczanie homologicznych punktów na kości (Sullivan i in., 1999). Mimo tych ograniczeń, zdjęcia rentgenowskie są stale wykorzystywane do oceny nieprawidłowości w budowie kości, uszkodzeń Hilla-Sachsa lub innych zmian patologicznych obecnych na stawach (Engebretsen i Craig, 1993; Bishop i in., 2013; Rerko i in., 2013). Dodatkowo, badania rentgenograficzne są używane w celu pooperacyjnej oceny umiejscowienia implantu (Iannotti i in., 2013; Lubiatowski i in., 2013; Gregory i in., 2014), wykrycia złamań łopatki (Otto i in., 2013) czy oceny alloplastyki stawu ramiennego (Castricini i in., 2013).

Ograniczenia wynikające ze stosowania zdjęć rentgenowskich wpłynęły na powstanie wielu badań, które analizują dokładność pomiarów w zależności od stosowanego rodzaju obrazowania. Najnowsze osiągnięcia technologiczne umożliwiają otrzymywanie coraz lepszej jakości tomogramów komputerowych pozwalających na wykonanie rekonstrukcji trójwymiarowych (3D) kości, które bardzo dokładnie odzwierciedlają anatomię badanego obiektu (Kwon i in., 2005; Ford i Decker, 2015). Rekonstrukcje 3D umożliwiają np. dokładną ocenę retrowersji wydrążenia panewki (Scalise i in., 2008), odtworzenie pozycji i orientacji stawu kolanowego (Hirschmann i in., 2011) czy nawet zaprojektowanie implantów (Lalone i in., 2015). Dlatego też, w badaniach klinicznych najczęściej porównuje się ze sobą pomiary wykonane na zdjęciach rentgenowskich, dwuwymiarowych (2D) oraz 3D tomogramach komputerowych (Saliken i in., 2015) z tym zastrzeżeniem, że w metodach służących do oceny niestabilności stawu ramiennego pomiary na rekonstrukcjach 3D przeprowadza się w przestrzeni 2D (bez możliwości obracania obiektu w trakcie mierzenia).

Według Hirschmann'a i współpracowników (2011), największy błąd pomiaru pozycji i orientacji stawu kolanowego stwierdzono dla rentgenogramów, nieco mniejszy dla tomogramów 2D i najmniejszy dla tomogramów 3D. Inne wnioski ze swoich badań wyciągnął Budge wraz ze współpracownikami (2011), którzy nie stwierdzili istotnych różnic w dokładności mierzenia retrowersji panewki między tomogramami 2D a 3D, choć autorzy sugerują, że obrazowanie 2D może być pomocne przy ocenie stopnia retrowersji na podstawie rekonstrukcji 3D łopatki. Inne badania również wskazują na przydatność tomogramów 3D do oceny umiejscowienia implantu (Iannotti i in., 2013) lub ilościowego określenia tylnego ubytku powierzchni stawowej panewki (Beuckelaers i in., 2014).

Obecnie, metody służące do oceny rodzaju i stopnia ubytku panewki wykorzystują pomiary wykonane w przestrzeni 2D na tomogramach 2D i 3D, rezonansie magnetycznym lub zdjęciach świeżo zamrożonych łopatek (Griffith i in., 2003; Huijsmans i in., 2007; Barchilon i in., 2008). Kształt oraz wielkość powierzchni stawowej panewki łopatki charakteryzuje się bardzo dużym zróżnicowaniem w populacjach (Prescher i Klümpen, 1995; Dabbs i Moore-Jansen, 2010; Papaioannou i in., 2012; Kubicka i in., 2016a). Co więcej, płytkość wgłębienia panewki zwiększa się wraz z jej retrowersją (Graichen i in., 1999; Couteau i in., 2000). Dodatkowo, wśród pacjentów z różnym stopniem ubytku występuje zróżnicowanie w orientacji powierzchni stawowej panewki w stosunku do całej łopatki (Piasecki i in., 2009). Wszystkie te czynniki powodują, że ustawienie łopatki w odpowiedniej płaszczyźnie strzałkowej jest problematyczne. Trudności w prawidłowym zorientowaniu powierzchni stawowej zostały stwierdzone nawet u doświadczonych lekarzy (Churchill i in., 2001; Beuckelaers i in., 2014). Może to skutkować tym, iż pomiary panewek wykonane w przestrzeni 2D będą różnić się między sobą ze względu na odmienny sposób ich zorientowania, a nie w wyniku istnienia rzeczywistych różnic pomiędzy nimi. Zwłaszcza, że nawet najmniejsza zmiana położenia obiektu na którym wykonuje się pomiary 2D może znacząco wpłynąć na otrzymane wyniki (Zelditch i in., 2004).

W związku z rozwojem technik rekonstrukcji tomogramów komputerowych, powyżej opisane ograniczenia mogą być rozwiązane za pomocą zastosowania pomiarów przestrzeni 3D na rekonstrukcjach 3D do oceny ilościowej ubytku panewki łopatki. W związku z istniejącą potrzebą stworzenia bardziej dokładnej procedury oceny ubytku powierzchni stawowej, celem poniższej pracy jest: porównanie powtarzalności pomiarów wykonywanych na obrazach 2D z rekonstrukcjami 3D (mierzonymi w przestrzeni 3D). Analiza rzetelności metod wykorzystywanych w badaniach klinicznych jest ważna. Zwłaszcza, że obecnie tylko kilka prac skupiło się na sprawdzeniu, która z form obrazowania w lepszy sposób odzwierciedla patologiczne zmiany na powierzchni stawowej łopatki (Gerber i Nyffeler, 2002; Sugaya i in., 2003; Moineau i in., 2012). Co więcej, nie we wszystkich powyższych badaniach wyliczono powtarzalność testowanych metod a pomiary wykonywano wyłącznie w przestrzeni 2D. Zatem w pracy postanowiono przetestować następującą hipotezę: metoda 3D mierzenia charakteryzuje się mniejszym błędem pomiaru stopnia ubytku panewki łopatki niż metoda 2D. Otrzymane wyniki pozwolą na weryfikację, który ze sposobów mierzenia jest bardziej powtarzalny.

1.2. Materiał i Metody

Analizowany materiał składał się ze 100 tomogramów komputerowych stawu ramiennego pacjentów Ortopedyczno-Rehabilitacyjnego Szpitala Klinicznego Uniwersytetu Medycznego w Poznaniu. Badana grupa zawierała 39 kobiet i 61 mężczyzn w przedziale wiekowym od 20 do 85 roku życia (średnia wieku kobiet: 48,04, średnia wieku mężczyzn: 40,75). Ponieważ panewka łopatki oraz oba wyrostki (barkowy i kruczy) rozwijają się do 18-20 roku życia (Scheuer i Black, 2000) do analizy zaklasyfikowano stawy ramienne należące wyłącznie do pacjentów powyżej 20 roku życia.

W związku z tym, że badanie polegało na ocenie rzetelności metod służących do oceny ubytków kostnych stawu ramiennego, do analizy zaklasyfikowano łopatki posiadające ubytek w powierzchni stawowej panewki łopatki. Diagnoza każdego stawu ramiennego została przeprowadzona przez tego samego doświadczonego chirurga, ortopedę¹. Ocena ta, składała się z dwóch etapów: pierwszy opierał się na przeprowadzeniu wywiadu i badania lekarskiego, z kolei drugi polegał na wykonaniu tomografii komputerowej i analizie otrzymanego obrazu. Tomografia komputerowa pacjentów została wykonana za pomocą 32 rzędowego tomografu komputerowego (Siemens Somatom Sensation) w projekcji kaudo-kranialnej, przy użyciu standardowego protokołu skanowania (grubość warstwy: 0,625 mm; kV: 120, mAS/ref: 114/150, TIL 1.0, cSL: 0.6). W grupie 100 badanych tomogramów, 63 stawy ramienne wykazały ubytki powierzchni stawowej panewki łopatki.

Badania opierały się wyłącznie na retrospektywnej analizie co oznacza, że pacjenci nie byli specjalnie rekrutowani do projektu, a ich tomogramy komputerowe, informacje o wieku i płci oraz ewentualna diagnoza lekarska zostały pozyskane z bazy danych dostępnej w szpitalu². Dostęp do wszystkich danych miał tylko jeden doświadczony chirurg¹, który usunął wszelkie wrażliwe dane pacjentów. Następnie, każdy tomogram komputerowy otrzymał swoją nazwę, zawierającą skrót informujący o płci (M – mężczyzna, K – kobieta), stronie ciała (P – prawa, L – lewa) oraz kolejny numer porządkowy osoby (np. 001ML). Działanie takie zapewniło całkowitą anonimowość danych pacjentów. Tomogramy komputerowe stawów ramiennych opatrzone nowymi nazwami zostały następnie zmierzone za pomocą metody 2D i 3D.

W celu stwierdzenia, która z metod pomiarów (2D czy 3D) ubytku panewki łopatki jest bardziej rzetelna, do wykonywania pomiarów zaangażowano dwóch niezależnych badaczy.

¹ Dr hab. Przemysław Lubiowski – adiunkt Katedry i Kliniki Traumatologii, Ortopedii i Chirurgii Ręki Uniwersytetu Medycznego w Poznaniu, kierownik oddziału w Klinice Chirurgii Ręki Uniwersytetu Medycznego w Poznaniu, kierownik Niepublicznego Zespołu Opieki Zdrowotnej Rehasport Clinic.

² Wszystkie osoby zaangażowane w tę część badania pozyskały zgodę Komisji Bioetycznej Uniwersytetu Medycznego w Poznaniu (numer: 437/13).

Pierwszy badacz to praktykujący chirurg, ortopeda, z kolei drugi badacz nie jest lekarzem ale jest doświadczony w pracy na programach graficznych. Każdy z badaczy zmierzył dwukrotnie wszystkie stawy ramienne (100), pierwszy raz za pomocą metody 2D i drugi raz przy użyciu metody 3D. Po upływie tygodnia, pomiary zostały powtórzone przez każdego z badaczy za pomocą tych samych metod (2D i 3D) na 30 losowo wybranych panewkach. Zastosowanie powyższej procedury pozwoliło na obliczenie błędu wewnętrznego badaczy (ang. *intra-observer error*) jak i między badaczami dla obu metod (ang. *inter-observer error*). Spośród 30 losowo wybranych panewek, 23 wykazywało ubytek powierzchni stawowej.

1.2.1. Metoda dwuwymiarowa (2D)

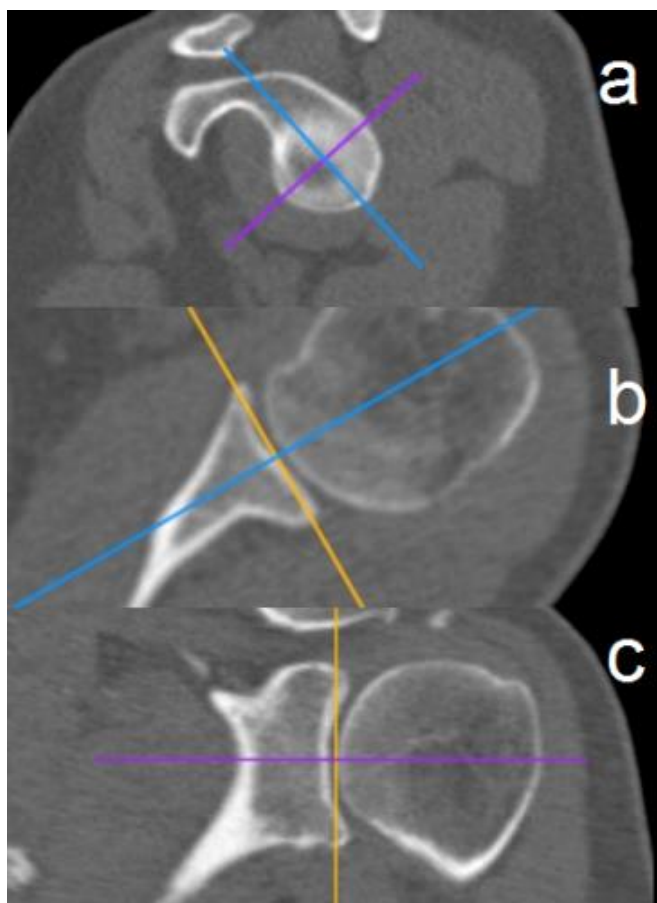
Przed wykonaniem pomiaru, każdy z dwóch badaczy ustawiał panewkę łopatki w trzech płaszczyznach (strzałkowej, poprzecznej oraz czołowej), a następnie wykonywał pomiary zgodnie z zasadami obowiązującymi w procedurach metodycznych stosowanych do oceny stopnia i rodzaju ubytku powierzchni stawowej (patrz suplement 1). Tabela 1 zawiera skróty oraz szczegółowy opis wykonywanych pomiarów a rycina 1 przedstawia sposób ustawienia płaszczyzn stawu ramiennego. Po upływie tygodnia, badacz pierwszy i drugi zmierzili ponownie 30 wylosowanych łopatek. Wszystkie czynności związane z zastosowaniem metody 2D do oceny ubytku panewki łopatki zostały wykonane przy wykorzystaniu programu OsiriX (wersja MD v. 6.5, 64-bit)³.

Tabela 1. Opis pomiarów powierzchni stawowej panewki łopatki

Pomiary	Opis	Autorzy metody
Pow. koła	Powierzchnia koła wpasowanego w dolną krawędź panewki łopatki	(Sugaya i in., 2003; Magarelli i in., 2009)
Pow. ubytku	Powierzchnia ubytku będąca częścią wpasowanego koła	(Sugaya i in., 2003; Magarelli i in., 2009)
AP szer.	Odległość między najbardziej przednim i tylnym punktem panewki łopatki	(Gerber i Nyffeler, 2002; Griffith i in., 2003)
SI wys.	Odległość między najwyższym i najniższym punktem panewki łopatki	(Griffith i in., 2003)
Krawędź ubytku	Długość krawędzi ubytku	(Gerber i Nyffeler, 2002; Griffith i in., 2003)
R	Odległość od centrum powierzchni koła do dolnej krawędzi panewki łopatki	(Barchilon i in., 2008)
d	Odległość od centrum powierzchni koła łopatki do krawędzi ubytku	(Barchilon i in., 2008)

Objaśnienia: pow. koła - powierzchnia koła, pow. ubytku - powierzchnia ubytku, AP szer. - szerokość *anterior-posterior*, SI wys. - wysokość *superior-inferior*

³ Licencja Rehasport Clinic.



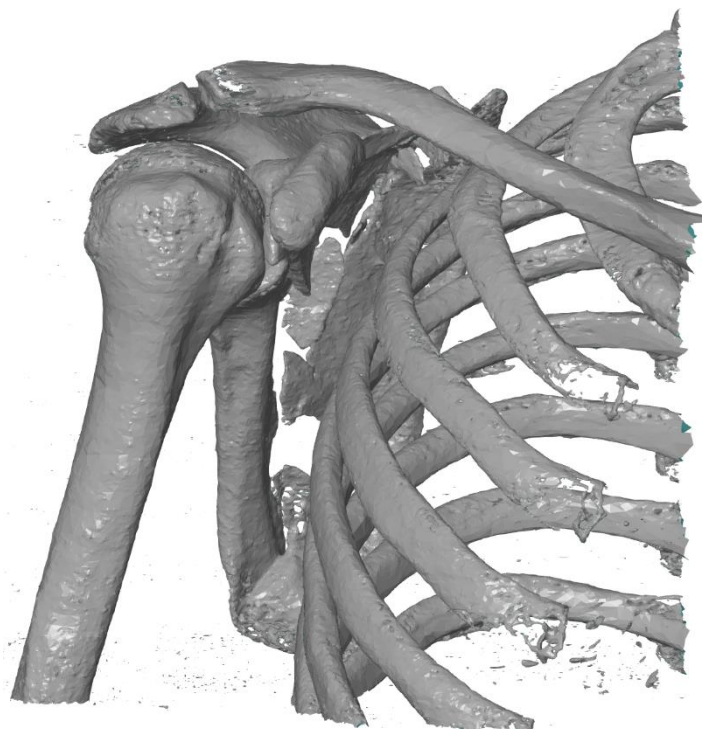
Rycina 1. Dwuwymiarowa metoda pomiaru cech panewki łopatki w trzech płaszczyznach
Objaśnienia: a – lewa panewka łopatki w płaszczyźnie strzałkowej, b – lewa panewka łopatki w płaszczyźnie poprzecznej, c – lewa panewka łopatki w płaszczyźnie czołowej

1.2.2. Metoda trójwymiarowa (3D)

Przed wykonaniem wszystkich pomiarów, pierwszy badacz przygotował rekonstrukcje 3D łopatek (patrz ryc. 2 oraz suplement 2) za pomocą programu 3D Slicer (wersja 4.4)⁴, które następnie zostały „oczyszczone” z kości i elementów zasłaniających panewkę (patrz suplement 3). Spośród wszystkich tomogramów komputerowych zostało wylosowanych 30 stawów ramiennych, dla których po upływie tygodnia wykonano dodatkową rekonstrukcję 3D łopatki. Następnie, dla każdego stawu ramiennego obliczono różnicę pomiędzy pierwszą a drugą rekonstrukcją. Żadna ze średnich odległości pomiędzy parami nie była większa niż 0,15 mm co sugeruje, że sposób otrzymywania rekonstrukcji 3D okazał się rzetelny. Dodatkowo, powyższa analiza zapewniła, że ewentualne otrzymane rozbieżności w pomiarach panewki nie będą wynikać z błędnie wykonanych rekonstrukcji warstwy kostnej.

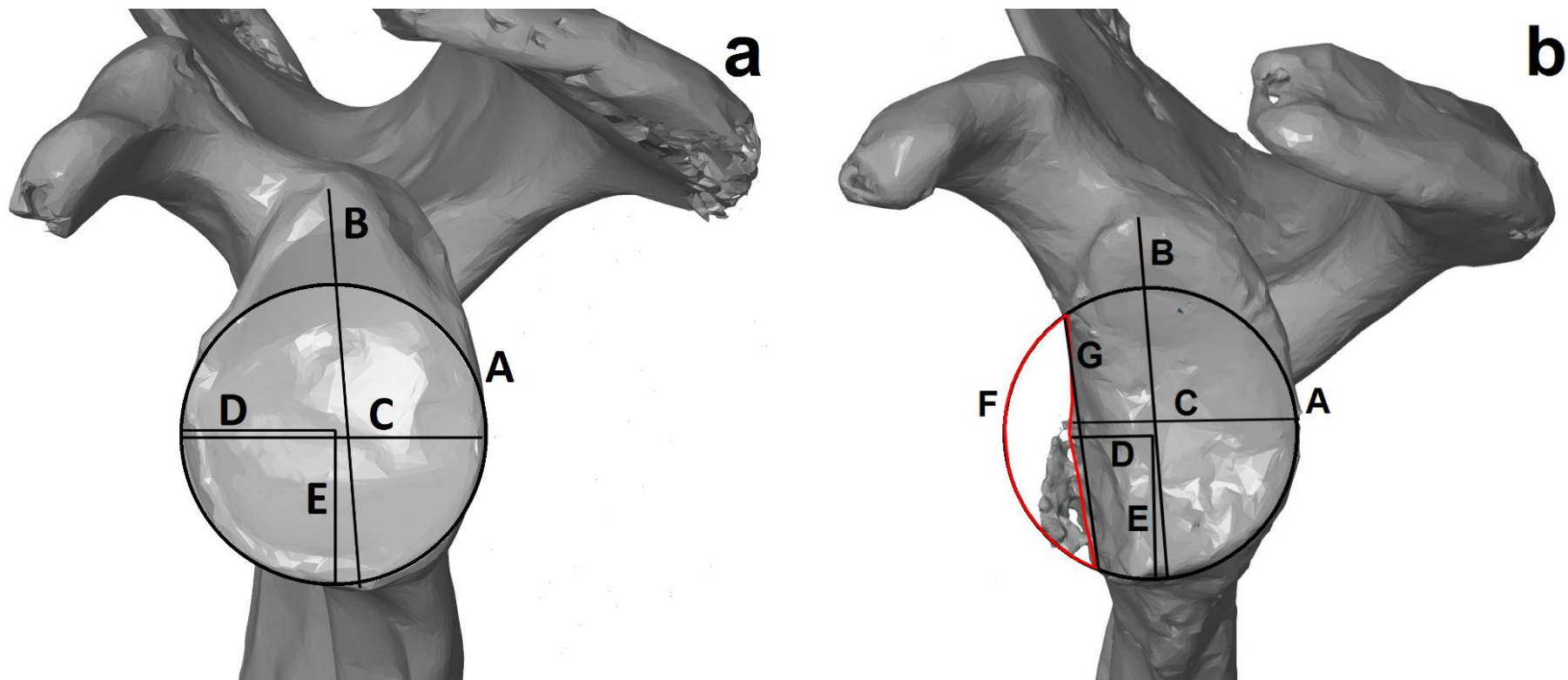
⁴ Darmowy program do analizy tomogramów komputerowych.

Następnie, każdy z dwóch badaczy wykonał pomiary (patrz tab. 1 oraz suplement 4) na wszystkich 100 zrekonstruowanych łopatkach w przestrzeni 3D (patrz ryc. 3) przy użyciu programu GOM Inspect (wersja V8)⁵. Zgodnie z przyjętym założeniem, po upływie tygodnia obaj badacze powtórzyli mierzenie dla 30 łopatek (tych samych co w metodzie 2D).



Rycina 2. Trójwymiarowa rekonstrukcja tomogramu komputerowego przed usunięciem kości utrudniających wykonanie pomiarów na panewce łopatki

⁵ Darmowy program do analizy trójwymiarowych obiektów.



Rycina 3. Trójwymiarowa rekonstrukcja dwóch lewych łopatek z zaznaczonymi pomiarami

Objaśnienia: a – łopatka bez ubytku w panewce, b – łopatka z ubytkiem w panewce. Pomiary powierzchni stawowej panewki łopatki: A – powierzchnia koła, B – SI wysokość, C – AP szerokość, D – pomiar d, E – pomiar R, F – powierzchnia ubytku, G – krawędź ubytku

1.2.3. Analiza statystyczna

Analiza statystyczna została wykonana za pomocą programu SPSS (wersja 22.0.0.1)⁶ oraz Microsoft Office Excel⁷. W celu wykazania, która z metod (2D czy 3D) charakteryzuje się większą rzetelnością wykonywanych pomiarów, wyliczono wskaźniki dla testu współczynnika korelacji wewnątrzklasowej (ICC). Wskaźniki ICC zostały wyliczone dla błędu wewnętrznego badaczy jak i pomiędzy nimi.

Wskaźnik testu ICC przyjmuje wartości w granicach od 0 (brak rzetelności) do 1 (idealna powtarzalność) i jest miarą zgodności wartości wewnątrz obserwacji (Ulijaszek i Kerr, 1999). Wszystkie otrzymane współczynniki ICC zostały zaklasyfikowane do jednej z czterech kategorii: bardzo dobry ($ICC > 0,810$), dobry ($0,610 < ICC < 0,810$), umiarkowany ($0,410 < ICC < 0,610$) i słaby ($ICC < 0,410$, Walter i in., 1998). Dodatkowo, został obliczony test Fishera, który posłużył do określenia czy różnice wartości wskaźników ICC dla metody 2D różnią się istotnie statystycznie od współczynników metody 3D. Poziom istotności dla obu testów (ICC i Fishera) wynosił $p < 0,05$.

Wybór rodzaju testu ICC został podyktowany jego częstym wykorzystywaniem w badaniach medycznych. Zastosowanie tego samego wskaźnika rzetelności pozwoliło na porównanie otrzymanych wyników z rezultatami uzyskanymi przez innych badaczy (np. Griffith i in., 2003; Sugaya i in., 2003).

1.3. Wyniki

1.3.1. Porównanie błędu między badaczami dla metody 2D i 3D

Tabela 2 przedstawia wartości i istotność testu ICC dla błędu między badaczami dla obu metod, dodatkowo w tabeli zostały umieszczone wyniki testu Fishera. W przypadku metody 2D, wskaźniki ICC dla następujących pomiarów: powierzchnia koła, szerokość *anterior-posterior* i wysokość *superior-inferior* przyjmują wartości bardzo dobre ($ICC > 0,810$). Kolejne dwa pomiary panewki łopatki: R ($ICC = 0,620$) i d ($ICC = 0,720$) charakteryzują się dobrą rzetelnością. Pozostałe pomiary powierzchni stawowej (powierzchnia ubytku oraz krawędź ubytku) przyjmują wartości umiarkowane.

⁶ Program używany zgodnie z umową licencyjną uzyskaną dla Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu.

⁷ Licencja zakupiona w ramach grantu Europejskiego Funduszu Społecznego (PO KL 8.2.2/30-310-13/14) uzyskanego przez doktorantkę.

W przypadku metody 3D, współczynniki ICC wszystkich pomiarów panewki łopatki charakteryzują się bardzo dobrą rzetelnością (powierzchnia koła: ICC = 0,889, powierzchnia ubytku: ICC = 0,820, szerokość *anterior-posterior*: ICC = 0,821, wysokość *superior-inferior*: ICC = 0,915, krawędź ubytku: ICC = 0,811, R: ICC = 0,831, d: ICC = 0,833). Test Fishera wykazał, że w przypadku tylko dwóch pomiarów (powierzchnia koła, wysokość *superior-inferior*) nie odnotowano istotnie statystycznych różnic między wartościami ICC dla metody 2D, a współczynnikami ICC dla metody 3D. Spośród wskaźników istotnie statystycznie różnych, tylko pomiar szerokość *anterior-posterior* wykonany za pomocą metody 2D, charakteryzuje się istotnie statystycznie lepszą rzetelnością niż ta sama cecha zmierzona za pomocą metody 3D. Pozostałe cechy takie jak: powierzchnia ubytku, krawędź ubytku, R oraz d zmierzone przy użyciu metody 3D charakteryzują się istotnie statystycznie mniejszym błędem pomiaru.

Tabela 2. Porównanie wskaźników testu ICC dla błędu między badaczami dla metody 2D i 3D

	N	Błąd między badaczami 2D		Błąd między badaczami 3D		Test Fishera	
		ICC	<i>p</i>	ICC	<i>p</i>	<i>z</i>	<i>p</i>
Pow. koła	100	0,865	0,000	0,889	0,000	0,56	0,157
Pow. ubytku	63	0,532	0,066	0,820	0,000	3,12	< 0,001
AP szer.	100	0,925	0,000	0,821	0,000	2,21	< 0,001
SI wys.	100	0,913	0,000	0,915	0,000	0,13	0,327
Krawędź ubytku	63	0,523	0,063	0,811	0,000	3,10	< 0,001
R	100	0,620	0,000	0,831	0,000	3,14	< 0,001
d	100	0,720	0,000	0,833	0,000	2,01	< 0,001

Objaśnienia: pow. koła - powierzchnia koła, pow. ubytku - powierzchnia ubytku, AP szer. - szerokość *anterior-posterior*, SI wys. - wysokość *superior-inferior*

N – liczebność grupy, ICC – wartość wskaźnika testu ICC, *z* – wynik testu Fishera, *p* – wartość testu Fishera (*p* < 0,05), pogrubienia oznaczają istotnie statystycznie wskaźniki testów ICC i Fishera

1.3.2. Porównanie wewnętrznego błędu badacza dla metody 2D i 3D

Tabela 3 przedstawia wskaźniki wewnętrznego błędu badacza pierwszego (chirurg, ortopeda) obliczonego dla pomiarów wykonywanych dwoma metodami. Współczynniki ICC zostały obliczone na podstawie 30 powtórnie zmierzonych panewek łopatki. W przypadku metody 2D następujące pomiary: powierzchnia koła (ICC = 0,908), powierzchnia ubytku (ICC = 0,846), krawędź ubytku (ICC = 0,878) oraz d (ICC = 0,933) charakteryzują się bardzo dobrą powtarzalnością. Pozostałe cechy przyjmują wartości dobre (szerokość *anterior-posterior*: ICC = 0,801, wysokość *superior-inferior*: ICC = 0,722, R: ICC = 0,798). W przypadku metody 3D, wszystkie cechy zostały zmierzone z bardzo dobrą powtarzalnością (wartości ICC przyjęły wartości większe od 0,810, patrz tab. 3).

Test Fishera wykazał, że w przypadku dwóch cech (powierzchnia ubytku i d) powtarzalność pomiarów wykonanych za pomocą metody 2D i 3D jest na takim samym poziomie. Pozostałe pomiary charakteryzują się istotnie statystycznie większą powtarzalnością dla metody 3D niż dla metody 2D (patrz tab. 3).

Tabela 3. Porównanie wskaźników testu ICC dla wewnętrznego błędu badacza pierwszego dla metody 2D i 3D

	N	Błąd wewnętrzny 2D		Błąd wewnętrzny 3D		Test Fishera	
		ICC	<i>p</i>	ICC	<i>p</i>	<i>z</i>	<i>p</i>
Pow. koła	30	0,908	0,000	0,962	0,000	3,18	<0,001
Pow. ubytku	23	0,846	0,000	0,835	0,000	0,26	0,397
AP szer.	30	0,801	0,000	0,962	0,000	3,20	<0,001
SI wys.	30	0,722	0,001	0,977	0,000	3,70	<0,001
Krawędź ubytku	23	0,878	0,000	0,963	0,000	2,27	0,004
R	30	0,798	0,006	0,930	0,000	1,79	0,004
d	30	0,933	0,000	0,965	0,000	1,05	0,147

Objaśnienia: pow. koła - powierzchnia koła, pow. ubytku - powierzchnia ubytku, AP szer. - szerokość *anterior-posterior*, SI wys. - wysokość *superior-inferior*

N – liczebność grupy, ICC – wartość wskaźnika testu ICC, *z* – wynik testu Fishera, *p* – wartość testu Fishera ($p < 0,05$), pogrubienia oznaczają istotnie statystycznie wskaźniki testów ICC i Fishera

W tabeli 4 zostały umieszczone wartości testu ICC i Fishera dla błędu wewnętrznego drugiego badacza (doświadczonego w kwestii obsługi programów graficznych). W przypadku wyników testu ICC dla metody 2D, cztery pomiary charakteryzują się bardzo dobrą powtarzalnością (powierzchnia koła: ICC = 0,960, powierzchnia ubytku: ICC = 0,920, szerokość *anterior-posterior*: ICC = 0,941, wysokość *superior-inferior*: ICC = 0,952) a pozostałe trzy dobrą rzetelnością (krawędź ubytku: ICC = 0,748, R: ICC = 0,704, d: ICC = 0,749). Poziomy błędu wewnętrznego drugiego badacza obliczonego dla metody 3D są podobne do współczynników otrzymanych przez pierwszego badacza. Wszystkie pomiary panewki łopatki wykonane za pomocą rekonstrukcji 3D przyjmują wartości bardzo dobre (wartość współczynnika ICC powyżej 0,810, patrz tab. 4).

Test Fishera wykazał, że metoda 3D charakteryzuje się istotnie statystycznie większą rzetelnością wykonywanych pomiarów (wyższymi wartościami testu ICC) niż metoda 2D dla następujących pomiarów panewki łopatki: szerokość *anterior-posterior*, wysokość *superior-inferior*, krawędź ubytku, R oraz d. Pozostałe dwie cechy (powierzchnia koła oraz powierzchnia ubytku) przyjmują takie same wartości rzetelności dla metody 2D jak i 3D.

Tabela 4. Porównanie wskaźników testu ICC dla wewnętrznego błędu badacza drugiego dla metody 2D i 3D

	N	Błąd wewnętrzny 2D		Błąd wewnętrzny 3D		Test Fishera	
		ICC	<i>p</i>	ICC	<i>p</i>	<i>z</i>	<i>p</i>
Pow. koła	30	0,960	0,000	0,983	0,000	1,37	0,085
Pow. ubytku	23	0,920	0,000	0,962	0,000	1,21	0,113
AP szer.	30	0,941	0,000	0,997	0,000	3,90	<0,001
SI wys.	30	0,952	0,000	0,978	0,000	1,42	0,048
Krawędź ubytku	23	0,748	0,002	0,932	0,000	2,23	<0,001
R	30	0,704	0,001	0,932	0,000	2,52	<0,001
d	30	0,749	0,000	0,936	0,000	2,32	<0,001

Objaśnienia: pow. koła - powierzchnia koła, pow. ubytku - powierzchnia ubytku, AP szer. - szerokość *anterior-posterior*, SI wys. - wysokość *superior-inferior*

N – liczebność grupy, ICC – wartość wskaźnika testu ICC, *z* – wynik testu Fishera, *p* – wartość testu Fishera ($p < 0,05$), pogrubienia oznaczają istotnie statystycznie wskaźniki testów ICC i Fishera

1.4. Dyskusja

W związku z tym, że rekonstrukcje 3D kości wykonywane w oparciu o tomogramy komputerowe są coraz częściej wykorzystywane w badaniach klinicznych (najczęściej stosowane do udoskonalenia oceny stanu zdrowia pacjenta, np. Hoenecke i in., 2010; Budge i in., 2011; Hirschmann i in., 2011; Moineau i in., 2012; Iannotti i in., 2013; Parr i in., 2013; Beuckelaers i in., 2014; Lalone i in., 2015), głównym celem zaproponowanych badań była analiza błędów pomiarów wykonanych dwiema metodami (2D i 3D), służącymi do oceny stopnia i rodzaju ubytku panewki łopatki. Do testowania rzetelności poszczególnych rodzajów obrazowania wykorzystano współczynnik korelacji wewnątrzklasowej wyliczony dla wyników uzyskanych przez dwóch badaczy.

W przypadku metody 3D, wszystkie wartości ICC dla błędów pomiędzy badaczami uzyskały wartości bardzo dobre ($ICC > 0,810$). Z kolei współczynniki powtarzalności pomiarów między dwoma badaczami dla metody 2D, charakteryzują się niższymi wartościami z wyjątkiem pomiaru szerokość *anterior-posterior*, który uzyskał większe wartości dla metody 2D niż 3D (różnica ta jest istotna statystycznie). Tylko trzy pomiary panewki łopatki (powierzchnia koła, szerokość *anterior-posterior*, wysokość *superior-inferior*) uzyskały wartości powyżej 0,810. Wszystkie pozostałe współczynniki ICC dla metody 2D zostały zaklasyfikowane do dobrej (dla cechy: R i d) lub średniej kategorii (dla cechy: powierzchnia ubytku i krawędź ubytku). Należy jednak podkreślić, że istotnie statystycznie niższe wartości dla powtarzalności pomiarów między badaczami wykonanych metodą 2D niż 3D, stwierdzono dla następujących cech panewki: powierzchnia ubytku, krawędź ubytku, R i d.

W przypadku metody 2D, wartości dla wewnętrznego błędu badaczy (pierwszego i drugiego) były nieco lepsze, niż wartości dla błędu między badaczami uzyskanego dla tej samej metody (2D). U obu badaczy, cztery współczynniki ICC charakteryzują się bardzo dobrą powtarzalnością, z kolei dwa dobrą (patrz tab. 3 i 4). Nieco lepsze wyniki otrzymano dla wewnętrznego błędu badacza w przypadku metody 3D (u obu badaczy wszystkie wartości ICC charakteryzują się bardzo dobrą powtarzalnością), aczkolwiek nie wszystkie wartości były istotnie statystycznie wyższe niż dla metody 2D (patrz tab. 3 i 4).

Griffith wraz ze współpracownikami (2003) na podstawie trzech pomiarów (szerokość *anterior-posterior*, wysokość *superior-inferior* oraz krawędź ubytku) stworzyli metodę oceny stopnia ubytku panewki łopatki u pacjentów z przednią niestabilnością stawu ramiennego. Według autorów, pomiar szerokościowy oraz stosunek szerokości do wysokości panewki są najlepszymi parametrami do oceny ilościowej ubytku. Wyniki mojej pracy doktorskiej wskazują, że mierzenie tego typu cech na podstawie wizualizacji 2D jest obarczone dużym błędem pomiaru (patrz tab. 2, 3 i 4). Jest to prawdopodobnie spowodowane trudnością w lokalizacji granicy powierzchni stawowej. Wyjątek stanowi pomiar szerokość *anterior-posterior* dla którego większą powtarzalność uzyskano za pomocą metody 2D niż 3D (patrz tab. 2). Może być to spowodowane tym, iż na rekonstrukcji 3D przednia i tylna granica powierzchni stawowej „zlewa” się z bocznymi krawędziami panewki, które są często wypukłe. Stąd też, może być problematyczne wyznaczenie najbardziej wysuniętego do przodu i najbardziej wysuniętego do tyłu punktu na powierzchni stawowej łopatki.

Kolejna metoda służąca do oceny brakującej powierzchni stawowej panewki łopatki powstała w oparciu o pomiary wykonane w przestrzeni 2D dla tomogramów 2D i 3D (Sugaya i in., 2003). W badaniu wykorzystano dwa następujące pomiary: powierzchnia koła oraz powierzchnia ubytku. Te same pomiary zostały wykorzystane w badaniach Magarelli i jego zespołu (2009), w których celem było obliczenie błędu pomiaru przedniego ubytku panewki. Podobnie jak w badaniach Sugaya i innych (2003) pomiary zostały wykonane w przestrzeni 2D w oparciu o obrazy otrzymane z tomogramów komputerowych. Magarelli i inni (2009) wykazali, że ocena na podstawie obrazów 2D charakteryzuje się bardzo dobrą powtarzalnością wykonywanych pomiarów. Z kolei Sugaya i inni (2003) stwierdzili, że obrazy 2D są nieodpowiednie do oceny ubytku panewki, ponieważ nie przedstawiają w wystarczającym stopniu granicy powierzchni stawowej. Wniosek ten, nie został potwierdzony za pomocą testów analizujących powtarzalność wykonywanych pomiarów, aczkolwiek otrzymane wyniki w mojej pracy doktorskiej potwierdzają słuszność założenia Sugaya i innych (2003).

Podobne badanie przeprowadzone przez Huijsmans i współpracowników (2007) wykazało, że pomiary panewki (powierzchnia koła i powierzchnia ubytku) wykonane za pomocą tomogramów komputerowych 3D i obrazów 2D otrzymanych z rezonansu magnetycznego charakteryzują się taką samą powtarzalnością. Wyniki te są rozbieżne do otrzymanych rezultatów w zaprezentowanej pracy. Wynika to prawdopodobnie z tego, iż w pracy Huijsmans i innych (2007) autorzy wykonywali pomiary w przestrzeni 2D na rekonstrukcjach 3D z tomogramu komputerowego. Pacjenci z różnym stopniem niestabilności stawu ramiennego charakteryzują się odmienną płytkością panewki łopatki (Graichen i in., 1999; Couteau i in., 2000). Dodatkowo, nawet najmniejsza zmiana w orientacji wykonanego zdjęcia na rekonstrukcji 3D wpływa na otrzymanie rozbieżnych pomiarów liniowych (Zelditch i in., 2004). Dlatego też, pomiary wykonane w przestrzeni 2D mogą się różnić od pomiarów wykonywanych w przestrzeni 3D na tym samym obiekcie.

Z kolei metoda Barchilon i innych (2008) wykorzystwała następujące pomiary: R, d oraz krawędź ubytku, otrzymane na podstawie tomogramów komputerowych 2D i 3D. Autorzy wykazali, że cechy zmierzone na podstawie rekonstrukcji 3D, połączone z pomiarami głowy kości ramiennej są najlepszymi wskaźnikami stopnia ubytku panewki. W badaniach tych (Barchilon i in., 2008) nie zostały wyliczone wskaźniki powtarzalności, aczkolwiek wyniki uzyskane w mojej pracy doktorskiej potwierdzają, że rekonstrukcje 3D w lepszy sposób odzwierciedlają anatomię łopatki i pozwalają na wykonanie pomiarów o dużej powtarzalności.

Przedstawiona metoda 3D pomiaru panewki łopatki ma dwie słabe strony. Mierzenie rekonstrukcji 3D kości jest bardziej czasochłonne niż wykonywanie tych samych pomiarów na obrazie 2D otrzymanym z tomogramu komputerowego. Związane jest to z potrzebą wykonania rekonstrukcji i następnie oczyszczenia jej z innych kości, które mogą zasłaniać badany obiekt. Co więcej, szczegółowość zrekonstruowanego obiektu jest ściśle skorelowana z ustawieniami protokołu skanowania - zwłaszcza z grubością warstwy (Ford i Decker, 2015). Według Ford'a i Decker'a (2015) w przypadku wykonywania tomografii kości o zbliżonej wielkości do łopatki, największa dopuszczalna grubość warstwy powinna wynosić 1,250 mm. W przeprowadzonym przeze mnie badaniu, warstwa ta wynosiła 0,625 mm. Z drugiej strony, mierzenie obiektu na podstawie tomogramów 2D jest obarczone dużym błędem, wynikającym z konieczności ustawienia panewki w trzech płaszczyznach (strzałkowej, czołowej oraz poprzecznej), który z kolei powoduje otrzymywanie odmiennych pomiarów (Zelditch i in., 2004). Dlatego też, ocena stopnia ubytku panewki łopatki za pomocą metody 2D może być problematyczna w przypadku pacjentów z dużą retrowersją powierzchni stawowej (Churchill, 2011; Beuckelaers i in., 2014).

Otrzymane wyniki wskazują, że pomiary panewki łopatki wykonane w przestrzeni 3D charakteryzują się większą powtarzalnością, niż te same cechy zmierzone w oparciu o obraz 2D z tomogramów komputerowych. W związku z tym, istnieje potrzeba stosowania rekonstrukcji 3D kości w badaniach klinicznych, w celu wykonania dokładniejszej oceny stopnia i rodzaju ubytku powierzchni stawowej panewki oraz wyboru odpowiedniej metody leczenia lub techniki operacyjnej. Tym bardziej, że wysoka powtarzalność pomiarów występowała zarówno u chirurga, ortopedy jak i doświadczonego badacza (pod kątem znajomości programów graficznych)⁸.

⁸ Na podstawie rozdziału 1 powstał artykuł wysłany do recenzji.

Tytuł artykułu: Reliability of measurements performed on 2-Dimensional and 3-Dimensional Computed Tomography in glenoid assessment for instability.

Czasopismo: International Orthopaedics.

Autorzy: Anna Maria Kubicka – zaprojektowanie badań, wykonanie pomiarów, pisanie manuskryptu, analiza statystyczna, interpretacja wyników.

Jakub Stefaniak – wykonanie pomiarów, korekta manuskryptu.

Przemysław Lubiowski – zaprojektowanie badań, pomoc w napisaniu wniosku do komisji bioetycznej, korekta manuskryptu.

Jan Długosz – dostarczenie materiału do badań.

Marcin Dzianach – dostarczenie materiału do badań.

Marcin Redman – dostarczenie materiału do badań.

Janusz Piontek – pomoc w interpretacji danych, korekta manuskryptu.

Leszek Romanowski – pomoc w napisaniu wniosku do komisji bioetycznej, korekta manuskryptu.

2. Staw ramienny w populacji średniowiecznej i współczesnej

2.1. Wstęp

2.1.1. Dymorfizm płciowy wielkości i kształtu stawu ramiennego

Występowanie różnic płciowych w postaci odmiennego kształtu i/lub wielkości cech ma podłoże ewolucyjne i jest związane między innymi z odmienną funkcją reprodukcyjną kobiet i mężczyzn (Frayer i Wolpoff, 1985). Co więcej, na kształtowanie się różnic płciowych w szkielecie ludzkim mają również wpływ następujące czynniki: społeczno-kulturowe (Holden i Mace, 1999), działanie układu hormonalnego (Badyaev, 2002), wiek osobnika (Kotani i in., 1994), genotyp (Maklakov i Lummaa, 2013) oraz liczba porodów u kobiet (Betti, 2014). Obecność oraz stopień wyrażenia dymorfizmu płciowego jest ważnym elementem zróżnicowania wewnątrzgatunkowego i może odzwierciedlać działanie negatywnych czynników środowiskowych (Piontek, 2003; Kanazawa i Novak, 2005), stopień adaptacji do środowiska (Betti, 2014) lub charakter pracy w badanej populacji (Borgognini Tarli i Repetto, 1986). Dodatkowo, stopień wyrażenia dymorfizmu płciowego na szkielecie ludzkim jest ważny w kontekście badań antropologicznych i medycyny sądowej, gdyż umożliwia ocenę płci analizowanego materiału kostnego za pomocą cech jakościowych bądź ilościowych (np. Işcan i in., 1998; Papaioannou i in., 2012; Kubicka i Piontek, 2016).

Dotychczasowe badania pokazały wyraźny dymorfizm płciowy stawu ramiennego (Dabbs, 2009; Charisi i in., 2011; Papaioannou i in., 2012). Sprawdzalność metod służących do oceny płci na podstawie pomiarów kości ramiennej czy łopatki waha się od 86% do 98% (Işcan i in., 1998; Murphy, 2005; Dabbs i Moore-Jansen, 2010; Papaioannou i in., 2012). W podobnych badaniach wykorzystywano również morfometrię geometryczną za pomocą, której Scholtz i współpracownicy (2010) stworzyli typowy dla mężczyzn i kobiet kształt obrysu całej łopatki. Bardzo wysoka sprawdzalność metod służących do oceny płci pozwala stwierdzić, że staw ramienny charakteryzuje się wyraźnym dymorfizmem płciowym cech metrycznych i opisowych.

Wielkość oraz kształt stawu ramiennego (u gatunków charakteryzujących się dwunożną lokomocją) ze względu na swoją budowę może odzwierciedlać nasilenie oraz rodzaj wykonywanych aktywności fizycznych. Jest to spowodowane tym, że ruchy w obręczy górnej angażują jednocześnie łopatkę, obojczyk oraz kość ramienną w 4 stawach: ramiennym, mostkowo-obojczykowym, barkowo-obojczykowym i łopatkowo-piersiowym (Maurel i Thalmann, 2000; Borsa i in., 2008; Roren i in., 2015). Obojczyk łączy kończynę górną ze szkieletem osiowym oraz minimalizuje ruchy łopatki (rotacje i przemieszczanie). Dlatego też, jego długość oraz wielkość trzonu odzwierciedla siły działające między klatką piersiową a stawem ramiennym (Roren i in., 2015; Squyres i DeLeon, 2015). Z kolei, na kształt panewki łopatki ma wpływ nacisk głowy kości ramiennej oraz zdecydowana większość mięśni, które są odpowiedzialne za ruchy w stawie ramiennym (Maurel i Thalmann, 2000).

Duży wpływ na dymorfizm płciowy kości ramiennej oraz łopatki ma wykonywanie odmiennych zadań przez kobiety i mężczyzn. Tłumaczy się to tym, że kości mogą zmieniać swój kształt oraz wymiary w wyniku działania na nie mechanicznego obciążenia (np. wzmożonej aktywności mięśni Ruff i in., 2006).

Podział pracy w dawnych społecznościach jest jednym z najważniejszych elementów organizacji społecznej w populacjach łowiecko-zbierackich i rolniczych. Ich szczegółowa analiza pozwala odtworzyć poszczególne role i wkład ekonomiczny każdej z płci do grupy (Ogilvie i Hilton, 2011). W okresie średniowiecza, kobiety zazwyczaj zajmowały się aktywnościami związanymi z domostwem. Do ich najważniejszych zadań należało tkanie, przędzenie, mielenie zboża, noszenie wody oraz pomoc w żniwach i hodowli zwierząt. Poza tym zajmowały się także produkcją ceramiki, choć było to zajęcie wykonywane przez obie płcie. Mężczyźni zazwyczaj byli związani z czynnościami wymagającymi dużej siły fizycznej takich jak: wznoszenie osad, orka, żniwa, rąbanie drewna, łowienie ryb lub polowanie (patrz ryc. 4, Havelková i in., 2013).

Zmechanizowana gospodarka wpływa na spadek aktywności fizycznej wśród dzisiejszych populacji (Brownson i in., 2005) co mogłoby przypuszczalnie spowodować mniejsze zróżnicowanie cech szkieletu między kobietami a mężczyznami. Jednakże według Wolańskiego (2008), populacja współczesna charakteryzuje się wyraźnym dymorfizmem płciowym, który częściowo wynika z bardzo dobrych warunków życia. Społeczeństwa zindustrializowane zazwyczaj charakteryzują się wyższym stanem higieny, zaawansowaną opieką medyczną oraz brakiem niedożywienia. Z kolei, badania Krenz-Niedbały (2009) wykazały, że populacja z Ostrowa Lednickiego była co prawda lepiej przystosowana do środowiska niż inne średniowieczne grupy z terenów Polski (np. populacja z Gruczna), ale

wypadała gorzej niż pozostałe grupy z Europy (z tego samego okresu). Inne badania (Krenz-Niedbała, 2015) opierające się na analizie szkorbutu u dzieci, dostarczyły informacji o tym, że w średniowiecznym Ostrowie Lednickim dieta była uboga w surowe produkty roślinne i witaminę C.

Kobiety są bardziej odporne na wpływ stresorów (np. niedożywienie czy intensywna praca) niż mężczyźni (Piontek, 2003). Jest to związane z tym, że mężczyźni trudniej niż kobiety utrzymują równowagę między organizmem a działaniem negatywnych bodźców (Wolański, 2012). W populacjach, u których stwierdzono niedożywienie lub występowanie innego niekorzystnego czynnika środowiskowego na rozwój, zaobserwowano zmniejszony dymorfizm płciowy w wysokości ciała (Gray i Wolfe, 1980). W związku z powyższym, mimo iż w populacji z Ostrowa Lednickiego kobiety i mężczyźni wykonywali odmienne aktywności fizyczne angażujące kończynę górną, ze względu na działanie niekorzystnych czynników środowiskowych, dymorfizm płciowy stawu ramiennego mógł być mniejszy niż w populacji współczesnej.

Rozwój technik obrazowania oraz metod rekonstrukcji 3D spowodował, że za pomocą morfometrii geometrycznej zaczęto testować coraz bardziej skomplikowane hipotezy biologiczne (np. Harcourt-Smith i in., 2008; Bigoni i in., 2010; Frelat i in., 2012; Bejdová i in., 2013; Velemínská i in., 2013; Kubicka i in., 2015). Morfometria geometryczna to metoda, która umożliwia analizę i wizualizację różnic w kształcie za pomocą porównywania współrzędnych punktów rozmieszczonych na obiekcie (Zelditch i in., 2004; Mitteroecker i Gunz, 2009). Dodatkowo, udoskonalenie równomiernego rozmieszczania punktów umożliwiło analizowanie nie tylko położenia punktów homologicznych na danym obszarze, ale także testowanie kształtu krawędzi i powierzchni obiektów (Weber i Bookstein, 2011; Weber i in., 2011).

Do najważniejszych celów tej części pracy należały: 1) analiza dymorfizmu płciowego cech metrycznych obręczy kończyny górnej (obojczyka, łopatki i kości ramiennej) oraz 2) porównanie kształtów panewki łopatki między kobietami i mężczyznami z populacji średniowiecznej i współczesnej.

Biorąc pod uwagę powyższe informacje, postanowiono sprawdzić dwie następujące hipotezy: 1) kształt panewki łopatki charakteryzuje się dymorfizmem płciowym w wyniku działania odmiennych mechanicznych obciążeń na stawy ramienne kobiet i mężczyzn oraz 2) populacja z Ostrowa Lednickiego charakteryzuje się mniejszym dymorfizmem płciowym stawu ramiennego niż grupa współczesna ze względu na gorsze warunki życia w średniowieczu.

2.1.2. Asymetria kierunkowa stawu ramiennego

W badaniach biologicznych wyróżniane są trzy rodzaje asymetrii: kierunkowa, fluktuacyjna (nazywana również fluktuująca) oraz antysymetria (Van Valen, 1962). Asymetria fluktuacyjna jest wyznacznikiem niestabilności w trakcie rozwoju. Jej wysoki poziom u ludzi wskazuje na działanie niekorzystnych czynników środowiskowych (np. niskiego statusu socjoekonomicznego, chorób genetycznych negatywnie wpływających na kształtowanie się osobnika, czy dużej wosobności) w trakcie rozwoju organizmu (Palmer i Strobeck, 1992). O antysymetrii mówimy wówczas, kiedy w badanej populacji jedna część osobników charakteryzuje się większą wartością pomiaru po jednej stronie ciała, a z kolei druga posiada większe wartości pomiarów po przeciwnej stronie (Palmer i Strobeck, 1992). Ostatnim wskaźnikiem asymetrii występującym w przyrodzie jest asymetria kierunkowa. Są to niepatologiczne różnice w wielkości oraz kształcie między stronami ciała, które mogą być wynikiem lateralizacji zachowań (Özener, 2007, 2010; Auerbach i Raxter, 2008).

Do analizy populacji szkieletowych bardzo często wykorzystuje się pomiary osteometryczne kości kończyn górnych i dolnych, aczkolwiek spotykane są prace analizujące asymetrię kierunkową elementów szkieletu osiowego (np. kości miednicznej). Jednak badania poświęcone nieparzystym elementom szkieletu są dość nieliczne ze względu na problem w interpretacji biomechanicznych funkcji tych kości (Mays i in., 1999; Mays, 2002; Plochocki, 2016). Dotychczasowe prace wskazują, że asymetria jest wyrażona silniej w kończynach górnych niż dolnych (Auerbach i Ruff, 2006; Borsa i in., 2008; Kujanová i in., 2008; Abdel Fatah i in., 2012; Plochocki, 2016) i u osobników, które w okresie dorastania były zaangażowane w ciężką pracę fizyczną (Özener, 2010). Dlatego też zróżnicowanie poziomu asymetrii dwustronnej może być wykorzystywane do porównań międzypopulacyjnych (Ruff i Jones, 1981; Auerbach i Ruff, 2006; Kujanová i in., 2008; Weiss, 2009) lub w celu rekonstrukcji rodzaju wykonywanych prac przez populacje pradziejowe (Özener, 2010; Waidhofer i Kirchengast, 2015). W biologii ewolucyjnej również skupia się dużą uwagę na analizach asymetrii kierunkowej kształtu przekrojów poprzecznych kości kończyny górnej, z tą różnicą, że bada się je w kontekście genetycznej praworęczności u osobników z rodzaju *Homo* (Trinkaus i in., 1994; Steele i Mays, 1995; Kubicka i in., 2016a).

Asymetria powierzchni panewki jest pozytywnie skorelowana z siłą ramion. Dzieje się tak ze względu na dużą ruchomość głowy kości ramiennej w stawie (Gielo-Perczak i Matz, 2007). Oznacza to, że im większe obciążenie mechaniczne działa na kończynę górną tym charakteryzuje się ona większą asymetrią w stawie ramiennym (zwłaszcza w łopatce). Warto

jednak zaznaczyć, że według Auerbach i Raxter (2008) korelacja między poziomem asymetrii obojczyka, a kością ramienną jest bardzo niska lub nieistotna statystycznie. Prawdopodobnie oznacza to, że różne elementy szkieletu reagują w odmienny sposób na działanie tego samego obciążenia mechanicznego (którego efektem jest inny poziom asymetrii). Tymczasem wiele dotychczasowych badań, które miały na celu porównać wielkość dwustronnej asymetrii między różnymi ludzkimi populacjami (np. między łowcami i zbieraczami, rolnikami czy zindustrializowanymi grupami) analizowały wyłącznie jedną kość (np. Henneberg, 1974; Auerbach i Ruff, 2006; Weiss, 2009; Abdel Fatah i in., 2012; Shi i in., 2013). Zdecydowanie mniej jest prac, w których skupiono się na kilku elementach kończyny górnej (np. Kujanová i in., 2008), ale żadna z nich nie uwzględniła pomiarów panewki łopatki. Wyjątek stanowią dwie najnowsze prace wykorzystujące morfometrię geometryczną do analizy kształtu panewki łopatki (Di Vincenzo i in., 2012; Shi i in., 2013). Di Vincenzo wraz ze współpracownikami (2012) wykazał, że na kształt obwodu panewki łopatki u homininów (np. Neandertalczyków czy anatomicznie współczesnego człowieka) ma większy wpływ środowisko zewnętrzne niż podłoże genetyczne. Z kolei Shi i inni (2013) twierdzą, że osobnicy z populacji współczesnej charakteryzują się idealną symetrią w wielkości i kształcie panewki łopatki. Należy jednak podkreślić, że powyżsi autorzy nie uwzględnili w swoich badaniach analizy całej powierzchni stawowej (jedynie jej obrys), co mogło nie wykazać obecności wszystkich zależności w budowie łopatki. Zwłaszcza, że inne badania opierające się na cechach metrycznych wykazały duże zróżnicowanie w wielkości i kształcie panewki łopatki w populacjach ludzkich (np. Prescher i Klümpen, 1997; Papaioannou i in., 2012). Biorąc pod uwagę fakt, że powierzchnia stawowa łopatki jest narażona na silne oddziaływanie obciążeń mechanicznych, w tego typu badaniach powinny być analizowane wszystkie elementy stawu ramiennego, ze szczególnym uwzględnieniem panewki łopatki.

Ponadto, cechy metryczne w badaniach asymetrii kierunkowej nie dostarczają kompletnych informacji o zależnościach pomiędzy kształtem i zróżnicowaniu badanego obiektu. Dokładne porównanie ze sobą poziomu asymetrii kierunkowej obręczy kończyny górnej dwóch populacji pozwoliłoby zinterpretować, jaki wpływ na staw ramienny mają różne typy gospodarki (np. rolnicza i przemysłowa). Dodatkowo, wiedza o poziomie zróżnicowania kształtu panewki między stronami ciała w populacji współczesnej, może również okazać się pomocna w badaniach klinicznych nad rekonstrukcją stawu ramiennego.

Do głównych celów tej części badań należało: 1) analiza asymetrii kierunkowej kości ramiennej, obojczyka i panewki oraz 2) porównanie kształtu powierzchni stawowej łopatki między lewą a prawą stroną ciała. Oba powyższe cele zostały wykonane dla dwóch populacji: średniowiecznej i współczesnej.

Postanowiono przetestować dwie następującą hipotezy: 1) gospodarka rolna w okresie średniowiecza wiąże się z działaniem dużych mechanicznych obciążeń na jedną ze stron ciała, dlatego też populacja z Ostrowa Lednickiego charakteryzuje się większym wskaźnikiem asymetrii kierunkowej stawu ramiennego niż grupa współczesna, 2) kształt powierzchni panewki łopatki różni się istotnie statystycznie między stronami ciała w obu grupach w wyniku występowania zlateralizowanych ruchów w trakcie życia. W celu lepszego zobrazowania asymetrii kierunkowej, oprócz tradycyjnej morfometrii liniowej zastosowano także morfometrię geometryczną.

2.1.3. Wyznaczniki stresu mięśniowo-szkieletowego

Wyznaczniki stresu mięśniowo-szkieletowego (ang. *musculoskeletal stress markers* lub *entheses*, patrz dyskusja Jurmain i Villotte, 2010 lub Santos i in., 2011) są wykorzystywane do rekonstrukcji aktywności dawnych populacji (np. Myszka, 2007; Myszka i Piontek, 2011; Mountrakis i Manolis, 2015), a ostatnio także w medycynie sądowej do oceny stopnia otyłości osobnika, którego szczątki są analizowane (Godde i Taylor, 2011). Najczęściej wykorzystywanym sposobem oceny stopnia wykształcenia przyczepów mięśni i więzadeł jest metoda udoskonalona przez Hawkey i Merbsa (1995). Aczkolwiek, co raz więcej badań ocenia wyłącznie stopień powiększenia rzeźby przyczepów bez uwzględnienia innych form takich jak perforacja tkanki kostnej bądź wyrośla kostne, uznając je za zmiany patologiczne (Havelková i Villotte, 2007). Stopień wyrażenia wyznaczników stresu mięśniowo-szkieletowego zależy między innymi od częstotliwości powtórzeń i długości trwania wykonywanych ruchów oraz od wieku i płci (Grauer, 2012). Ponadto, wyznaczniki stresu mięśniowo-szkieletowego używane są do analizy wewnątrz- i międzypopulacyjnego zróżnicowania, odtwarzania zachowań społecznych lub interpretacji podziału pracy ze względu na płeć (Grauer, 2012; Djukic i in., 2014; Santana-Cabrera i in., 2015).

Najważniejszym założeniem powyższych prac było to, że przyczepy mięśni i więzadeł zmieniają swoją morfologię oraz strukturę w wyniku działania następujących czynników mechanicznych: wzmożonej aktywności fizycznej, zmiany wielkości i masy ciała oraz siły mięśni (Santana-Cabrera i in., 2015). Oznacza to, że wykonywanie określonej czynności

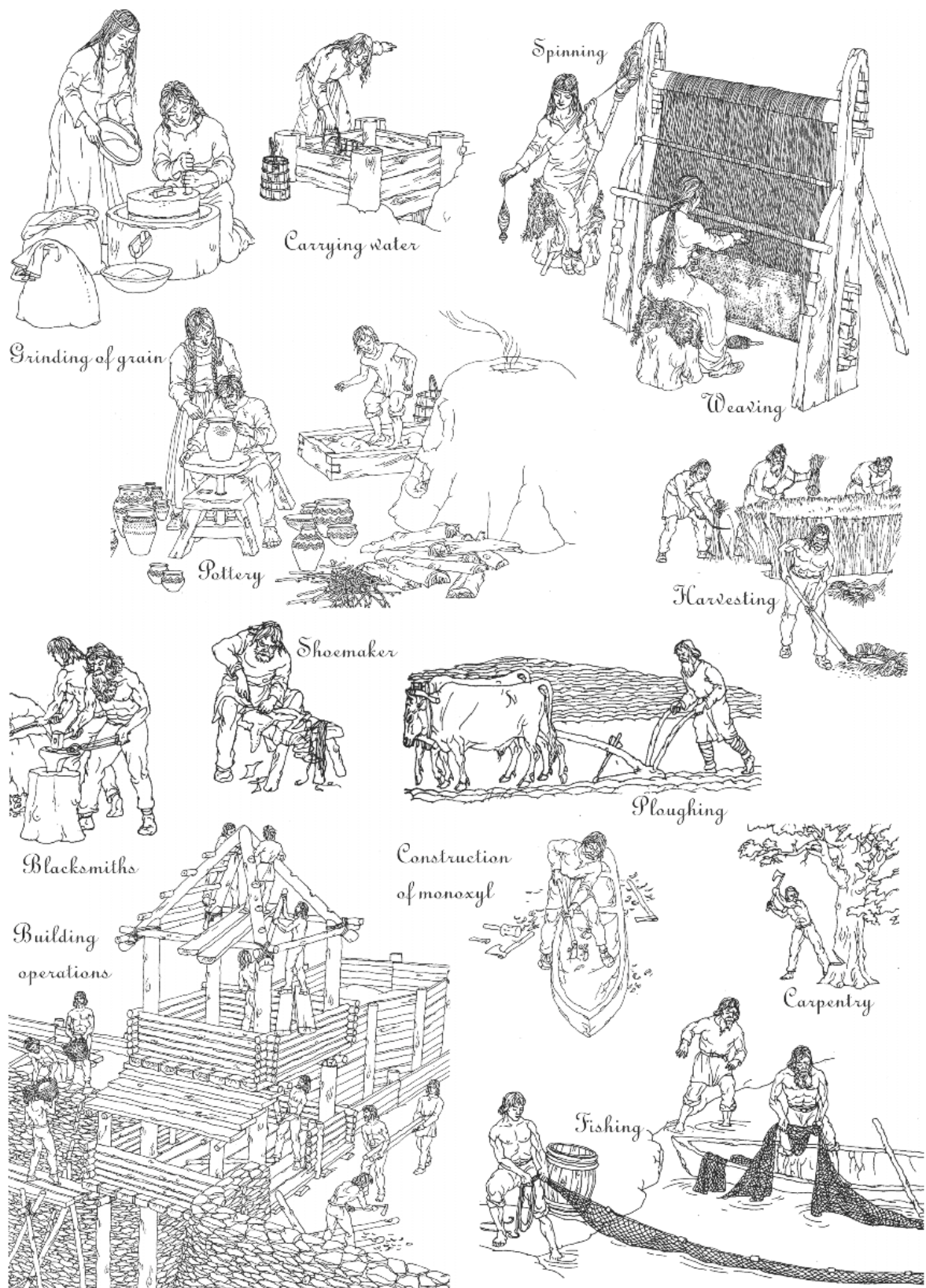
ruchowej bądź korzystanie z narzędzi powodujących mechaniczne obciążenia przez długi czas, może powodować zmiany morfologiczne w miejscach przyczepu mięśni lub/i więzadeł. Dzieje się tak, gdyż kość w wyniku działania siły, modeluje swój kształt w celu zapewnienia skutecznej reakcji na działający bodziec (Benjamin i in., 2009). Jednakże inni autorzy twierdzą, że związek między aktywnością fizyczną, a kształtowaniem się przyczepów jest słabo poznany (Grauer, 2012) lub nie ma ze sobą związku (Mariotti i in., 2007).

Najnowsze doniesienia wskazują na istnienie statystycznie pozytywnej korelacji pomiędzy stopniem wykształcenia wyznaczników stresu mięśniowo-szkieletowego, a obwodem trzonu kości długich i zrekonstruowaną masą ciała (Myszka i Piontek, 2011). Ponadto stwierdzono zależność między powiększoną rzeźbą przyczepów, a większą grubością warstwy korowej (Djukic i in., 2014) i większą odpornością kości długich na obciążenia osiowe kości ramiennej (Niinimäki, 2012). Co więcej, praca Niinimäki (2012) wskazuje na fakt, iż stopień wykształcenia przyczepów wpływa na zmianę właściwości przekroju poprzecznego nie tylko w jednym miejscu, ale powoduje także przemodelowanie w obrębie większego obszaru kości.

W zależności od kąta nachylenia kości ramiennej do łopatki, głowa powoduje ucisk na inną część powierzchni stawowej panewki. Wraz z podnoszeniem kończyny do góry, głowa kości ramiennej przesuwa swój nacisk od części dolnej do górnej powierzchni panewki (Soslowsky i in., 1992). Biorąc pod uwagę powyższą informację oraz to, że wzmożona praca fizyczna może spowodować wykształcenie się wyznaczników stresu mięśniowo-szkieletowego, które z kolei mają wpływ na zmianę kształtu elementów kości istnieje ewentualność, że nasilenie i preferencja rodzajów ruchów kończyny górnej, mogą powodować zmianę kształtu powierzchni stawowej panewki.

Wnikliwa analiza literatury przedmiotu pozwoliła na określenie dwóch następujących celów w tych badaniach: 1) opis budowy kończyny górnej populacji średniowiecznej z Ostrowa Lednickiego w oparciu o wyznaczniki stresu mięśniowo-szkieletowego, 2) analiza zależności między stopniem wykształcenia wybranych przyczepów mięśniowych i więzadeł a kształtem powierzchni stawowej łopatki.

Postanowiono zatem przetestować następującą hipotezę: osobnicy z silniej rozwiniętymi wyznacznikami stresu mięśniowo-szkieletowego na kończynie górnej mają inny kształt panewki łopatki niż osobnicy ze słabo zaznaczonymi przyczepami.



Rycina 4. Graficzne przedstawienie podziału pracy ze względu na płeć w słowiańskich populacjach (Havelková i in., 2011, str. 500)

2.2. Materiał i metody

2.2.1. Populacja średniowieczna

Ostrów Lednicki jest to wyspa położona w obrębie jeziora Lednickiego, które znajduje się 40 km na wschód od Poznania (patrz ryc. 5). Obecnie wyspa jest częścią Muzeum Pierwszych Piastów na Lednicy. W 1932 roku na Ostrowie Lednickim rozpoczęto prace antropologiczno-archeologiczne pod kierownictwem profesora Godyckiego oraz profesora Wrzoska (Łastowiecki, 1989). W wyniku prowadzonych badań na cmentarzysku wczesnośredniowiecznym i średniowiecznym wydobyto ponad 2000 szkieletów o różnym stanie zachowania (Wrzesińska, 1994, 1998). Na podstawie danych pozyskanych w trakcie wykopalisk wyróżniono 7 poziomów osadniczych, które świadczą o tym, że początek osadnictwa rozpoczął się w VIII wieku a kres nastąpił na początku XIV wieku (Łastowiecki, 1989). Analizy budownictwa i materiałów historycznych pozwalają wyróżnić dwie główne fazy rozwoju średniowiecznego Ostrowa Lednickiego. Pierwsza z nich trwała od początku VIII wieku, aż do najazdu czeskiego księcia Brzetysława w 1038 roku, w wyniku którego zniszczona została cała osada. Jej odbudowa rozpoczęła się pod koniec XI wieku i to wtedy, aż do połowy XIV wieku przypadał drugi okres największego rozwoju średniowiecznej osady, nazwany fazą kasztelańską (Górecki i in., 1994).

W najwcześniejszych fazach osadnictwa, do obiektów mieszkalnych należały głównie jamy-ziemianki. Wraz z rozbudowaniem grodu wybudowano zespół pałacowy oraz niewielki kościół, a budownictwo mieszkalne zastąpiono domostwami ziemnymi i naziemnymi o ścianach drewnianych, uzupełnianych gliną i kamieniami (Górecki i in., 1994). Dodatkowo, badania podwodne dostarczyły dowodów na obecność mostu łączącego wyspę z brzegiem jeziora (Kola i Wilke, 1989).

W oparciu o badania archeologiczne ustalono, że gospodarka ludności z Ostrowa Lednickiego opierała się na rolnictwie oraz hodowaniu zwierząt (głównie kur, owiec czy świń, Iwaszczuk, 2014). Dietę uzupełniało łowiectwo (na dzikie ptaki i ssaki) oraz rybołówstwo (Makowiecki, 2001; Makowiecki i in., 2014). Świadczyć o tym mogą wydobyte w trakcie badań podwodnych czerpaki czy groty i włócznie (Kola i Wilke, 1989).

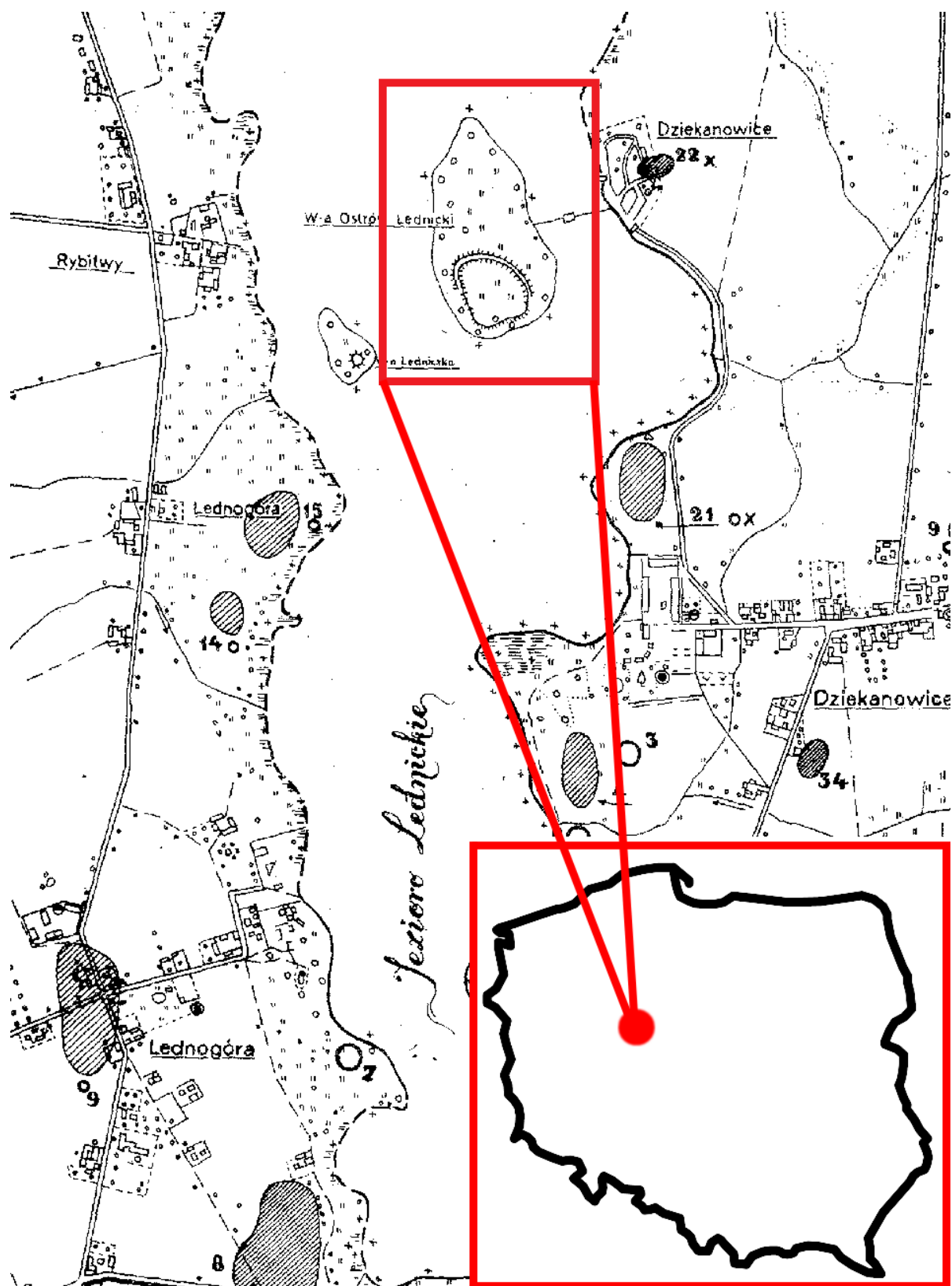
Rozwój osadnictwa miał duży wpływ na środowisko otaczające jezioro Lednickie. Dowodem tego są wyniki badań paleobotanicznych, które wskazują na wyraźny spadek obecności pyłków drzew (w tym grabów i sosen) wraz ze wzrostem udziału zielnych roślin użytkowych (np. grochu zwyczajnego, pszenicy, prosa czy żyta, Tobolski, 1989). Z pozyskanego drewna wyrabiano np. talerze, miski, trzonki siekier czy laski (Stępnik, 1996).

Poza tym, ludność zajmowała się wytwórstwem rzemieślniczym oraz chałupniczym, o czym świadczą pozostałości mat i koszyków uplecionych z wikliny (Wrzesiński, 1994). Liczne zabytki odkryte w pobliżu mostu mogą także sugerować o obecności w pobliżu Ostrowa Lednickiego lokalnego miejsca handlu (Tabaka, 2005).

W ponad połowie grobów odkryto przedmioty takie jak noże, kabłączki grobowe, monety, paciorki oraz naczynia grobowe, w których umieszczono zwierzęce części miękkie (Bulska i in., 1996; Wrzesińska i Wrzesiński, 1998). Sugerować to może, że analizowana grupa charakteryzowała się podobnym poziomem statusu społecznego i majątkowego. Choć należy podkreślić, że w ostatnich fazach aktywności osady, pełniła ona funkcję monarszego ośrodka rezydencjonalnego (Górecki i in., 1994).

Analizowany materiał składał się ze 100 szkieletów należących do osobników powyżej 20 roku życia (50 kobiet i 50 mężczyzn) z zachowaną łopatką, kością ramienną oraz obojczykiem po obu stronach ciała. Wszystkie badane szczątki pochodzą z wczesnośredniowiecznego i średniowiecznego cmentarzyska umiejscowionego na Ostrowie Lednickim.

Ocenę płci na szkieletach wykonano na podstawie zróżnicowania cech morfologicznych kości miednicznej oraz czaszki. Z kolei, wiek oszacowano w oparciu o stopień obliteracji szwów czaszkowych oraz zmian na powierzchni uchwatej kości krzyżowej i spojenia łonowego. Powyższą analizę wykonano w oparciu o standardy Buikstra i Ubelaker (1994) oraz White i Folkens (2005). W związku z tym, że prawidłowa ocena płci na podstawie cech morfologicznych zależy od doświadczenia badacza oraz od wyboru konkretnej metody (Psonak i Kwiatkowska, 2012), do badań wybrano wyłącznie osobniki, u których ocena wieku i płci przeprowadzona przez mnie, pokrywała się z analizą wykonaną przez Ćwirko-Godyckiego (1956). Dodatkowo, z analizy wykluczono osobniki posiadające widoczne zmiany patologiczne (np. zapalenie kości i stawów) oraz złamania na badanych kościach (łopatka, kość ramienna oraz obojczyk). Do analizy zostali wybrani osobnicy należący do kategorii *adultus* (20 – 35 lat), *maturus* (35 – 50 lat) oraz *senilis* (> 50 lat). Wybór ten uzasadniono tym, że kości kończyny górnej oraz obręczy barkowej rozwijają się do około 20 roku życia (Scheuer i Black, 2000).



Rycina 5. Położenie wyspy na jeziorze Lednickim. Czerwonym prostokątem oznaczono wyspę Ostrów Lednicki (Wrześniński, 1989)

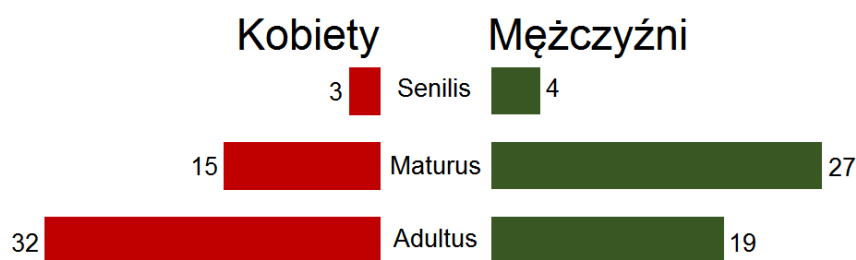
2.2.2. Populacja współczesna

Materiał pochodzący od osobników z populacji współczesnej składał się z 80 tomogramów komputerowych (należących do 40 kobiet i 40 mężczyzn) obejmujących obszar obu stawów ramiennych. Grupa ta, została zaklasyfikowana jako społeczeństwo zindustrializowane i składała się z osób z polskim obywatelstwem. Podobnie jak w przypadku rozdziału 1 (patrz. 1.2) badania opierały się na retrospektywnej analizie co oznacza, że wykorzystane obrazowania oraz informacje o wieku i płci pochodziły z bazy danych Ortopedyczno-Rehabilitacyjnego Szpitala Klinicznego Uniwersytetu Medycznego w Poznaniu. Materiał do badań wybrano spośród 8 tysięcy tomogramów komputerowych, które wykonano między 2009, a 2012 rokiem i zarchiwizowano w szpitalu. Spośród wszystkich pacjentów, 469. wykonano tomografie, które obejmowały obszar obręczy kończyny górnej, ale tylko 80 dorosłych osobników (powyżej 20 roku życia) posiadało tomogramy obu stawów ramiennych bez widocznych zmian patologicznych i złamań panewki. Wybrane stawy ramienne należały do pacjentów, którym wykonano tomografie najczęściej w związku z urazowym złamaniem kości w obrębie odcinka górnego klatki piersiowej⁹.

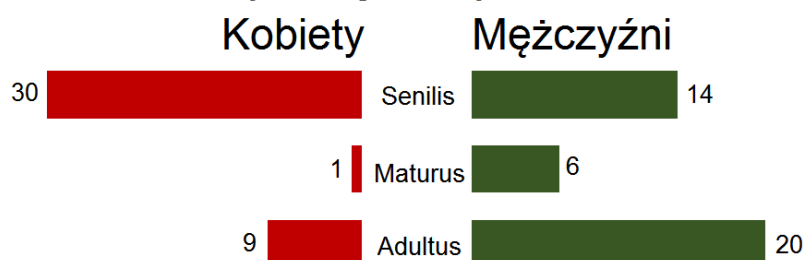
Rycina 6 przedstawia strukturę wieku dla obu badanych grup z uwzględnieniem podziału na płeć. Opisane poniżej analizy statystyczne nie zostały wykonane z uwzględnieniem grup wiekowych ze względu na zbyt duże rozbieżności w liczebności poszczególnych grup u obu płci i populacji.

⁹ Wszystkie osoby zaangażowane w tę część badania pozyskały zgodę Komisji Bioetycznej Uniwersytetu Medycznego w Poznaniu (numer: 437/13).

Populacja średniowieczna



Populacja współczesna



Rycina 6. Struktura wieku badanych populacji wraz z zaznaczoną liczebnością grup wiekowych

2.2.3. Pomiary kości

Na populacji średniowiecznej zmierzono po obu stronach ciała następujące kości: łopatkę, kość ramienną oraz obojczyk. Pomiary wykonano z dokładnością do 1 mm za pomocą deski osteometrycznej oraz suwmiarki. W celu wyliczenia powtarzalności pomiarów, po upływie tygodnia cechy zmierzono ponownie dla 15 wylosowanych osobników z Ostrowa Lednickiego. Tabela 5 przedstawia dokładny opis mierzonych cech z uwzględnieniem rodzaju narzędzi antropometrycznych wykorzystanych do pomiarów zgodnie z metodologią przedstawioną przez Auerbach i Raxter (2008).

Tabela 5. Opis pomiarów kości kończyny górnej i obręczy barkowej

Kość	Pomiar	Skrót	Opis	Przyrząd
Łopatka	Szerokość	APS	Odległość między najbardziej przednim i tylnym punktem panewki łopatki	S
	Wysokość	SIW	Odległość między najwyższym i najniższym punktem panewki łopatki	S
Obojczyk	Długość kości	DO	Odległość między końcem mostkowym i barkowym	D
	Trzon kości	TO	Średni pomiar z dwóch wykonanych w orientacji <i>inferior-superior</i> oraz <i>anterior-posterior</i> .	S
K. ramienna	Długość kości	DR	Odległość między górną krawędzią głowy a dolną krawędzią.	D
	Trzon kości	TR	Średni pomiar z dwóch wykonanych w orientacji <i>medial-lateral</i> oraz <i>anterior-posterior</i> .	S

Objaśnienia: K – kość, D – deska osteometryczna, S – suwmiarka

Z kolei w populacji współczesnej, obszar tomogramów komputerowych obejmował wyłącznie łopatkę, dlatego pomiary wykonano tylko na lewej i prawej powierzchni stawowej łopatki. Obie cechy (wysokość i szerokość panewki) zmierzono w przestrzeni 3D zgodnie z metodologią opisaną w podrozdziale 1.2.2 (patrz suplement 4). Pomiary wykonane na kościach i rekonstrukcjach 3D charakteryzują się dużą zgodnością (Kim i in., 2012), dlatego też w badaniu porównano ze sobą wyniki otrzymane za pomocą dwóch różnych metod mierzenia. W celu wyliczenia powtarzalności pomiarów w przestrzeni 3D, po upływie tygodnia cechy zmierzono ponownie dla 15 wylosowanych osobników z populacji współczesnej.

2.2.4. Wyznaczniki stresu mięśniowo-szkieletowego

W celu sprawdzenia czy kształt bądź wielkość panewki łopatki jest związana z typem aktywności ruchowej, oceniono 10 przyczepów mięśniowych znajdujących się na łopacie, obojczyku oraz kości ramiennej. Ze względu na inny charakter dostępnego materiału dla populacji współczesnej (tomogramy komputerowe obejmujące tylko okolicę panewki łopatki), analizę tę przeprowadzono wyłącznie na populacji średniowiecznej. Tabela 6 zawiera informację o badanych wyznacznikach na kościach. Do oceny stopnia wykształcenia przyczepów mięśni i więzadeł wykorzystano standardy według Galtés i in. (2006). Pod uwagę wzięto wyłącznie cechy uważane za niepatologiczne zmiany w postaci powiększenia rzeźby przyczepów mięśniowych (ang. *robusticity*). Pozostałe zmiany na powierzchni przyczepów mięśni bądź więzadeł, które przejawiają się w formie perforacji tkanki kostnej (ang. *stress lesion*) lub wyrost kostnych (ang. *ossification exostosis*) są uważane przez wielu badaczy za zmiany patologiczne (np. Galtés i in., 2006; lub Myszka, 2007). Choć są badacze, którzy traktują powyższe zmiany jako kolejny etap kształtowania się przyczepów (patrz dyskusja Santos i in., 2011). W niniejszych badaniach, *stress lesion* oraz *ossification exostosis* nie zostały wzięte pod uwagę w związku z tym, że są one wynikiem nagłej i forsownej aktywności fizycznej, a nie działania stale powtarzających się ruchów (Hawkey i Merbs, 1995; Galtés i in., 2006; Myszka, 2007; Ibáñez-Gimeno i in., 2013).

Według przyjętej metodologii (Galtés i in., 2006), wybrane wyznaczniki mięśniowo-szkieletowe były oceniane na obu stronach ciała w czterostopniowej skali: 0 – brak widocznych zmian, 1 – słabo wyrażona rzeźba przyczepów, 2 – średnio wyrażona rzeźba przyczepów oraz 3 – silnie wyrażona rzeźba przyczepów.

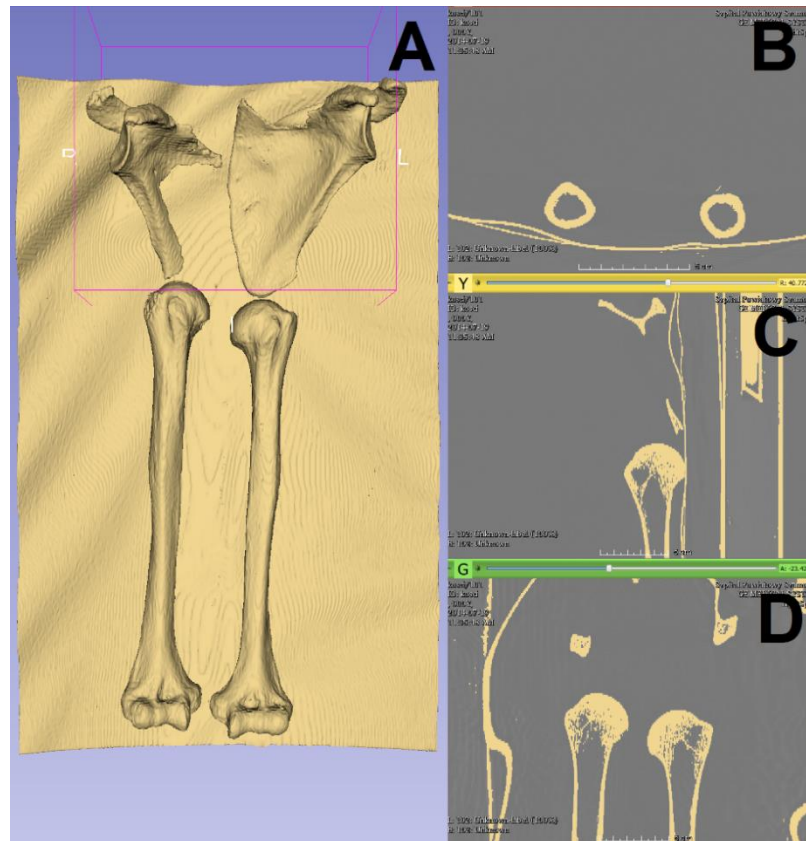
Tabela 6. Analizowane wyznaczniki stresu mięśniowo-szkieletowego

Kość	Nazwa	Skróty
Łopátka	<i>m. triceps brachii</i>	TBS
	<i>m. subscapularis</i>	SBS
Obojczyk	<i>lig. costoclaviculare</i>	CSL
	<i>lig. conoideum.</i>	CL
	<i>lig. trapezoideum</i>	TL
	<i>m. pectoralis major (o)</i>	PO
	<i>m. deltoideus (o)</i>	DO
Kość ramienna	<i>m. pectoralis major (i)</i>	PI
	<i>m. teres major (i)</i>	TM
	<i>m. deltoideus (i)</i>	DI

Objaśnienia: m. – *musculus* (mięsień), lig. – *ligamentum* (więzadło), o – początkowe miejsce przyczepu mięśnia, i – końcowe miejsce przyczepu mięśnia

2.2.5. Analiza kształtu powierzchni stawowej panewki łopatki

Głównym zadaniem tej części pracy było zbadanie, czy kształt powierzchni stawowej panewki łopatki w obu grupach (średniowiecznej i współczesnej) wykazuje dymorfizm płciowy i asymetrię kierunkową. W tym celu, każdej łopatce należącej do populacji średniowiecznej wykonano tomografie komputerowe za pomocą 32-rzędowego Tomografu Komputerowego (Somatom Sensation) w Szpitalu Klinicznym w Szamotułach. Wszystkie zdjęcia zostały wykonane w projekcji kranio-kaudalnej przez tego samego technika oraz z zastosowaniem standardowego protokołu skanowania (grubość warstwy: 0,625 mm; kV: 120, mAS/ref: 114/150, TIL 1.0, cSL: 0.6). Jak już wspomniano w podrozdziale 2.2.2., materiał (tomogramy komputerowe obszaru stawu ramiennego) reprezentujący populację współczesną pochodził z baz danych znajdujących się w szpitalu klinicznym w Poznaniu. W celu przeprowadzenia dalszych analiz, za pomocą programu 3D Slicer (wersja 4.4) przygotowano rekonstrukcje 3D powierzchni stawowej panewki łopatki dla obu populacji (średniowiecznej i współczesnej, patrz ryc. 7 oraz suplement 2). Zastosowana metodologia charakteryzuje się wysoką rzetelnością i w sposób szczegółowy przedstawia anatomię badanego obiektu (patrz podrozdział 1.2.2., lub Kubicka i in., 2016b).



Rycina 7. Schemat rekonstrukcji 3D łopatek oraz kości ramiennych

Objaśnienia: A – trójwymiarowa rekonstrukcja kości, B – przekrój poprzeczny tomogramu, C – przekrój strzałkowy tomogramu, D – przekrój podłużny tomogramu

W celu analizy zróżnicowania powierzchni stawowej panewki łopatki u obu badanych populacji, wykorzystano morfometrię geometryczną. W ramach zastosowanej metody wyróżnia się dwa podstawowe typy punktów dzięki którym wykonuje się analizy. Pierwszy rodzaj punktu jest nazywany landmarkami (ang. *landmark*) i umieszcza się je w homologicznych miejscach (np. miejsca odpowiadające punktom antropometrycznym). Z kolei semilandmarki (ang. *semilandmark*) to równomiernie rozmieszczone punkty wzdłuż krawędzi lub na powierzchni kości (Zelditch i in., 2004; Slice, 2007; Zelditch i in., 2012).

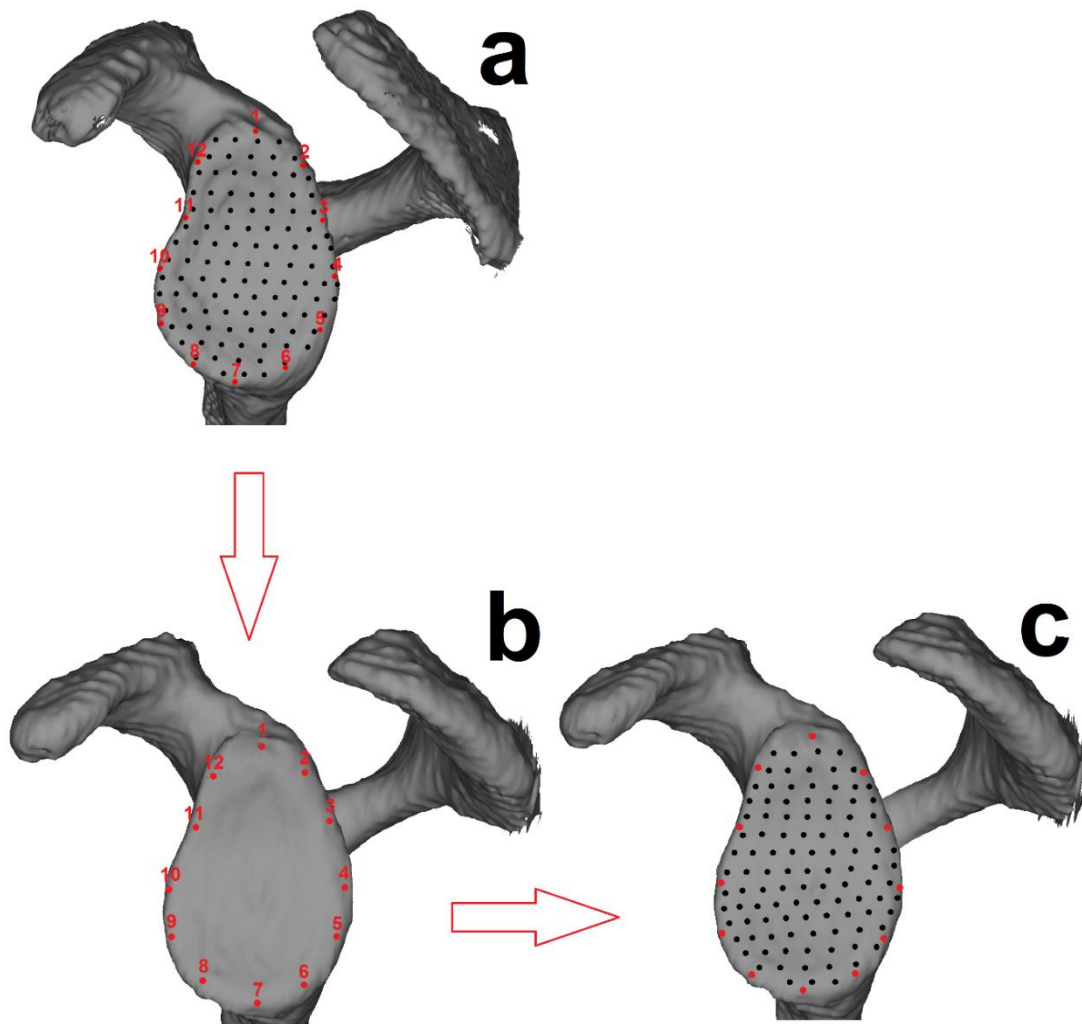
Powierzchnia stawowa panewki łopatki nie posiada dużo punktów homologicznych, dlatego też w celu zbadania jej kształtu rozmieszczono na niej landmarki oraz semilandmarki. Spośród wszystkich zrekonstruowanych łopatek wybrano losowo jedną lewą kość, która posłużyła jako tzw. „szablon”. Za pomocą programu EVAN Toolbox (wersja 1.71)¹⁰ rozprowadzono na niej manualnie 12 landmarków (wokół panewki) oraz 108 semilandmarków (na powierzchni stawowej panewki). Dwanaście landmarków zostało rozprowadzonych wokół

¹⁰ Program używany zgodnie z umową licencyjną uzyskaną dla Zakładu Biologii Ewolucyjnej Człowieka. Licencja zakupiona w ramach grantu Dziekana Wydziału Biologii (GDWB 01/2014) uzyskanego przez doktorantkę.

powierzchni stawowej panewki łopatki w taki sposób aby landmark 1., 4., 7. oraz 10. odpowiadały kolejno: najwyższym, najbardziej tylnym, najniższym oraz najbardziej przednim punktom na krawędzi powierzchni stawowej. Następnie, pomiędzy każdego z tych 4 landmarków umieszczono po 2 landmarki w równomiernych odstępach. Semilandmarki rozmieszczono w taki sposób, aby równomiernie pokrywały całą powierzchnię panewki łopatki. Liczba landmarków i semilandmarków została wybrana w taki sposób by jak najlepiej odwzorowywała kształt badanego obiektu.

Następnie, na każdej kolejnej lewej łopacie umieszczano samodzielnie 12 landmarków w takiej samej kolejności oraz tych samych miejscach co na panewce służącej jako wzór. W kolejnym kroku, dzięki funkcji Thin Plate Spline (TPS) wszystkie semilandmarki z „szablonu” zostały automatycznie rozmieszczone na pozostałych powierzchniach stawowych łopatek (patrz ryc. 8, suplement 5 lub O’Higgins i in., 2012). Zastosowanie powyższej procedury zdecydowanie przyspiesza pracę i zapewnia dużą rzetelność w rozmieszczaniu semilandmarków (wpływa znacząco na zmniejszenie wariancji wynikającej z niedokładnego umieszczania punktów na badanym obiekcie, Zelditch i in., 2012).

W celu zbadania kształtu prawej panewki, wykonano odbicie lustrzane lewej łopatki uznanej za szablon i zamieniono miejscami współrzędne dla osi X ze współrzędnymi dla osi Y. Dzięki takiemu działaniu ewentualne różnice w kształcie między stronami ciała nie będą wynikać z zastosowania dwóch różnych łopatek jako wzoru, ale z rzeczywistej asymetrii kierunkowej panewki. W celu sprawdzenia powtarzalności rozmieszczania punktów za pomocą funkcji TPS, po upływie tygodnia rozprowadzono ponownie landmarki i semilandmarki dla 30 wylosowanych panewek łopatki.



Rycina 8. Schemat rozmieszczania landmarków i semilandmarków na powierzchni stawowej łopatki

Objaśnienia: a – lewa panewka jako szablon z rozmieszczonymi punktami, b – druga panewka z manualnie rozmieszczonymi landmarkami, c – druga panewka z automatycznie umieszczonymi semilandmarkami na powierzchni stawowej. Czerwony punkt – landmark, czarny punkt – semilandmark

2.2.6. Analiza statystyczna

W celu określenia powtarzalności pomiarów wykonanych za pomocą dwóch metod (mierzenie cech na kościach za pomocą przyrządów antropometrycznych oraz w przestrzeni 3D) wyliczono wskaźnik rzetelności (R) dla błędu wewnętrznego badacza. Zastosowany współczynnik otrzymuje wartości w przedziale od 0 do 1, gdzie 0 oznacza brak powtarzalności a 1 idealną rzetelność. Wskaźnik ten wyliczono dla 15 losowo wybranych szkieletów ze średniowiecza oraz 15 losowo wybranych łopatek z populacji współczesnej. Dodatkowo dla 30 losowo wybranych panewek rozmieszczono dwukrotnie landmarki i semilandmarki. Następnie obliczono test ANOVA aby wykazać, czy zróżnicowanie między powtórzonymi rozmieszczeniami landmarków i semilandmarków są większe bądź mniejsze niż zróżnicowanie wewnątrz badanej grupy.

Przed przystąpieniem do analizy dymorfizmu płciowego, sprawdzono czy pomiary kości spełniają założenie o normalności rozkładu oraz czy zbiory danych charakteryzują się homogenicznością wariancji. Wszystkie badane cechy miały rozkład o kształcie normalnym (wszystkie wartości $p > 0,05$), aczkolwiek nie wszystkie cechowały się homogeniczną wariancją. W związku z tym, do analizy istotnie statystycznych różnic między kobietami, a mężczyznami zastosowano test parametryczny (test t Studenta dla prób niezależnych), a wartość testu była odczytywana przy założeniu o występowaniu lub braku równości wariancji w zależności od badanej cechy. Dodatkowo, wyliczono stopień wyrażenia dymorfizmu płciowego dla każdej cechy (osobno dla obu populacji) według następującego równania: $2 \times (\bar{S}M - \bar{S}K) / (SDM + SDK)$, gdzie $\bar{S}M$ oznacza średnią cechy dla mężczyzn, $\bar{S}K$ średnią cechy dla kobiet, SDM odchylenie standardowe grupy mężczyzn i SDK odchylenie standardowe grupy kobiet (Szopa, 1985).

W przypadku morfometrii geometrycznej, przed przystąpieniem do testowania różnic w kształcie panewki została przeprowadzona analiza Prokrusta (ang. *Generalized Procrustes Analysis*). Miała ona na celu nałożenie na siebie landmarków i semilandmarków wszystkich badanych panewek w taki sposób, aby różnica między współrzędnymi dla poszczególnych kości była jak najmniejsza. Proces ten przebiega w trzech następujących etapach: transpozycji, rotacji i standaryzacji (Zeldith i in., 2004). Do porównania kształtu powierzchni stawowej panewki łopatki między płciami zastosowano test ANOVA.

Do określenia czy istnieją i jak duże są różnice w wielkości badanych kości między lewą, a prawą stroną ciała, zastosowano dwa wskaźniki: asymetrię kierunkową (%AK) oraz absolutną asymetrię (%AA, Auerbach i Ruff, 2006). Pierwszy współczynnik (%AK) wyliczono na podstawie równania: $\%AK = \{(prawa - lewa) / [(prawa + lewa) / 2]\} \times 100\%$ z kolei drugi w oparciu o wzór: $\%AA = \{(\text{maksimum} - \text{minimum}) / [(\text{maksimum} + \text{minimum}) / 2]\} \times 100\%$. Wskaźnik %AK pokazuje, która ze stron ciała jest większa (wartość dodatnia świadczy o prawostronnej asymetrii, z kolei ujemna o lewostronnej), ale jest podatny na duże odchylenia standardowe w badanej grupie. Z kolei współczynnik %AA nie informuje o tym, która ze stron jest większa, ale wskazuje rzeczywisty poziom asymetrii, ponieważ jest pozbawiony wpływu odchylenia standardowego analizowanej populacji.

Zgodnie z założeniami przedstawionym w badaniach Auerbach i Ruff (2006), wskaźniki (%AK i %AA) przetestowano za pomocą testów nieparametrycznych. Do określenia istotności otrzymanych współczynników asymetrii wykorzystano test Wilcoxon dla rang w parach powiązanych, który obliczono osobno dla każdej płci i populacji. Z kolei test U Manna-Whitneya, posłużył do wyliczenia czy w badanych grupach zastosowane wskaźniki (%AK i

%AA) różnią się istotnie statystycznie między płciami. W morfometrii geometrycznej, test ANOVA obliczono osobno dla płci i badanych populacji w celu zbadania, czy kształt panewki charakteryzuje się asymetrią kierunkową.

Podobnie jak w przypadku analizy statystycznej dwóch wyznaczników asymetrii kierunkowej (%AK i %AA), do oceny różnic między kobietami, a mężczyznami w stopniu wyrażenia przyczepów mięśni lub więzadeł wykorzystano test U Manna Whitneya. Z kolei test Wilcoxon'a posłużył do określenia czy wyznaczniki stresu mięśniowo-szkieletowego są wykształcone silniej lub słabiej po jednej stronie ciała niż po drugiej.

Do obliczenia korelacji między kształtem panewki łopatki, a stopniem wykształcenia wyznaczników stresu mięśniowo-szkieletowego wykorzystano test cząstkowych najmniejszych kwadratów [ang. *Partial Least Squares* (PLS)]. Jest to analiza, która umożliwia badanie siły powiązania między dwoma blokami zmiennych (Slice, 2007; Mitteroecker i Gunz, 2009). Celem powyższego testu jest połączenie dwóch zbiorów za pomocą jak najmniejszej liczby wymiarów (szczegóły w McIntosh i in., 1996). Dodatkowo, analiza ta umożliwia określenia, która ze zmiennych (w tym przypadku który z przyczepów mięśniowych) ma największy wpływ na kształt badanego obiektu. Test cząstkowych najmniejszych kwadratów został obliczony pomiędzy kształtem powierzchni stawowej łopatki (pierwszy zbiór danych), a stopniami wykształcenia przyczepów (drugi zbiór danych) osobno dla płci i stron ciała. Do oceny istotności statystycznej testu PLS zastosowano test permutacyjny.

Ostatnią częścią analizy statystycznej, było przeprowadzenie kanonicznej analizy zmiennych, która posłużyła do przetestowania i wizualizacji różnic w kształcie powierzchni stawowej z uwzględnieniem informacji o płci, stronie ciała i populacji. Test permutacyjny wykorzystano w celu weryfikacji istotności różnic między zmiennymi.

Wszystkie powyższe testy zastosowano przy założeniu o istotności na poziomie $p < 0,05$. Analiza statystyczna pomiarów, została wykonana za pomocą programu SPSS (wersja 22.0.0.1) i Microsoft Office Excel. Natomiast przy użyciu programu EVAN Toolbox (wersja 1,71) oraz MorphoJ (wersja 1.06d, Klingenberg, 2011)¹¹ przeprowadzono analizę morfometrii geometrycznej.

¹¹ Darmowy program do analizy statystycznej w morfometrii geometrycznej.

2.3. Wyniki

Wszystkie otrzymane wskaźniki rzetelności przyjęły wysokie wartości powtarzalności pomiarów. Średni współczynnik R dla wszystkich cech zmierzonych za pomocą przyrządów antropometrycznych wyniósł 0,98, z kolei dla metody wykorzystującej rekonstrukcję 3D tomogramów komputerowych był równie wysoki 0,99. Test ANOVA wykazał, że zmienność między osobnikami w badanej grupie ($MS=1,9 \times 10^{-4}$) jest zdecydowanie większa niż zmienność między podwójnym rozmieszczeniem landmarków i semilandmarków na powierzchni stawowej panewki łopatki ($MS=3,4 \times 10^{-6}$). Wynik ten wskazuje, że zaproponowana metoda morfometrii geometrycznej służąca do rozkładania punktów na łopatkę, jest powtarzalna i nie wpływa negatywnie na otrzymane rezultaty.

2.3.1. Dymorfizm płciowy

Wszystkie wskaźniki dymorfizmu płciowego (patrz tab. 7) przyjmują wartości dodatnie, co świadczy o tym, że mężczyźni w obu populacjach charakteryzują się większymi pomiarami niż kobiety. Dodatkowo otrzymane współczynniki po lewej i prawej stronie ciała są do siebie zbliżone. W przypadku grupy rolniczej z okresu średniowiecza, największy dymorfizm płciowy stwierdzono dla długości obojczyka (po lewej stronie ciała) i dla szerokości *anterior-posterior* panewki (po prawej stronie ciała). Większe różnice niż w populacji średniowiecznej między kobietami, a mężczyznami zaobserwowano dla obu pomiarów powierzchni stawowej w populacji zindustrializowanej.

Tabela 7. Wskaźnik dymorfizmu płciowego obliczonego według wzoru Szopa (1985)

Pomiar	Lewa strona	Prawa strona
<i>Populacja średniowieczna</i>		
APS	1,22	1,49
SIW	1,18	1,27
DO	1,45	1,38
TO	0,93	0,99
DR	1,34	1,37
TR	1,26	1,13
<i>Populacja współczesna</i>		
APS	2,23	1,68
SIW	2,16	2,32

Objaśnienia: APS – szerokość *anterior-posterior* panewki łopatki, SIW – wysokość *superior-inferior* panewki łopatki, DO – długość obojczyka, TO – trzon obojczyka, DR – długość kości ramiennej, TR – trzon kości ramiennej

Średnie dla poszczególnych pomiarów z uwzględnieniem płci, stron ciała oraz badanych populacji zostały przedstawione w tabeli 8. Mężczyźni charakteryzują się większymi wartościami dla wszystkich zmierzonych cech (różnice są istotne statystycznie).

Tabela 8. Średnie mierzonych cech dla obu populacji z uwzględnieniem strony ciała i płci

Pomiar	Średnia (SD) dla lewej strony ciała			Średnia (SD) dla prawej strony ciała		
	Razem	Kobiety	Mężczyźni	Razem	Kobiety	Mężczyźni
<i>Populacja średniowieczna</i>						
APS	26,78 (2,9)	25,36 (2,8)	28,46 (2,3)	27,16 (2,9)	25,58 (2,4)	29,01 (2,2)
SIW	36,17 (3,6)	34,45 (3,3)	38,18 (3,0)	36,81 (3,3)	35,18 (2,9)	38,73 (2,7)
DO	142,26 (7,9)	136,55 (8,1)	148,11 (7,9)	140,96 (8,1)	135,38 (8,5)	146,81 (8,1)
TO	36,94 (3,3)	34,79 (5,0)	38,64 (3,3)	37,04 (3,5)	34,79 (4,7)	38,84 (3,5)
DR	313,69 (18,4)	303,18 (17,6)	325,99 (16,4)	318,18 (19,4)	308,15 (17,4)	329,92 (14,4)
TR	65,80 (6,8)	62,56 (5,3)	69,89 (6,3)	67,12 (7,2)	63,97 (6,1)	71,10 (6,5)
<i>Populacja współczesna</i>						
APS	26,78 (2,6)	25,26 (1,6)	29,50 (2,2)	27,32 (2,8)	25,85 (1,7)	29,50 (2,6)
SIW	36,61 (3,6)	34,47 (2,5)	39,77 (2,4)	36,79 (3,6)	34,54 (2,2)	40,11 (2,6)

Objaśnienia: APS – szerokość *anterior-posterior* panewki łopatki, SIW – wysokość *superior-inferior* panewki łopatki, DO – długość obojczyka, TO – trzon obojczyka, DR – długość kości ramiennej, TR – trzon kości ramiennej, SD – odchylenie standardowe

Pogrubienia oznaczają istotnie statystyczne różnice między płciami obliczone na podstawie testu t Studenta dla prób niezależnych ($p < 0,05$)

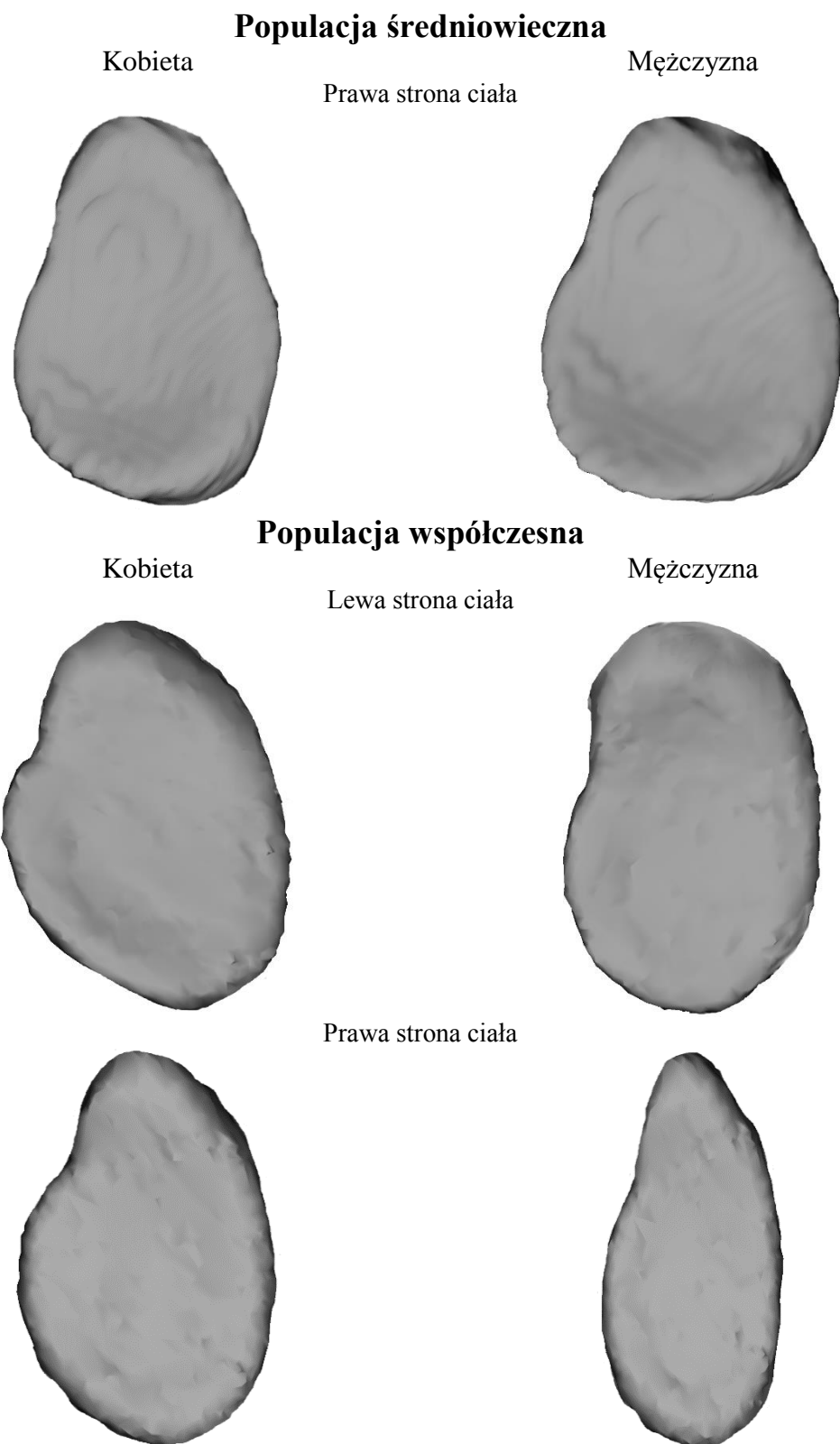
Zastosowany test ANOVA miał na celu sprawdzić czy różnice w kształcie powierzchni stawowej łopatki między płciami (z uwzględnieniem stron ciała) są istotne statystycznie. W populacji średniowiecznej istotne statystycznie różnice w kształcie panewki łopatki między kobietami, a mężczyznami stwierdzono wyłącznie po prawej stronie ciała (patrz suplement 6). Mężczyźni z Ostrowa Lednickiego charakteryzowali się większą powierzchnią stawową w części *anterior* i *inferior*. Z kolei w grupie współczesnej, dymorfizm płciowy zaobserwowano po obu stronach ciała. Zarówno lewa i prawa panewka u mężczyzn jest węższa, ale głębsza niż u kobiet (patrz tab. 9, ryc. 9 oraz suplementy 7 i 8).

Tabela 9. Wyniki testu ANOVA dla różnic w kształcie panewki łopatki między kobietami a mężczyznami

Panewka łopatki	N	F	p
<i>Populacja średniowieczna</i>			
Lewa kobieca	50	0,92	0,8646
Lewa męska	50		
Prawa kobieca	50	3,64	0,0001
Prawa męska	50		
<i>Populacja współczesna</i>			
Lewa kobieca	40	1,34	0,0001
Lewa męska	40		
Prawa kobieca	40	3,32	0,0001
Prawa męska	40		

Objaśnienia: N – liczebność grupy, F – wartość testu, p – wynik testu

Pogrubienia oznaczają istotnie statystyczne różnice między płciami obliczone na podstawie testu ANOVA ($p < 0,05$)



Rycina 9. Kształty powierzchni stawowej panewki łopatki dla obu płci z uwzględnieniem stron ciała i populacji, u których stwierdzono istotny statystycznie dymorfizm płciowy
 W celu lepszej analizy różnic w kształcie, panewki prawe zostały przedstawione w formie odbicia lustrzanego

2.3.2. Asymetria kierunkowa

Tabela 10 przedstawia wartości dla obu zastosowanych wskaźników asymetrii (%AK oraz %AA). Test Wilcoxon dla rang w parach powiązanych wykazał, że w populacji średniowiecznej i współczesnej wszystkie współczynniki były istotne statystycznie ($p < 0,05$). Aczkolwiek wartości %AA są zdecydowanie większe dla wszystkich cech niż wartości %AK. Na podstawie wartości wskaźnika %AK obliczonej dla populacji średniowiecznej stwierdzono, że tylko jeden pomiar (długość obojczyka) charakteryzuje się lewostronną asymetrią. W oparciu o drugi współczynnik (%AA) wyliczony dla grupy z Ostrowa Lednickiego, oba pomiary panewki łopatki posiadają najwyższe wartości, z kolei długość i trzon obojczyka charakteryzują się najmniejszą asymetrią u obu płci. W przypadku populacji współczesnej te same cechy powierzchni stawowej (wysokość *superior-inferior* i szerokość *anterior-posterior*) także wykazują zbliżone wartości wskaźnika %AA co u grupy rolniczej z Ostrowa Lednickiego.

U obu badanych grup, kobiety posiadają większe wartości współczynnika %AA wszystkich cech niż mężczyźni, wyjątek stanowi pomiar trzonu kości ramiennej (grupa średniowieczna) i szerokość *anterior-posterior* panewki łopatki (grupa współczesna). Żadna z różnic między płciami nie jest istotna statystycznie (według testu U Manna-Whitneya, $p < 0,05$).

Tabela 10. Wskaźniki asymetrii kierunkowej dla dwóch badanych populacji

Pomiar	Średnia %AK			Średnia %AA		
	Razem	Kobiety	Mężczyźni	Razem	Kobiety	Mężczyźni
<i>Populacja średniowieczna</i>						
APS	1,80*	2,09*	2,66*	3,07*	3,41*	2,66*
SIW	1,39*	1,95*	1,90*	3,30*	3,56*	2,98*
DO	-0,87*	-0,88*	-0,89*	1,58*	1,61*	1,54*
TO	0,28*	0,20*	0,37*	1,39*	1,53*	1,23*
DR	1,45*	1,64*	1,23*	1,70*	1,88*	1,48*
TR	1,94*	2,80*	1,70*	2,82*	2,80*	2,83*
<i>Populacja współczesna</i>						
APS	2,00*	2,30*	1,56*	4,17*	3,31*	5,44*
SIW	0,46*	0,24*	0,79*	3,31*	3,54*	2,98*

Objaśnienia: APS – szerokość *anterior-posterior* panewki łopatki, SIW – wysokość *superior-inferior* panewki łopatki, DO – długość obojczyka, TO – trzon obojczyka, DR – długość kości ramiennej, TR – trzon kości ramiennej, %AK – asymetria kierunkowa, %AA – asymetria absolutna

*istotnie statystyczna różnica między lewą, a prawą stroną ciała wyliczona na podstawie testu Wilcoxon ($p < 0,05$), pogrubienia oznaczają istotnie statystyczne różnice między płciami obliczone na podstawie testu U Manna-Whitneya ($p < 0,05$)

Test ANOVA wykazał, że istotne statystycznie różnice ($p < 0,05$) w kształcie panewki łopatki między lewą, a prawą stroną ciała występują u kobiet z okresu średniowiecza i u obu płci z populacji współczesnej (patrz tabela 11). Kobiety z rolniczej grupy (patrz rycina 10) charakteryzują się węższą i głębszą badaną powierzchnią stawową po lewej stronie ciała niż po prawej (patrz suplement 9). Z kolei u obydwu płci z populacji zindustrializowanej wykazano inną tendencję. Zarówno u kobiet jak i u mężczyzn z populacji współczesnej, lewa panewka jest głębsza oraz silniej wykształcona w części *anterior* i *inferior* niż powierzchnia stawowa prawa, choć różnica między stronami ciała jest silniej zarysowana u kobiet (patrz suplement 10 i 11).

Tabela 11. Wynik testu ANOVA dla różnic między stronami ciała z uwzględnieniem płci i badanych populacji

Panewka łopatki	N	F	<i>p</i>
<i>Populacja średniowieczna</i>			
Lewa kobieca	50	1,75	0,0001
Prawa kobieca	50		
Lewa męska	50	1,09	0,1305
Prawa męska	50		
<i>Populacja współczesna</i>			
Lewa kobieca	40	3,62	0,0001
Prawa kobieca	40		
Lewa męska	40	2,37	0,0001
Prawa męska	40		

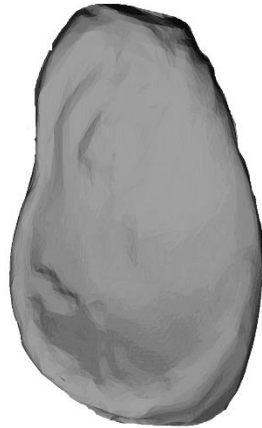
Objaśnienia: N – liczebność grupy, F – wartość testu, *p* – wynik testu

Pogrubienia oznaczają istotnie statystyczne różnice między płciami obliczone na podstawie testu ANOVA ($p < 0,05$)

Populacja średniowieczna

Kobiety

Lewa strona ciała



Prawa strona ciała



Populacja współczesna

Kobiety

Lewa strona ciała



Prawa strona ciała



Mężczyźni



Rycina 10. Kształty powierzchni stawowej panewki łopatki dla obu stron ciała z uwzględnieniem płci i populacji, u których stwierdzono istotną statystycznie asymetrię kierunkową

W celu lepszej analizy różnic w kształcie, panewki prawe zostały przedstawione w formie odbicia lustrzanego

2.3.3. Wyznaczniki stresu mięśniowo-szkieletowego

Analizę stopnia urzęźbienia przyczepów mięśni i więzadeł wykonano wyłącznie na populacji średniowiecznej. Tabela 12 przedstawia średnie wartości ocenianych wyznaczników stresu mięśniowo-szkieletowego w populacji średniowiecznej i wartości obliczonych testów nieparametrycznych. W przypadku kobiet współczynniki wahają się w granicach od 1,10 do 1,86 i żaden z badanych wyznaczników nie przejawia istotnej statystycznie asymetrii kierunkowej. Z kolei u mężczyzn, wskaźniki przyjmują wartości, od 1,17 do 2,00 i tylko przyczep *ligamentum costoclaviculare* jest istotnie statystycznie silniej wyrażony po prawej stronie ciała niż po lewej.

Istotne statystycznie różnice w wykształceniu przyczepów mięśni i więzadeł między kobietami, a mężczyznami, zostały stwierdzone dla wszystkich analizowanych cech łopatki po obu stronach ciała. Ponadto, dymorfizm płciowy zaobserwowano po prawej stronie ciała dla następujących przyczepów: *ligamentum costoclaviculare* i *ligamentum trapezoideum* oraz dla *m. pectoralis major* (i) na lewej i prawej kości ramiennej.

Tabela 12. Średnie wartości poszczególnych wyznaczników stresu mięśniowo-szkieletowego

Płeć	Strona ciała	N	Łopátka			Obojczyk				Kość ramienna		
			TBS	SBS	CSL	CL	TL	PO	DO	PI	TM	DHI
Kobiety	Lewa	50	1,35	1,33	1,49	1,54	1,22	1,20	1,77	1,32	1,11	1,13
	Prawa	50	1,33	1,29	1,51	1,63	1,17	1,26	1,86	1,38	1,10	1,15
Mężczyźni	Lewa	50	1,97	1,68	1,78*	1,53	1,37	1,28	1,59	1,54	1,12	1,24
	Prawa	50	2,00	1,61	1,93*	1,45	1,46	1,28	1,66	1,61	1,17	1,24

Objaśnienia: TBS - *m. triceps brachii*, SBS - *m. subscapularis*, CSL - *ligamentum costoclaviculare*, CL - *ligamentum conoideum*, TL - *ligamentum trapezoideum*, PO - *m. pectoralis major* (o), DO - *m. deltoideus* (o), PI - *m. pectoralis major* (i), TM - *m. teres major*, DHI - *m. deltoideus* (i), o - miejsce początkowe przyczepu, i - miejsce końcowe przyczepu

N - liczebność grupy, *istotnie statystyczna różnica między lewą, a prawą stroną ciała wyliczona na podstawie testu Wilcoxon (p < 0,05), pogrubienia oznaczają istotnie statystyczne różnice między płciami z uwzględnieniem stron ciała obliczone na podstawie testu U Manna-Whitneya (p < 0,05)

Tabela 13 zawiera wyniki przeprowadzonego testu PLS. Stopień wykształcenia wyznaczników stresu mięśniowo-szkieletowego nie mają istotnie statystycznego wpływu na kształt panewki łopatki u obu płci z Ostrowa Lednickiego. Wszystkie wartości współczynnika korelacji (RV) są pozytywne i wahają się w granicach między 0,0347 a 0,1695. W przypadku kobiet z populacji średniowiecznej, największy wpływ na kształt lewej panewki ma *ligamentum conoideum* a na prawej *musculus subscapularis*. Z kolei, u mężczyzn z Ostrowa Lednickiego, *musculus pectoralis major* jest najsilniej skorelowany z kształtem powierzchni stawowej lewej i prawej łopatki.

Tabela 13. Wynik analizy PLS między kształtem panewki łopatki a wyznacznikami stresu mięśniowo-szkieletowego w populacji średniowiecznej

Kształt panewki	Badane wyznaczniki	N	RV	<i>p</i>
<i>Kobiety</i>				
Lewa panewka	TBS, SBS, CSL, CL , TL, PO, DO, PI, TM, DHI	50	0,1695	0,15
Prawa panewka	TBS, SBS , CSL, CL, TL, PO, DO, PI, TM, DHI	50	0,1121	0,39
<i>Mężczyźni</i>				
Lewa panewka	TBS, SBS, CSL, CL, TL, PO , DO, PI, TM, DHI	50	0,0347	0,92
Prawa panewka	TBS, SBS, CSL, CL, TL, PO , DO, PI, TM, DHI	50	0,1036	0,56

Objaśnienia: TBS - *m. triceps brachii*, SBS – *m. subscapularis*, CSL - *ligamentum costoclaviculare*, CL - *ligamentum conoideum*, TL - *ligamentum trapezoideum*, PO - *m. pectoralis major (o)*, DO - *m. deltoideus (o)*, PI - *m. pectoralis major (i)*, TM - *m. teres major*, DHI - *m. deltoideus (i)*, o – miejsce początkowe przyczepu, I – miejsce końcowe przyczepu

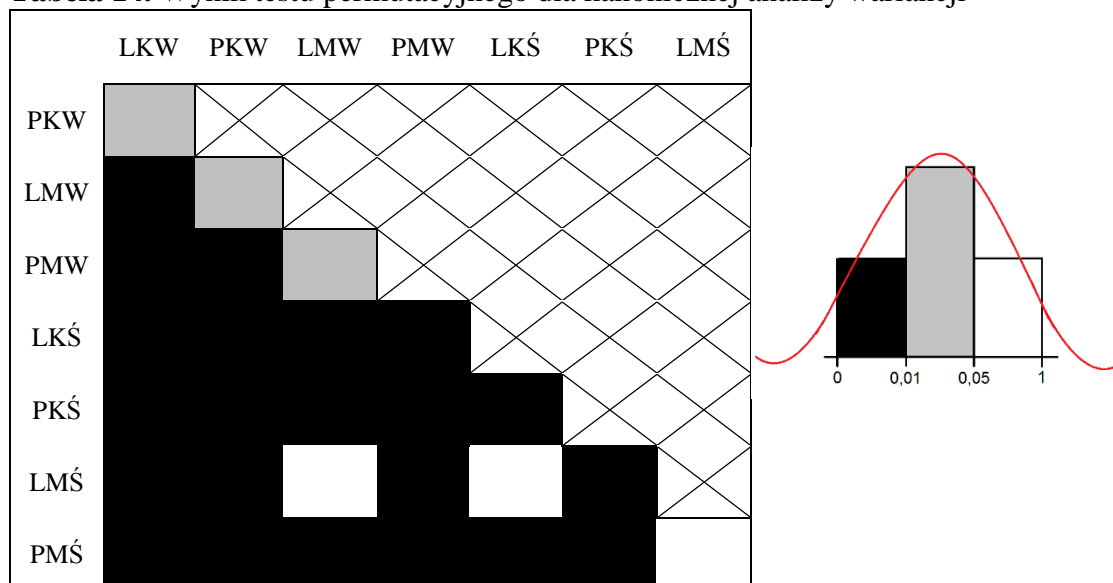
Pogrubieniem zaznaczono wyznaczniki, które miały największy wpływ na kształt panewki łopatki, N – liczebność grupy, RV – współczynnik korelacji, *p* – wynik testu PLS ($p < 0,05$)

2.3.4. Analiza porównawcza

Rycina 11 i tabela 14 przedstawiają wyniki zastosowanej kanonicznej analizy wariancji dla obu badanych populacji z uwzględnieniem płci i stron ciała. Wartości *p* otrzymane na podstawie testu permutacyjnego (patrz tabela 14) pozwoliły stwierdzić, które różnice w kształcie panewki między badanymi grupami są istotne statystycznie. Zaobserwowano istotne statystycznie różnice pomiędzy lewą panewką kobiet z populacji współczesnej, a wszystkimi innymi panewkami należącymi do pozostałych grup.

Istotne różnice zaobserwowano także między prawą panewką należącą do kobiet i mężczyzn z grupy współczesnej, a panewkami kobiet i mężczyzn z populacji średniowiecznej. Podobne wyniki uzyskano dla lewej panewki męskiej ze zindustrializowanej grupy z tą różnicą, że jej kształt nie różni się istotnie statystycznie od lewej powierzchni stawowej łopatki należącej do mężczyzn z grupy rolniczej. W przypadku zróżnicowania w kształcie panewki wśród populacji średniowiecznej, lewa panewka kobiet ma podobny kształt do lewej panewki mężczyzn.

Tabela 14. Wynik testu permutacyjnego dla kanonicznej analizy wariancji



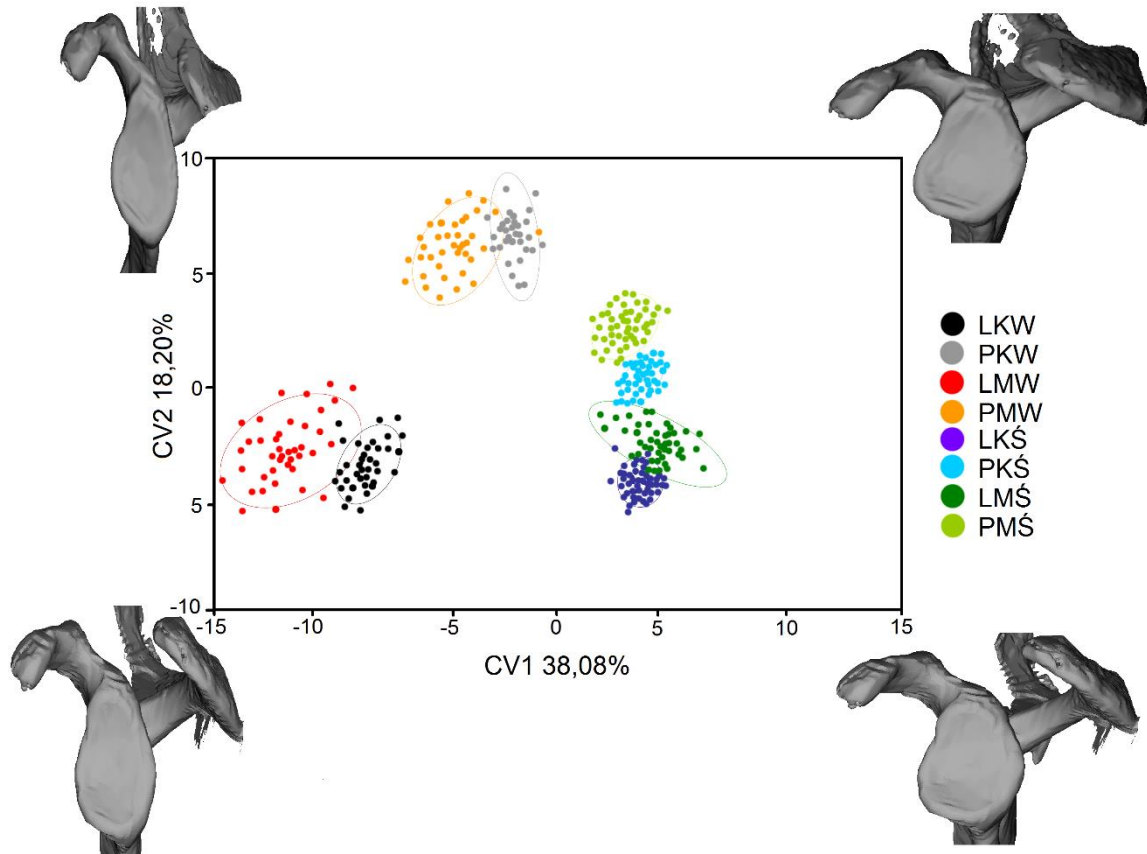
Objaśnienia: LKW –panewka lewa kobiety z populacji współczesnej, PKW –panewka prawa kobiety z populacji współczesnej, LMW –panewka lewa mężczyzny z populacji współczesnej, PMW –panewka prawa mężczyzny z populacji współczesnej, LKŚ –panewka lewa kobiety z populacji średniowiecznej, PKŚ –panewka prawa kobiety z populacji średniowiecznej, LMŚ –panewka lewa mężczyzny z populacji średniowiecznej, PMŚ –panewka prawa mężczyzny z populacji średniowiecznej

Wykres po prawej stronie przedstawia, które kolory odpowiadają za poszczególne wartości p . Wartość p poniżej 0,01 oznaczono kolorem czarnym, wartości p pomiędzy 0,01, a 0,05 oznaczono kolorem szarym, brak istotności ($p > 0,05$) oznaczono kolorem białym

Pierwsza zmienna kanoniczna wyjaśnia 38,01% zmienności z kolei, druga zmienna kanoniczna odpowiedzialna jest za 18,20% wariancji w badanych dwóch grupach. Obie zmienne kanoniczne rozdzielają od siebie badane grupy, choć zauważalne jest nałożenie się na siebie niektórych zbiorów. Na podstawie ryciny 11 można stwierdzić, że odległości między płciami z uwzględnieniem stron ciała są zdecydowanie mniejsze w populacji średniowiecznej niż w drugiej badanej grupie. Dodatkowo, wszystkie zbiory grupy średniowiecznej przyjmują wartości dodatnie dla pierwszej zmiennej kanonicznej, z kolei cała grupa współczesna jest reprezentowana przez wartości ujemne pierwszej zmiennej kanonicznej.

Pierwsza zmienna kanoniczna odpowiedzialna jest za zmianę kształtu w części *anterior* i *inferior* panewki łopatki oraz za poziom wgłębienia powierzchni stawowej. Panewki przyjmujące wartości dodatnie, charakteryzują się głębszą i bardziej wydatną powierzchnią stawową, niż te z wartościami ujemnymi na osi X. Z kolei druga zmienna kanoniczna, jest związana ze zmianą kształtu w części *inferior* panewki. Powierzchnie stawowe z wartościami dodatnimi na osi Y posiadają bardziej wydłużoną część dolną

(*inferior*). Na podstawie poniższego wykresu przedstawiającego uśrednione kształty dla poszczególnych wartości zmiennych kanonicznych można zaobserwować, że panewki łopatki należące do współczesnej populacji są węższe i płytsze niż w populacji średniowiecznej.



Rycina 11. Wykres kanonicznej analizy wariacji z kształtami panewek, które reprezentują graniczne wartości dla dwóch pierwszych zmiennych kanonicznych LKW –panewka lewa kobiety z populacji współczesnej, PKW –panewka prawa kobiety z populacji współczesnej, LMW –panewka lewa mężczyzny z populacji współczesnej, PMW –panewka prawa mężczyzny z populacji współczesnej, LKŚ –panewka lewa kobiety z populacji średniowiecznej, PKŚ –panewka prawa kobiety z populacji średniowiecznej, LMS –panewka lewa mężczyzny z populacji średniowiecznej, PMS –panewka prawa mężczyzny z populacji średniowiecznej

2.4. Dyskusja

2.4.1. Dymorfizm płciowy stawu ramiennego

Dymorfizm płciowy w szkielecie ludzkim, może być wyrażony jako różnice w morfologii oraz wielkości badanej cechy (Betti, 2014). Odmierna budowa kończyny górnej między kobietami, a mężczyznami została stwierdzona w wielu przebadanych populacjach (np. Ozer i in., 2006; Kranioti i Michalodimitrakis, 2009; Scholtz i in., 2010; Papaioannou i in., 2012). Otrzymane wyniki zazwyczaj są wykorzystywane do tworzenia nowych metod do oceny płci (np. Işcan i in., 1998; Murphy, 2005; Dabbs, 2009; Papaioannou i in., 2012), zdecydowanie rzadziej służą one do interpretacji czynników społeczno-kulturowych w badanej populacji (np. Carlson i in., 2007), czy do analizy trendu sekularnego (np. Jantz and Jantz, 1999).

Mężczyźni w populacji średniowiecznej, charakteryzują się większymi wartościami pomiarów łopatki, obojczyka i kości ramiennej niż kobiety. Świadczą o tym dodatnie wskaźniki dymorfizmu płciowego (patrz tab. 7) oraz średnie wartości dla każdego pomiaru stawu ramiennego z uwzględnieniem płci (patrz tab. 8). Co więcej, wszystkie różnice w cechachometrycznych są istotne statystycznie.

Najważniejszym zadaniem obojczyka jest wzmocnienie mięśnia czworobocznego, który z kolei odpowiada za wykonywanie ruchów w stawie ramiennym (Abbott i Lucas, 1954). Dlatego też, masywny trzon obojczyka u mężczyzn jest reakcją na działanie większych mechanicznych obciążeń na obręcz kończyny górnej (Auerbach i Raxter, 2008), a większa długość tej kości jest rezultatem szerszych ramion u mężczyzn niż u kobiet (Evans i in., 2006). W przypadku kości ramiennej, zaobserwowane mniejsze wartości obu pomiarów u kobiet (długości kości ramiennej i szerokości trzonu kości ramiennej) niż u mężczyzn, mogą być wynikiem różnic w sposobie przemodelowania kości u obu płci (Işcan i in., 1998). Dodatkowo, dłuższe kości ramienne u mężczyzn są prawdopodobnie wynikiem uzyskiwanych większych wysokości ciała (Jantz i Jantz, 1999).

Według wielu autorów, większy dymorfizm płciowy stwierdza się dla trzonów niż dla maksymalnej długości kości długich (np. Tagaya, 1989; Auerbach i Raxter, 2008). Tłumaczy się to tym, że na kształtowanie trzonów mają bardzo duży wpływ wymagania funkcjonalne (które są konsekwencją masy ciała) oraz siła mięśni (Auerbach i Raxter, 2008). Jednakże w otrzymanych w tej pracy rezultatach, stwierdzono większe wartości wskaźnika dymorfizmu płciowego dla pomiarów długościowych kości ramiennej i obojczyka, niż dla trzonów. Być

może wynik ten świadczy o tym, że różnice w mechanicznym obciążeniu między kobietami, a mężczyznami w badanej populacji średniowiecznej są mniejsze niż w innych analizowanych populacjach (np. z Nowego Meksyku, Utah czy Ohio).

Morfometria geometryczna wykazała, że w populacji średniowiecznej istotne statystycznie różnice w kształcie panewki między płciami zaobserwowano tylko dla prawego stawu ramiennego (patrz tab. 9). Dymorfizm płciowy łopatki w dużej części rozwija się przed okresem dojrzewania (Humphrey, 1998), aczkolwiek w późniejszym okresie duży wpływ na formowanie się powierzchni stawowej łopatki mają mięśnie i rodzaj wykonywanej aktywności (Hrdlička, 1942). Dowodem na to, mogą być zaobserwowane różnice w ukształtowaniu panewki łopatki między rolnikami, a zbieraczami i łowcami, które odzwierciedlają adaptację stawu ramiennego do odmiennej strategii pozyskiwania pożywienia (Di Vincenzo i in., 2012). W badanej grupie średniowiecznej z Ostrowa Lednickiego, mężczyźni charakteryzowali się „gruszkowatym” kształtem powierzchni stawowej, która wiąże się z powiększonym obszarem części *anterior* i *inferior* tej kości. Tego typu kształt panewki łopatki zwiększa stabilność stawu ramiennego i zakres obrotów kości ramiennej (Di Vincenzo i in., 2012). Zaobserwowany szerszy kształt powierzchni stawowej łopatki u mężczyzn z Ostrowa Lednickiego, może być adaptacją do podnoszenia oraz działania dużych mechanicznych obciążeń na obręcz kończyny górnej.

W mojej pracy doktorskiej, wyniki potwierdzają wcześniejsze badania, które wykazały istnienie dymorfizmu płciowego w kończynie górnej w rolniczych populacjach (Ozer i in., 2006; Kranioti i Michalodimitrakis, 2009; Scholtz i in., 2010; Papaioannou i in., 2012). Różnice między kobietami, a mężczyznami w wielkości mierzonych cech na kościach oraz różnice w kształcie panewki łopatki są prawdopodobnie wynikiem występowania wyraźnego podziału pracy ze względu na płeć w badanych grupach (Charisi i in., 2011). Wykonywanie odmiennych czynności przez obie płcie, powoduje „działanie” innych partii mięśni, które z kolei mają duży wpływ na kształtowanie się różnic w kościach u kobiet i mężczyzn (Humphrey, 1998).

Dane archeologiczne wskazują na wzmożone osadnictwo (budowanie miasta o dużym znaczeniu strategicznym) wokół jeziora Lednickiego w połowie 10 wieku (Kurnatowska, 1991). Wiązało się to z wznoszeniem budynków, wyrabianiem narzędzi, obróbką drewna i wykonywaniem pozostałych czynności związanych z prowadzeniem gospodarki opartej na rolnictwie (orka, zbieranie żniw, pomoc w hodowli zwierząt). Z kolei, kobiety zajmowały się w głównej mierze tkactwem, przędzeniem, czy mieleniem zboża (Havelková i in., 2011).

W przypadku grupy współczesnej zostały zmierzone wyłącznie cechy panewki łopatki, które uzyskały dodatnie wartości wskaźników dymorfizmu płciowego (patrz tab. 7). Wszystkie otrzymane pomiary były istotnie statystycznie różne między płciami (patrz tab. 8). Analiza kształtu łopatki za pomocą morfometrii geometrycznej wykazała, że różnice w kształcie panewki między kobietami, a mężczyznami zaobserwowano dla obu stron ciała (patrz tab. 9). Badany materiał współczesny został pozyskany z bazy danych szpitala klinicznego, w którym leczeni i operowani pacjenci pochodzą głównie z miast, ale także ze wsi zlokalizowanych w całej Wielkopolsce.

Zaobserwowany wyraźny dymorfizm płciowy cech opisowych i metrycznych panewki łopatki, może wynikać (podobnie jak w przypadku populacji średniowiecznej) z wykonywania innego typu aktywności fizycznych przez obie płcie. Kobiety z populacji współczesnej, charakteryzują się podobnym kształtem powierzchni stawowej łopatki co mężczyźni z Ostrowa Lednickiego, czyli posiadają bardziej gruszkowatą panewkę łopatki. Świadczy to o tym, że rodzaj preferowanych czynności przez obie płcie w populacji współczesnej różni się od tych, wykonywanych w średniowieczu. Co więcej, mimo iż mężczyźni z populacji współczesnej uzyskiwali większe wartości obu pomiarów panewki (szerokość i wysokość) niż kobiety, charakteryzowali się oni względnie węższą powierzchnią stawową łopatki.

Dodatkowymi czynnikami wpływającymi na dymorfizm płciowy stawu ramiennego, mogą być różnice w rozwoju szkieletu, które są już zauważalne w okresie płodowym (Humphrey, 1998). Panewka tworzy się z jednego pierwotnego oraz dwóch wtórnych centrów kostnienia. Rozwój rozpoczyna się już w 7-8 tygodniu okresu prenatalnego, a kończy się około 18-20 roku życia w postaci łączenia się i kostnienia dystalnej części powierzchni stawowej (Scheuer i Black, 2000). Węższa i głębsza panewka u mężczyzn z grupy współczesnej, może być wynikiem pociągania intensywnego mięśnia trójgłowego ramienia w trakcie życia. Mięsień ten ma swój przyczep w dolnej części panewki i jest najsilniejszym prostownikiem stawu i przywodzicielem ramienia oraz jest odpowiedzialny za wykonywanie ruchów w stawie ramiennym oraz łokciowym.

Opisane wyniki pozwoliły na potwierdzenie pierwszej hipotezy, że staw ramienny charakteryzuje się dymorfizmem płciowym zarówno cech metrycznych jak i opisowych. Głównym czynnikiem wpływającym na kształtowanie się różnic między kobietami a mężczyznami w zakresie budowy tego stawu jest działanie odmiennych mechanicznych obciążeń. Aczkolwiek, nie można również wykluczyć wpływu odmiennej dynamiki rozwoju szkieletu u obu płci.

Otrzymane rezultaty potwierdzają także hipotezę drugą, ponieważ populacja współczesna charakteryzowała się większym dymorfizmem płciowym zarówno cechometrycznych jak i opisowych. Należy jednak mieć na uwadze, że w grupie współczesnej analizowano tylko panewkę stawu ramiennego. Dlatego wnioski nie mogą dotyczyć całego stawu ramiennego. Większy dymorfizm płciowy powierzchni stawowej łopatki w populacji zindustrializowanej, może wynikać z lepszych warunków życia, gdyż mała ilość lub całkowity brak negatywnych czynników środowiskowych wpływa na zwiększanie się różnic między kobietami i mężczyznami (Greulich, 1976; Wolański, 2008).

Inną przyczyną zróżnicowanego stopnia dymorfizmu płciowego stawu ramiennego, może być różnica w liczebnościach poszczególnych kategorii wiekowych użytych do badań. W badanej grupie zindustrializowanej jest znacznie więcej osobników powyżej 50 roku życia niż w grupie rolniczej. Oznacza to, że osobniki z populacji współczesnej miały więcej czasu w ciągu życia na wykształcenie się dymorfizmu płciowego panewki wywołanego aktywnością mięśni, niż osobniki ze średniowiecznego Ostrowa Lednickiego. Dlatego też, istnieje potrzeba przeprowadzenia dalszych badań, w których wykonano by analizę kształtu na innych grupach ludzkich, które charakteryzują się różnym stopniem i rodzajem aktywności fizycznej, ale z uwzględnieniem wszystkich elementów stawu ramiennego i kategorii wiekowej badanych osób.

Ocena stopnia wykształcenia wyznaczników stresu mięśniowo-szkieletowego wykazała, że kobiety z populacji średniowiecznej z Ostrowa Lednickiego na obojczyku mają najsilniej wykształconą rzeźbę przyczepu, która należy do mięśnia naramiennego (zarówno po lewej jak i prawej stronie ciała). Mięsień naramienny ma trzy przyczepy początkowe (dwa z nich znajdują się na obojczyku a jeden na grzebieniu łopatki) oraz jeden końcowy (na guzowatości naramiennej kości ramiennej). W przedstawionej pracy, oceniany był również przyczep końcowy tego samego mięśnia [*m. deltoideus (i)*], który jest znacznie słabiej wykształcony po obu stronach ciała niż przyczep początkowy [*m. deltoideus (o)*]. Oznacza to, że kobiety z badanej populacji średniowiecznej wykonywały ruchy, które silniej angażowały część obojczykową mięśnia naramiennego, niż przyczep końcowy na kości ramiennej. Część obojczykowa m. naramiennego jest odpowiedzialna za przywodzenie i obracanie do wewnątrz kończyny górnej.

Z kolei u mężczyzn, najsilniej wykształcony wskaźnik stresu mięśniowo-szkieletowego, to przyczep mięśnia trójgłowego ramienia znajdujący się na łopatce, którego głównym zadaniem jest ruch w stawie ramiennym i łokciowym. Mężczyźni charakteryzowali się po obu stronach ciała istotnie statystycznie większymi wartościami dwóch przyczepów mięśni

zlokalizowanych na łopatce (*m. triceps brachii* i *m. subscapularis*) i jednego na kości ramiennej (*m. pectoralis major*) niż kobiety. Istotnie większe wartości wyznaczników stresu mięśniowo-szkieletowego dla mężczyzn niż dla kobiet, zaobserwowano także dla dwóch przyczepów więzadeł, (*ligamentum costoclaviculare* i *ligamentum trapezoideum*) ale różnice te dotyczyły wyłącznie prawej strony ciała. Powyższa grupa mięśni i więzadeł jest zaangażowana między innymi w podnoszenie ramion do pionu oraz ich obracanie do wewnątrz. Tego rodzaju czynności mogły być preferowane przez mężczyzn w trakcie prac związanych z tworzeniem okazałych budynków, wznoszeniem domostw czy obróbki drewna.

Przedstawione badania nie zostały wykonane z uwzględnieniem kategorii wieku badanych osobników, ze względu na małą liczebność materiału. Bardzo mało liczna grupa *senilis* w populacji średniowiecznej, może być wynikiem słabego zachowania szczątków osobników powyżej 50 roku życia lub małego odsetka osób, którzy dożyli wieku *senilis* w badanej grupie (Kwiatkowska i in., 2006). Dlatego należy wziąć pod uwagę, że zaobserwowany dymorfizm płciowy w stopniu wykształcenia wskaźników stresu mięśniowo-szkieletowego może być również wynikiem innej struktury wiekowej kobiet i mężczyzn w badanej populacji średniowiecznej. Zarówno u obu płci, liczebność grupy *senilis* jest do siebie zbliżona (3 kobiety i 4 mężczyzn). Natomiast u mężczyzn, grupa *adultus* jest mniej liczna, a grupa *maturus* zdecydowanie bardziej liczna niż u kobiet. Dlatego też, silniej rozwinięte przyczepy u mężczyzn mogą być rezultatem liczniejszej grupy *maturus*, a nie działania na kończynę górną większych mechanicznych obciążeń.

Wielu badaczy wykazało silną zależność między ukształtowaniem rzeźby przyczepów a wiekiem (np. Cardoso i Henderson, 2010; Henderson i in., 2012; Milella i in., 2012; Havelková i in., 2013). Badacze sugerują, że silniej wyrażony wskaźnik stresu mięśniowo-szkieletowego jest wynikiem zmian degeneracyjnych pojawiających się wraz z dojrzewaniem i starzeniem, a nie jest rezultatem działania większego obciążenia mechanicznego (Cardoso i Henderson, 2010). Różnice ze względu na wiek, mogą być skorelowane ze zmianą struktury kości w wyniku redukcji aktywności osteoblastów i cieńszej warstwy korowej (Weiss, 2007).

Tych wniosków nie popierają wyniki otrzymane przez zespół Djukica i innych (2014), którzy nie stwierdzili związku między stopniem wykształcenia przyczepów a np. porowatością warstwy korowej. Dodatkowo, Villotte i Knüsel (2013) twierdzą, że powiązanie ukształtowania przyczepów z wiekiem jest słabo poznane, a dotychczasowe badania opierają się wyłącznie na eksperymentach przeprowadzonych na zwierzętach. Jednakże należy wziąć pod uwagę fakt, że zmiana morfologii wyznaczników stresu mięśniowo-szkieletowego jest długotrwałym procesem, który wymaga działania często powtarzających się podobnych

czynności (Grauer, 2012). Dlatego też, zaobserwowany dymorfizm płciowy w wykształceniu morfologii przyczepów, może być częściowo wynikiem niejednorodnych grup wiekowych w badanej populacji. Innymi czynnikami mającymi wpływ na kształtowanie się analizowanych wyznaczników stresu mięśniowo-szkieletowego jest masa ciała (Myszka i Piontek, 2011), choć prawdopodobnie ma ona mały wpływ na otrzymane wyniki, gdyż ciężar ciała jest silniej skorelowany z kończynami dolnymi niż z górnymi.

2.4.2. Asymetria kierunkowa stawu ramiennego

Dotychczasowe badania wskazują, że około 90% osób w różnych populacjach, charakteryzuje się lepiej rozwiniętą kończyną górną po prawej stronie ciała, niż po lewej (Čuk i in., 2001). Może objawiać się to w postaci większych pomiarów długościowych lub obwodowych kości. Uważa się również, że poziom asymetrii kierunkowej odzwierciedla stopień oraz rodzaj siły działającej w trakcie życia osobnika (Steele i Mays, 1995).

W zaproponowanej pracy wyliczono asymetrię kierunkową dla 3 elementów obręczy kończyny górnej (obojczyka, panewki łopatki i kości ramiennej) dla populacji średniowiecznej, oraz tylko dla 1 elementu (panewki łopatki) dla populacji współczesnej. Wszystkie wyliczone wskaźniki były istotne statystycznie (patrz tab. 10). W grupie rolniczej z Ostrowa Lednickiego pomiary kości ramiennej i łopatki, podobnie jak w innych przebadanych populacjach z terenu świata charakteryzują się prawostronną asymetrią (Auerbach i Ruff, 2006; Kujanová i in., 2008; Waidhofer i Kirchengast, 2015).

Z kolei w grupie bez podziału i z podziałem na płeć, pomiar długość obojczyka uzyskał lewostronną asymetrię, a cecha trzon obojczyka prawostronną. Tego typu „wzór”, w którym kość jest dłuższa, ale ma zarazem mniejszy trzon po lewej stronie ciała jest często spotykany dla obojczyka (Mays i in., 1999; Auerbach i Raxter, 2008; Kujanová i in., 2008; Abdel Fatah i in., 2012). Tłumaczy się to tym, iż przyrost warstwy tkanki kostnej na szerokość oraz silniejsze esowate zgięcie obojczyka (czego wynikiem jest krótsza długość kości) jest reakcją na działanie prostopadłych mechanicznych obciążeń na szkielet ludzki (Auerbach i Ruff, 2004).

W przypadku kości ramiennej i obojczyka, pomiary trzonów uzyskały większe oba wskaźniki asymetrii kierunkowej (%AK oraz %AA) niż pomiary długościowe tych kości. Jest to prawdopodobnie spowodowane tym, że przyrost kości na długość odbywa się do około 25 roku życia. Z kolei tkanka kostna w wyniku działania na nią np. obciążeń osiowych lub skręcających, może stymulować przyrost w trzonie kości (Scheuer i Black, 2000; Čuk i in.,

2001). Proces ten może odbywać się w okresie dojrzewania i po zakończeniu przyrostów na długość.

Wskaźniki %AA i % AK dla badanej grupy z Ostrowa Lednickiego charakteryzują się większymi wartościami niż w innych populacjach, których gospodarka oparta jest na rolnictwie (Auerbach i Raxter, 2008). W związku z tym, że asymetria kierunkowa odzwierciedla rodzaj wykonywanych prac w dawnych społecznościach (Bridges, 2005; Sládek i in., 2007; Weiss, 2009), większe wskaźniki %AA oraz %AK dla obręczy kończyny górnej (obojczyka, panewki łopatki i kości ramiennej) świadczą o wykonywaniu w populacji z Ostrowa Lednickiego prac fizycznych bardziej obciążających jedną stronę ciała niż w innych zbadanych grup (Auerbach i Raxter, 2008). Zwłaszcza, że w połowie XI wieku najazd czeskiego księcia Brzetysława zakończył się zniszczeniem całej osady (Górecki i in., 1994). W związku z tym zamieszkała tam ludność była zmuszona do ponownego odbudowania zabudowań.

W analizowanej populacji średniowiecznej, pomiary panewki łopatki oraz trzon kości ramiennej charakteryzowały się największymi wartościami wskaźnika %AA (zarówno dla grup bez jak i z podziałem na płeć). Z kolei morfometria geometryczna wykazała istotnie statystyczne różnice w kształcie między lewą, a prawą powierzchnią stawową panewki tylko u kobiet ($p < 0,05$). Rozbieżności w otrzymanych rezultatach między cechami opisowymi, a metrycznymi mogą wynikać z pewnych ograniczeń morfometrii liniowej.

W zaproponowanych badaniach zmierzono dwie następujące cechy panewki łopatki: jej wysokość i szerokość. Do analizy asymetrii i dymorfizmu płciowego wybrano te pomiary, gdyż są one najczęściej wykorzystywane w badaniach antropologicznych innych badaczy ze względu na dobry stan zachowania panewki w szkielecie ludzkim (np. Papaioannou i in., 2012). Jednakże, za pomocą tylko dwóch cech nie można odzwierciedlić szczegółowo zależności w budowie kości. Dodatkowo, inne badania pokazały, że wielkość panewki jest stosunkowo niezmienna między populacjami (Di Vincenzo i in., 2012). Potwierdzeniem tego mogą być zbliżone do siebie średnie pomiarów panewki wyliczone dla dwóch badanych populacji (patrz tab. 8).

Zastosowanie morfometrii geometrycznej umożliwiło zwizualizowanie różnic w kształcie powierzchni stawowej łopatki między stronami ciała. W populacji średniowiecznej, prawa panewka łopatki u kobiet posiada bardziej zaokrągloną dolną część, wciętą górną oraz jest płytsza niż lewa, która z kolei jest węższa, ale głębsza. Różnice te prawdopodobnie są spowodowane adaptacyjnymi zmianami struktury kości (Borsa i in., 2008), które odwzorowują poziom i rodzaj aktywności fizycznej w danej populacji. Panewka o większej i bardziej zaokrąglonej dolnej powierzchni, zwiększa stabilność stawu ramiennego i umożliwia

wykonywanie obrotów kości ramiennej o większym zasięgu (Borsa i in., 2008; Di Vincenzo i in., 2012; Roren i in., 2015). Różnice między lewą, a prawą stroną u kobiet są dowodem na preferowanie aktywności angażujących jedną ze stron ciała (Weiss, 2009) jak np. noszenie wody, potomstwa, pomoc w żniwach. Natomiast brak asymetrii kształtu u mężczyzn z Ostrowa Lednickiego, może świadczyć o tym, że w badanej populacji średniowiecznej, mężczyźni wykonywali prace, które obciążały obie kończyny górne w sposób równomierny jak np. wznoszenie budynków.

W populacji współczesnej, zaobserwowano asymetrię kierunkową cech opisowych i metrycznych u obu płci. Zarówno kobiety jak i mężczyźni, charakteryzowali się bardziej węższą i płytszą prawą panewką łopatki niż lewą. Oznacza to, że prawa powierzchnia stawowa łopatki ze względu na swój kształt jest gorzej przystosowana do stabilizacji ruchów w stawie ramiennym. Aczkolwiek, za pomocą pomiarów stwierdzono prawostronną asymetrię łopatki, co oznacza, że gorsze przystosowanie prawej panewki niż lewej u mężczyzn i kobiet jest „rekompensowane” większą wielkością prawej powierzchni stawowej łopatki.

Brak istotnie statystycznych różnic we wskaźnikach %AK i %AA między płciami został także stwierdzony w innych badaniach (Sakaue, 1997; Jaskulska, 2009). Brak dymorfizmu płciowego w poziomie asymetrii kierunkowej u grupy średniowiecznej i współczesnej nie świadczy o tym, że obie płcie wykonywały tego samego rodzaju czynności, ale oznacza że były narażone na taki sam poziom mechanicznych obciążeń w trakcie życia (Auerbach i Raxter, 2008).

Zastosowanie dwóch metod (analizy pomiarów i morfometrii geometrycznej), umożliwiło przeprowadzenie szczegółowej analizy asymetrii kierunkowej obręczy kończyny górnej. Dodatkowo wykorzystanie metody rozprowadzania semilandmarków, pozwoliło przeanalizować kształt całej powierzchni stawowej łopatki, a nie tylko jej kontury (Di Vincenzo i in., 2012; Green, 2013; Shi i in., 2013; Püschel i Sellers, 2016). Otrzymane wyniki pozwoliły odrzucić hipotezę pierwszą, gdyż populacja współczesna charakteryzowała się większą asymetrią kierunkową powierzchni stawowej łopatki, zarówno cech opisowych (kształt panewki łopatki) jak i metrycznych (pomiar panewki łopatki) niż grupa z Ostrowa Lednickiego. Z kolei druga hipoteza zakładająca o występowaniu asymetrii stawu ramiennego w obu populacjach znalazła potwierdzenie w uzyskanych wynikach.

Otrzymane przeze mnie wyniki, zwłaszcza analizy asymetrii kierunkowej panewki łopatki w populacji współczesnej, są istotne dla badań klinicznych. Według Shi i współpracowników (2013) w wielu pracach autorzy zakładają, że powierzchnia stawowa łopatki charakteryzuje się idealną symetrią bilateralną i związku z tym, pomiary zdrowiej

panewki łopatki mogą być wykorzystywane do rekonstrukcji panewki z ubytkiem. Przypuszczenie to zostało potwierdzone przez pracę Shi i innych (2013), w której autorzy wykazali, że wydrążenie stawowe łopatki cechuje się tą samą wielkością i kształtem po obu stronach ciała. Wyniki otrzymane przeze mnie, nie potwierdzają słuszności tezy postawionej między innymi przez Shi i innych (2013). Zarówno w populacji z Ostrowa Lednickiego jak i w grupie współczesnej, kobiety i mężczyźni charakteryzowali się wyraźną prawostronną asymetrią kierunkową w wielkości panewki łopatki. Dodatkowo, w badaniach przeprowadzonych przeze mnie wykazano istotną statystycznie asymetrię w kształcie wydrążenia stawowego w populacji współczesnej oraz u kobiet z Ostrowa Lednickiego.

Rozbieżności między moimi wynikami, a rezultatami otrzymanymi przez Shi i innych (2013), mogą wynikać częściowo z zastosowania innej metodologii. Autorzy pracy o idealnej symetrii stawu ramiennego (Shi i in., 2013), analizowali wyłącznie kształt obrysu panewki łopatki. Z kolei w mojej pracy doktorskiej, oceniono także w jaki sposób zmienia się cały kształt powierzchni stawowej. Dlatego też, badania kliniczne mające na celu rekonstrukcję wielkości i kształtu wydrążenia stawowego na podstawie pomiarów kości po przeciwnej stronie ciała, powinny być poprzedzone badaniami, które scharakteryzowałyby występowanie oraz poziom asymetrii kierunkowej stawu ramiennego w danej populacji.

Wśród ocenianych przyczepów mięśni i więzadeł, istotnie statystyczną różnicę w stopniu wykształcenia wskaźników między stronami ciała stwierdzono wyłącznie u mężczyzn. Prawidłowość ta dotyczyła tylko jednego przyczepu (*ligamentum costoclaviculare*), który był silniej wyrażony po prawej stronie ciała niż po lewej. Podobne rezultaty otrzymał w swojej pracy Henneberg (1974), który stwierdził, że w Ostrowie Lednickim kości ramienne z tej samej pary charakteryzują się podobną rzeźbą powierzchni przyczepów. Należy jednak podkreślić, że wniosek ten nie został oparty o wyniki analiz statystycznych przeprowadzonych przez Henneberga (1974).

Rolą więzadła żebrowo-obojczykowego jest wzmacnianie ściany bocznej torebki stawowej oraz branie udziału w trakcie podnoszenia ramienia (Abbott i Lucas, 1954). Jednak fakt, że tylko jeden przyczep wykazuje asymetrię kierunkową może świadczyć o tym, że interpretacja otrzymanych wyników powinna być przeprowadzona z ostrożnością. Silniej rozwinięty przyczep więzadła żebrowo-obojczykowego po jednej stronie ciała może sugerować, że mężczyźni wykonywali pracę wymagającą większego mechanicznego obciążenia przez prawe ramię. Jednakże, wniosku tego nie potwierdzają pozostałe wskaźniki stresu mięśniowo-szkieletowego, u których nie stwierdzono asymetrii. Dodatkowo, morfometria geometryczna również nie wykazała różnic w kształcie powierzchni stawowej

panewki łopatki u mężczyzn z Ostrowa Lednickiego. Sugeruje to, że mężczyźni z populacji średniowiecznej byli narażeni na większe obciążenia mechaniczne niż kobiety, ale wykonywali pracę, która angażowała jednocześnie obie kończyny górne. Może to być potwierdzone przez brak asymetrii kierunkowej w kształcie powierzchni stawowej u mężczyzn z Ostrowa Lednickiego.

W przeprowadzonych badaniach przez innych badaczy, zaobserwowano brak lub bardzo słabo zaznaczoną asymetrię w morfologii rzeźby przyczepów (Henneberg, 1974; Molnar, 2006; Weiss, 2007; Cardoso i Henderson, 2010). Cashmore i Zakrzewski (2013) zasugerowali, że ewentualna zmiana metodyki oceny wskaźników stresu mięśniowo-szkieletowego na dwustopniową ocenę (brak powiększonej rzeźby przyczepu/obecna rzeźba przyczepu) mogłaby przynieść otrzymanie bardziej przejrzystych wyników. Istnieje również ewentualność, że zaobserwowana asymetria (tylko u mężczyzn dla jednego wskaźnika) może być także rezultatem zróżnicowania morfologicznego ocenianych kości, a nie efektem działania innego natężenia aktywności fizycznej na strony ciała (Cashmore i Zakrzewski, 2013). Należy wziąć również pod uwagę, zbyt małą liczebność badanej grupy, która mogła wpłynąć na otrzymanie niejednoznacznych wyników. Aczkolwiek, analizowany materiał w powyższej pracy został wybrany ze zbiorów około 2 tysięcy szkieletów, które charakteryzowały się różnym stanem zachowania.

2.4.3. Korelacja między wyznacznikami stresu mięśniowo-szkieletowego a kształtem panewki łopatki

Przeprowadzony test PLS wykazał, że zarówno u kobiet jak i u mężczyzn z Ostrowa Lednickiego, stopień wskaźników stresu mięśniowo-szkieletowego nie jest istotnie statystycznie skorelowany z kształtem panewki. Oznacza to, że osobniki o powiększonej rzeźbie przyczepów mięśni i więzadeł w kończynie górnej nie charakteryzują się odmienną budową powierzchni stawowej łopatki, od osobników ze słabiej wykształconymi przyczepami. W pracach Djukic i inni (2014) i Niinimäki (2012) wykazano zależność między stopniem wskaźnika stresu mięśniowo-szkieletowego, a grubością warstwy korowej oraz odpornością kości długich na obciążenia osiowe kości ramiennej. Aczkolwiek autorzy obu powyższych prac podkreślają, że jak dotąd nie wiadomo w jaki sposób mechaniczne obciążenia oddziałują na przyczepy i jaki ma to wpływ na otaczającą tkankę kostną.

Działanie podobnych sił na populację, powoduje zróżnicowaną reakcję między osobnikami jak i wewnątrz szkieletu (Grauer, 2012). Potwierdzeniem tego mogą być badania

Junno i innych (2011) i Niinimäki (2012), które opierały się na tym samym materiale, ale uzyskały zbieżne wyniki. W pracy Junno i inni (2011), nie znaleziono zależności między właściwościami przekroju poprzecznego kości promieniowej a rzeźbą przyczepu. Z kolei Niinimäki (2012) oceniając tę samą populację szkieletową co Junno i inni (2011), wykazał korelację między wskaźnikami stresu mięśniowo-szkieletowego a przekrojem poprzecznym kości ramiennej. Dlatego też, wielu badaczy sugeruje, że nie należy analizować pojedynczych przyczepów mięśni i więzadeł (np. Weiss, 2007), ponieważ ewentualne rozbieżności mogą wynikać z tego, że ocena niektórych przyczepów może być łatwiejsza ze względu na ich inne umiejscowienie na kości (Cashmore i Zakrzewski, 2013). W związku z tym, w przedstawionej pracy doktorskiej wzięto pod uwagę wskaźniki stresu mięśniowo-szkieletowego kończyny górnej, w której skład wchodzi mięśnie zginacze i prostowniki ramienia.

Otrzymany brak korelacji między ukształtowaniem panewki łopatki, a rzeźbą przyczepów sugeruje, że nie ma bezpośredniego związku między tymi dwoma czynnikami. Wykazano z kolei zależność między dymorfizmem płciowym i asymetrią kierunkową a kształtem powierzchni stawowej łopatki. Niejednoznaczne i rozbieżne wyniki innych badaczy (Weiss, 2007; Junno i in., 2011; Myszka i Piontek, 2011; Grauer, 2012; Niinimäki, 2012; Cashmore i Zakrzewski, 2013), którzy analizowali wskaźniki stresu mięśniowo-szkieletowego mogą sugerować, że ocena morfologii przyczepów nie jest dobrą metodą do rekonstrukcji aktywności dawnych populacji, ze względu na trudną interpretację otrzymanych wyników. Być może, lepszą metodą analizy rodzajów mechanicznych obciążeń jest badanie kształtu i właściwości przekrojów poprzecznych kości długich (np. Trinkaus i in., 1999; Tomczyk i Sołtysiak, 2009; Tomczyk i in., 2011)

2.4.4. Analiza porównawcza

Celem przeprowadzonej kanonicznej analizy wariancji, było porównanie ze sobą kształtów panewki łopatki obu populacji z uwzględnieniem płci oraz stron ciała. Zastosowanie testu permutacyjnego umożliwiło stwierdzenie, które różnice między grupami są istotne statystycznie. Odległości między zbiorami danych należących do populacji współczesnej są znacznie większe niż między zbiorami populacji średniowiecznej. Potwierdzeniem tego, są wyniki dymorfizmu płciowego i asymetrii kierunkowej, które wykazały, że kształty panewek łopatek z populacji średniowiecznej są do siebie bardziej zbliżone, niż powierzchnie stawowe z grupy współczesnej. Mniejsze różnice między kobietami, a mężczyznami z Ostrowa Lednickiego, mogą być częściowo spowodowane błędną oceną płci. Aczkolwiek, by uniknąć

wpływu nieprawidłowej oceny płci osobników, do badań wybrano wyłącznie szkielety, których moja ocena wieku i płci pokrywała się z analizą wykonaną przez Ćwirko-Godyckiego (1956). Ponadto rycina 11 przedstawia, że populacja średniowieczna cechuje się znacznie mniejszym różnicowaniem kształtu panewki niż populacja współczesna.

Na podstawie dwóch pierwszych zmiennych kanonicznych, wyróżniono 4 typy kształtu panewek. Osobniki w populacji średniowiecznej charakteryzowali się bardziej wydatną powierzchnią stawową łopatki w części *anterior* i *inferior*. Z kolei kobiety i mężczyźni pochodzący z grupy zindustrializowanej, posiadali zazwyczaj panewkę łopatki węższą niż średniowieczna populacja. Różnice w kształcie powierzchni stawowej łopatki, mogą odzworowywać adaptację stawu ramiennego do odmiennych trybów życia prowadzonych w dwóch populacjach (Di Vincenzo i in., 2012). Kobiety i mężczyźni z Ostrowa Lednickiego należeli do grupy, której gospodarka była oparta na rolnictwie. Liczne badania wskazują, że rolnicze społeczności są narażone na działanie dużych mechanicznych obciążeń (np. Bridges, 1989; Pinhasi i Stock, 2011), które mogą zwiększać nacisk głowy kości ramiennej na powierzchnię stawową łopatki oraz powodują intensywną pracę mięśnia podłopatkowego (Prescher i Klümpen, 1995). W wyniku powyższych czynników, panewka łopatki przyjmuje kształt „gruszkowaty”, który pozwala na zwiększony zakres ruchów w stawie ramiennych i stabilizację stawu ramiennego (Di Vincenzo i in., 2012).

Węższe panewki w populacji współczesnej mogą być wynikiem intensywnego działania mięśnia trójgłowego ramienia, który pociąga dolną część powierzchni stawowej powodując jej wydłużenie oraz spłytenie. Różnice między dwoma badanymi populacjami w stopniu dymorfizmu płciowego i asymetrii kierunkowej panewki, mogą także wynikać z innego przebiegu rozwoju łopatki w okresie pre i postnatalnym (Humphrey, 1998). Wyraźniej zarysowany dymorfizm płciowy w populacji współczesnej, być może jest także wynikiem wystarczających zasobów pożywienia, co przyspiesza wzrost u mężczyzn (Humphrey, 1998). Niestety, duża wypukłość głowy kości ramiennej oraz bardzo mała liczba punktów homologicznych spowodowała, że w przedstawionej pracy nie udało się stworzyć rzetelnej metody rozprowadzania punktów po powierzchni stawowej tej kości. Jednakże przeprowadzenie dodatkowej analizy polegającej na skorelowaniu kształtu panewki łopatki z kształtem głowy kości ramiennej, mogłoby dostarczyć szczegółowej informacji o tym, w jakim

stopniu powierzchnia stawowa łopatki jest modelowana przez ruchomość kości ramiennej. Być może w tym celu należałoby wykorzystać metodę nazywaną statystycznym atlasem kości, która jest stosowana przez innych badaczy np. do określania płci szczątków ludzkich (Mahfouz i in., 2007; Wu i in., 2015)¹².

¹² Na podstawie rozdziału 1 powstał artykuł wysłany do recenzji.

Tytuł artykułu: Directional Asymmetry of Upper Limbs in a Medieval Population from Poland: a Combination of Linear and Geometric Morphometrics.

Czasopismo: American Journal of Human Biology

Autorzy: Anna Maria Kubicka – zaprojektowanie badań, wykonanie pomiarów, pisanie manuskryptu, analiza statystyczna, interpretacja wyników.

Przemysław Lubiowski – dostarczenie materiału do badań, korekta manuskryptu.

Jan Długosz – dostarczenie materiału do badań.

Leszek Romanowski –korekta manuskryptu.

Janusz Piontek – pomoc w interpretacji danych, korekta manuskryptu.

PODSUMOWANIE

Obecne metody oceny stopnia oraz rodzaju niestabilności stawu ramiennego, wykorzystują pomiary wykonane wyłącznie w przestrzeni 2D na tomogramach 2D i 3D. Duże zróżnicowanie kształtu, wielkości i orientacji powierzchni stawowej panewki łopatki, może wpływać na rzetelność pomiarów 2D wykonanych przez lekarza. Wśród pacjentów z postępującym ubytkiem panewki łopatki, istnieje bardzo duże prawdopodobieństwo wystąpienia kolejnych incydentów zwichnięć. Dlatego też, przeprowadzenie jak najbardziej rzetelnej oceny niestabilności stawu ramiennego jest ważne ze względu na wybór odpowiedniej techniki operacyjnej. Głównym celem pierwszej części pracy doktorskiej (rozdział 1), było porównanie pomiarów powierzchni stawowej służących do oceny ubytku panewki łopatki, wykonanych za pomocą metody 2D oraz 3D. Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że pomiary wykonane w przestrzeni 3D na rekonstrukcjach 3D łopatki charakteryzują się większą powtarzalnością u obu badaczy, niż te same cechy zmierzone w oparciu o obraz 2D z tomogramu komputerowego. Zaproponowana metoda tworzenia i mierzenia rekonstrukcji 3D warstwy kostnej, powinna być stosowana w badaniach klinicznych.

Analiza budowy stawu ramiennego może pomóc w zinterpretowaniu, które czynniki, mają wpływ na kształtowanie się tej części szkieletu ludzkiego. Informacja o zróżnicowaniu morfologii obręczy kończyny górnej w badanych przez mnie populacjach, może posłużyć do rekonstrukcji aktywności dawnych grup ludzkich. Dlatego też, do drugiej części rozprawy doktorskiej wybrano dwie populacje, które charakteryzują się odmiennym trybem życia. Pierwsza z nich to średniowieczna grupa o ujednoliconym statusie społecznym, zamieszkująca Ostrów Lednicki, która zajmowała się głównie rolnictwem. Druga grupa, składa się ze współczesnych mieszkańców województwa Wielkopolskiego, którzy opierają swoją gospodarkę na przemyśle.

Do najważniejszych celów drugiej części pracy należało zbadanie, czy dymorfizm płciowy, asymetria kierunkowa i stopień wykształcenia wskaźników stresu mięśniowo-szkieletowego mają wpływ na kształtowanie się stawu ramiennego oraz obojczyka. Dzięki zastosowaniu dwóch metod morfometrii: linearnej i geometrycznej, wykonano analizę, ze szczególnym uwzględnieniem kształtu powierzchni stawowej panewki. Na podstawie

otrzymanych wyników stwierdzono, że obie populacje (średniowieczna i współczesna) charakteryzują się odmiennym kształtem, ale zbliżoną wielkością powierzchni stawowej panewki. Populacja średniowieczna posiadała szersze panewki, szczególnie w części *anterior* i *inferior* niż grupa współczesna. Gruszkowaty kształt panewki łopatki u kobiet i mężczyzn z Ostrowa Lednickiego, zapewnia lepszą stabilizację ruchów w stawie ramiennym w trakcie wykonywania ciężkiej pracy fizycznej. Z kolei węższa powierzchnia stawowa łopatki w grupie współczesnej, może być wynikiem bardziej intensywnego działania mięśnia trójgłowego ramienia, który jest odpowiedzialny za prostowanie stawu ramiennego i łokciowego. Dymorfizm płciowy i asymetrię kierunkową zaobserwowano u obu populacji, ale różnice były silniej wyrażone w grupie współczesnej.

Do najważniejszego czynnika powodującego zmianę w morfologii łopatki kości ramiennej i obojczyka, zaliczono zmienną aktywność mięśni, która jest wynikiem działania obciążeń mechanicznych. Innym czynnikiem mogącym mieć wpływ na kształt i wielkość elementów stawu ramiennego są różnice w rozwoju układu kostnego. Jednakże, żeby potwierdzić ten wniosek należałoby przeprowadzić badania ontogenetyczne.

Otrzymane wyniki mogą być pomocne w przeprowadzaniu analiz antropologicznych na populacjach szkieletowych, ale także w badaniach klinicznych prowadzonych przez chirurgów, ortopedów.

BIBLIOGRAFIA

- Abbott LC, Lucas DB. 1954. The Function of the Clavicle. In: American Surgical Association., Ohio. p 583–597.
- Abdel Fatah EE, Shirley NR, Mahfouz MR, Auerbach BM. 2012. A three-dimensional analysis of bilateral directional asymmetry in the human clavicle. *Am J Phys Anthropol* 149:547–559.
- Alsey KJ, Mahapatra AN, Jessop JH. 2012. Coracoid fracture in an adolescent rugby player – Case report and review of the literature. *Radiography* 18:301–302.
- Andrin J, Macaron C, Pottecher P, Martz P, Baulot E, Trouilloud P, Viard B. 2015. Determination of a new computed tomography method for measuring the glenoid version and comparing with a reference method. Radio-anatomical and retrospective study. *Int Orthop* 40:525–529.
- Auerbach BM, Raxter MH. 2008. Patterns of clavicular bilateral asymmetry in relation to the humerus: variation among humans. *J Hum Evol* 54:663–674.
- Auerbach BM, Ruff CB. 2004. Human body mass estimation: A comparison of “morphometric” and “mechanical” methods. *Am J Phys Anthropol* 125:331–342.
- Auerbach BM, Ruff CB. 2006. Limb bone bilateral asymmetry: Variability and commonality among modern humans. *J Hum Evol* 50:203–218.
- Badyaev A. 2002. Growing apart: an ontogenetic perspective on the evolution of sexual size dimorphism. *Trends Ecol Evol* 17:369–378.
- De Baets L, Jaspers E, Desloovere K, Van Deun S. 2013. A systematic review of 3D scapular kinematics and muscle activity during elevation in stroke subjects and controls. *J Electromyogr Kinesiol* 23:3–13.
- Barchilon VS, Kotz E, Barchilon B, Glazer E, Nyska M. 2008. A simple method for quantitative evaluation of the missing area of the anterior glenoid in anterior instability of the glenohumeral joint. *Skeletal Radiol* 37:731–736.
- Bejdová S, Krajiček V, Velemínská J, Horák M, Velemínský P. 2013. Changes in the sexual dimorphism of the human mandible during the last 1200 years in Central Europe. *HOMO - J Comp Hum Biol* 64:437–453.

- Bello-Hellegouarch G, Potau JM, Arias-Martorell J, Pastor JF, Pérez-Pérez A. 2013. Brief communication: Morphological effects of captivity: A geometric morphometric analysis of the dorsal side of the scapula in captive-bred and wild-caught Hominoidea. *Am J Phys Anthropol* 152:306–310.
- Benjamin M, Toumi H, Suzuki D, Hayashi K, McGonagle D. 2009. Evidence for a distinctive pattern of bone formation in enthesophytes. *Ann Rheum Dis* 68:1003–1010.
- Beran MC, Donaldson CT, Bishop JY. 2010. Treatment of chronic glenoid defects in the setting of recurrent anterior shoulder instability: A systematic review. *J Shoulder Elb Surg* 19:769–780.
- Betti L. 2014. Sexual dimorphism in the size and shape of the os coxae and the effects of microevolutionary processes. *Am J Phys Anthropol* 153:167–177.
- Beuckelaers E, Jacxsens M, Van Tongel A, De Wilde LF. 2014. Three-dimensional computed tomography scan evaluation of the pattern of erosion in type B glenoids. *J Shoulder Elb Surg* 23:109–116.
- Bigoni L, Velemínská J, Brůzek J. 2010. Three-dimensional geometric morphometric analysis of cranio-facial sexual dimorphism in a Central European sample of known sex. *HOMO - J Comp Hum Biol* 61:16–32.
- Bishop JY, Jones GL, Rerko M, Donaldson C. 2013. 3-D CT is the most reliable imaging modality when quantifying glenoid bone loss shoulder. *Clin Orthop Relat Res* 471:1251–1256.
- Blondiaux J, Fontaine C, Demondion X, Flipo R-M, Colard T, Mitchell PD, Buzon M, Walker P. 2012. Bilateral fractures of the scapula: Possible archeological examples of beatings from Europe, Africa and America. *Int J Paleopathol* 2:223–230.
- Bochenek A, Reicher M. 2010. *Anatomia człowieka. Anatomia ogólna kości, stawy i więzadła, mięśnie*. Warszawa: Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich.
- Boileau P, Villalba M, Héry J-Y, Balg F, Ahrens P, Neyton L. 2006. Risk factors for recurrence of shoulder instability after arthroscopic Bankart repair. *J Bone Joint Surg Am* 88:1755–1763.
- Borgognini Tarli SM, Repetto E. 1986. Methodological considerations on the study of sexual dimorphism in past human populations. *Hum Evol* 1:51–56.
- Borsa PA, Laudner KG, Sauers EL. 2008. Mobility and stability adaptations in the shoulder of the overhead athlete: a theoretical and evidence-based perspective. *Sport Med* 38:17–36.
- Bridges P. 1989. Changes in Activities with the Shift to Agriculture in the Southeastern United States on JSTOR. *Curr Anthropol* 30:385–394.

- Bridges PS. 2005. Skeletal biology and behavior in ancient humans. *Evol Anthropol* 4:112–120.
- Brownson RC, Boehmer TK, Luke DA. 2005. Declining Rates of Physical Activity in the United States: What Are the Contributors? *Annu Rev Public Health* 26:421–443.
- Budge MD, Lewis GS, Schaefer E, Coquia S, Flemming DJ, Armstrong AD. 2011. Comparison of standard two-dimensional and three-dimensional corrected glenoid version measurements. *J Shoulder Elb Surg* 20:577–583.
- Buikstra JE, Ubelaker DH. 1994. Standards for data collection from human skeletal remains. Fayetteville: Arkansas Archeological Survey Research Series.
- Bulska E, Wrzesińska A, Wrzesiński J. 1996. Zawartość naczyń grobowych - próba analizy i interpretacji. *Stud Lednickie* 4:345–356.
- Burkhart SS, De Beer JF. 2000. Traumatic glenohumeral bone defects and their relationship to failure of arthroscopic Bankart repairs: significance of the inverted-pear glenoid and the humeral engaging Hill-Sachs lesion. *Arthroscopy* 16:677–694.
- Cardoso FA, Henderson CY. 2010. Enthesopathy formation in the humerus: Data from known age-at-death and known occupation skeletal collections. *Am J Phys Anthropol* 141:550–560.
- Carlson KJ, Grine FE, Pearson OM. 2007. Robusticity and sexual dimorphism in the postcranium of modern hunter-gatherers from Australia. *Am J Phys Anthropol* 134:9–23.
- Cashmore L, Zakrzewski S. 2013. Assessment of musculoskeletal stress marker development in the hand. *Int J Osteoarchaeol* 23:334–347.
- Castricini R, Gasparini G, Di Luggo F, De Benedetto M, De Gori M, Galasso O. 2013. Health-related quality of life and functionality after reverse shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg* 22:1639–1649.
- Charisi D, Eliopoulos C, Vanna V, Koiliias CG, Manolis SK. 2011. Sexual Dimorphism of the Arm Bones in a Modern Greek Population. *J Forensic Sci* 56:10–18.
- Churchill RS, Brems JJ, Kotschi H. 2001. Glenoid size, inclination, and version: An anatomic study. *J Shoulder Elb Surg* 10:327–332.
- Churchill RS. 2011. Trends in glenoid component design in unconstrained shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elb Surg* 20:S41–S346.
- Churchill SE. 2001. Hand morphology, manipulation, and tool use in Neandertals and early modern humans of the Near East. *Proc Natl Acad Sci U S A* 98:2953–2955.
- Cole PA, Freeman G, Dubin JR. 2013. Scapula fractures. *Curr Rev Musculoskelet Med* 6:79–87.

- Couteau B, Mansat P, Darmana R, Mansat M, Egan J. 2000. Morphological and mechanical analysis of the glenoid by 3D geometric reconstruction using computed tomography. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 15 Suppl 1:S8–S12.
- Čuk T, Leben-Seljak P, Štefančič M. 2001. Lateral asymmetry of human long bones. *Var Evol* 9:19–32.
- Dabbs GR, Moore-Jansen PH. 2010. A method for estimating sex using metric analysis of the scapula. *J Forensic Sci* 55:149–152.
- Dabbs GR. 2009. Is dwight right? Can the maximum height of the scapula be used for accurate sex estimation? *J Forensic Sci* 54:529–530.
- Djukic K, Milovanovic P, Hahn M, Busse B, Amling M, Djuric M. 2014. Bone microarchitecture at muscle attachment sites: The relationship between macroscopic scores of entheses and their cortical and trabecular microstructural design. *Am J Phys Anthropol* 157:81–93.
- Engelbrechtsen L, Craig E. 1993. Radiologic features of shoulder instability. *Clin Orthop Relat Res* 291:29–44.
- Evans S, Neave N, Wakelin D. 2006. Relationships between vocal characteristics and body size and shape in human males: an evolutionary explanation for a deep male voice. *Biol Psychol* 72:160–163.
- Ford JM, Decker SJ. 2015. Computed tomography slice thickness and its effects on three-dimensional reconstruction of anatomical structures. *J Forensic Radiol Imaging* in press.
- Freyer DW, Wolpoff MH. 1985. Sexual Dimorphism. *Annu Rev Anthropol* 14:429–473.
- Frelat M, Katina S, Weber GW, Bookstein FL. 2012. Technical note: A novel geometric morphometric approach to the study of long bone shape variation. *Am J Phys Anthropol* 149:628–638.
- Galtés I, Rodríguez-Baeza A, Malgosa A. 2006. Mechanical morphogenesis: A concept applied to the surface of the radius. *Anat Rec - Part A Discov Mol Cell Evol Biol* 288:794–805.
- Gerber C, Nyffeler RW. 2002. Classification of glenohumeral joint instability. *Clin Orthop Relat Res* 400:65–76.
- Gielo-Perczak K, Matz S. 2007. The area of glenoid asymmetry identified as important contributor to shoulder strength during pushing and pulling in the coronal plane. *Ergonomics* 50:1856–1870.
- Godde K, Taylor RW. 2011. Musculoskeletal stress marker (MSM) differences in the modern American upper limb and pectoral girdle in relation to activity level and body mass index (BMI). *Forensic Sci Int* 210:237–242.

- Górecki J, Łastowiecki M, Wrzesiński J. 1994. Wczesnośredniowieczne budownictwo mieszkalne Ostrowa Lednickiego. *Stud Lednickie* 3:21–45.
- Graichen H, Koydl P, Zichner L. 1999. Effectiveness of glenoid osteotomy in atraumatic posterior instability of the shoulder associated with excessive retroversion and flatness of the glenoid. *Int Orthop* 23:95–99.
- Grauer AL. 2012. Bioarchaeology's Holy Grail: The Reconstruction of Activity. In: Grauer AL, editor. *A Companion to Paleopathology*. Oxford: Wiley-Blackwell. p 531.
- Graves WW. 1921. The types of scapulae. A comparative study of some correlated characters in human scapulae. *Am J Phys Anthropol* 4:111–128.
- Gray JP, Wolfe LD. 1980. Height and sexual dimorphism of stature among human societies. *Am J Phys Anthropol* 53:441–456.
- Green DJ. 2013. Ontogeny of the hominoid scapula: The influence of locomotion on morphology. *Am J Phys Anthropol* 152:239–260.
- Gregory T, Hansen U, Khanna M, Mutchler C, Urien S, Amis A, Augereau B, Emery R. 2014. A CT scan protocol for the detection of radiographic loosening of the glenoid component after total shoulder arthroplasty. *Acta Orthop* 85:91–96.
- Greulich WW. 1976. Some secular changes in the growth of American-born and native Japanese children. *Am J Phys Anthropol* 45:553–568.
- Grewal T-J, Dickerson CR. 2013. A novel three-dimensional shoulder rhythm definition that includes overhead and axially rotated humeral postures. *J Biomech* 46:608–611.
- Griffith JF, Antonio GE, Tong CWC, Ming CK. 2003. Anterior shoulder dislocation: quantification of glenoid bone loss with CT. *Am J Roentgenol* 180:1423–1430.
- Gumina S, Albino P, Carbone S, Arceri V, Passaretti D, Candela V, Vestri A, Postacchini F. 2012. The relationship between acromion thickness and body habitus: practical implications in subacromial decompression procedures. *Musculoskelet Surg* 96 Suppl 1:S41–S45.
- Harcourt-Smith WEH, Tallman M, Frost SR, Wiley DF, Rohlf FJ, Delson E. 2008. Analysis of Selected Hominoid Joint Surfaces Using Laser Scanning and Geometric Morphometrics : A Preliminary Report. *Mamm Evol Morphol* 17:373–383.
- Havelková P, Hladík M, Velemínský P. 2013. Enthesal Changes: Do They Reflect Socioeconomic Status in the Early Medieval Central European Population? (Mikulčice - Kláštersko, Great Moravian Empire, 9th - 10th century). *Int J Osteoarchaeol* 23:237–251.
- Havelková P, Villotte S, Velemínský P, Poláček L, Dobisíková M. 2011. Enthesopathies and activity patterns in the Early Medieval Great Moravian population: Evidence of division

- of labour. *Int J Osteoarchaeol* 21:487–504.
- Havelková P, Villotte S. 2007. Enthesopathies: Test of reproducibility of the new scoring system based on current medical data. *Slov Antropológia* 10:51–57.
- Hawkey DE, Merbs CF. 1995. Activity-induced musculoskeletal stress markers (MSM) and subsistence strategy changes among ancient Hudson Bay Eskimos. *Int J Osteoarchaeol* 5:324–338.
- Henderson CY, Mariotti V, Pany-Kucera D, Perréard-Lopreno G, Villotte S, Wilczak C. 2012. The effect of age on enthesal changes at some fibrocartilaginous entheses. In: *The 81st Annual Meeting of the American Association of Physical Anthropologists*, Portland, OR.
- Henneberg M. 1974. Próba znalezienia metody badania i interpretacji asymetrii kości długich kończyn. *Przegląd Antropol* 40:113–126.
- Hirschmann MT, Konala P, Amsler F, Iranpour F, Friederich NF, Cobb JP. 2011. The position and orientation of total knee replacement components: a comparison of conventional radiographs, transverse 2D-CT slices and 3D-CT reconstruction. *J Bone Joint Surg Br* 93:629–633.
- Hoenecke HR, Hermida JC, Flores-Hernandez C, D’Lima DD. 2010. Accuracy of CT-based measurements of glenoid version for total shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elb Surg* 19:166–171.
- Holden C, Mace R. 1999. Sexual Dimorphism in Stature and Women’s Work: A Phylogenetic Cross-Cultural Analysis. *Am J Phys Anthropol* 110:27–45.
- Hrdlička A. 1942. The adult scapula. Additional observations and measurements. *Am J Phys Anthropol* 29:363–415.
- Huijsmans PE, Haen PS, Kidd M, Dhert WJ, van der Hulst VPM, Willems WJ. 2007. Quantification of a glenoid defect with three-dimensional computed tomography and magnetic resonance imaging: A cadaveric study. *J Shoulder Elb Surg* 16:803–809.
- Humphrey LT. 1998. Growth patterns in the modern human skeleton. *Am J Phys Anthropol* 105:57–72.
- Iannotti JP, Ricchetti ET, Rodriguez EJ, Bryan J. 2013. Development and validation of a new method of 3-dimensional assessment of glenoid and humeral component position after total shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elb Surg* 22:1413–1422.
- Ibáñez-Gimeno P, De Esteban-Trivigno S, Jordana X, Manyosa J, Malgosa A, Galtés I. 2013. Functional plasticity of the human humerus: Shape, rigidity, and muscular entheses. *Am J Phys Anthropol* 150:609–617.
- Inui H, Sugamoto K, Miyamoto T, Yoshikawa H, Machida A, Hashimoto J, Nobuhara K. 2002.

- Glenoid shape in atraumatic posterior instability of the shoulder. *Clin Orthop Relat Res* 403:87–92.
- Işcan M, Loth S, King C, Shihai D, Yoshino M. 1998. Sexual dimorphism in the humerus: a comparative analysis of Chinese, Japanese and Thais. *Forensic Sci Int* 98:17–29.
- Itoi E, Lee SB, Berglund LJ, Berge LL, An KN. 2000. The effect of a glenoid defect on anteroinferior stability of the shoulder after Bankart repair: a cadaveric study. *J Bone Joint Surg Am* 82:35–46.
- Iwaszczuk U. 2014. Animal husbandry on the Polish territory in the Early Middle Ages. *Quat Int* 346:69–101.
- Jantz LM, Jantz RL. 1999. Secular change in long bone length and proportion in the United States, 1800-1970. *Am J Phys Anthropol* 110:57–67.
- Jaskulska E. 2009. Skeletal bilateral asymmetry in a medieval population from Deir an-Naqlun (Neklioni), Egypt. *Bioarchaeology Near East* 3:17–26.
- Junno JA, Niinimäki S, Niskanen M, Nunez M, Tuukkanen J. 2011. Cross sectional properties of the human radial tuberosity. *HOMO- J Comp Hum Biol* 62:459–465.
- Jurmain R, Villotte S. 2010. Entheses in medical literature and physical anthropology: a brief review. In: *Workshop in Musculoskeletal Stress Markers (MSM): limitations and achievements in the reconstruction of past activity patterns*. Coimbra: University of Coimbra. p 1–5.
- Kanazawa S, Novak DL. 2005. Human Sexual Dimorphism in Size May Be Triggered By Environmental Cues. *J Biosoc Sci* 37:657–665.
- Kim G, Jung H-J, Lee H-J, Lee J-S, Koo S, Chang S-H. 2012. Accuracy and reliability of length measurements on three-dimensional computed tomography using open-source OsiriX software. *J Digit Imaging* 25:486–491.
- Klingenberg CP. 2011. MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Mol Ecol Resour* 11:353–357.
- Kola A, Wilke G. 1989. Sprawozdanie z archeologicznych badań podwodnych reliktyw wczesnośredniowiecznego mostu “poznańskiego” (Rybitwy, stan. 3a) w Jeziorze Lednickim w latach 1986-1987. *Stud Lednickie* 1:77–97.
- Kotani K, Tokunaga K, Fujioka S, Kobatake T, Keno Y, Yoshida S, Shimomura I, Tarui S, Matsuzawa Y. 1994. Sexual dimorphism of age-related changes in whole-body fat distribution in the obese. *Int J Obes Relat Metab Disord* 18:202–207.
- Kranioti EF, Michalodimitrakis M. 2009. Sexual dimorphism of the humerus in contemporary cretans - A population-specific study and a review of the literature. *J Forensic Sci* 54:996–

1000.

- Krenz-Nedbała M. 2009. Skeletal health and growth indicators in medieval children from Ostrów Lednicki, Western-Central Poland. *Anthropologie* 47:253–264.
- Krenz-Niedbała M. 2015. Did Children in Medieval and Post-medieval Poland Suffer from Scurvy? Examination of the Skeletal Evidence. *Int J Osteoarchaeol*.
- Kubicka AM, Lubiowski P, Długosz J, Romanowski L, Piontek J. 2016a. Directional Asymmetry of Upper Limbs in a Medieval Population from Poland: a Combination of Linear and Geometric Morphometrics. W recenzji.
- Kubicka AM, Myszk A, Piontek J. 2015. Geometric Morphometrics: Does the Appearance of the Septal Aperture Depend on the Shape of Ulnar Processes? *Anat Rec* 298:2030–2038.
- Kubicka AM, Piontek J. 2016. Sex estimation from measurements of the first rib in a contemporary Polish population. *Int J Legal Med* 130:265–272.
- Kubicka AM, Stefaniak J, Lubiowski P, Długosz J, Dziańach M, Redman M, Piontek J, Romanowski L. 2016b. Reliability of measurements performed on 2-Dimensional and 3-Dimensional Computed Tomography in glenoid assessment for instability. W recenzji.
- Kujanová M, Bigoni L, Velemínská J, Velemínský P. 2008. Limb bones asymmetry and stress in medieval and recent populations of Central Europe. *Int J Osteoarchaeol* 18:476–491.
- Kurnatowska Z. 1991. Zasielenie regionu Lednicy w pradziejach i średniowieczu w świetle dotychczasowych badań. Poznań: Wydawnictwo Naukowe Uniw. im. Adama Mickiewicza,.
- Kwiatkowska B, Szczurowski J, Dąbrowski P, Krzyżanowska M. 2006. Ocena antropologiczna wieku starczego w populacjach pradziejowych. *Funer Lednickie* 8:19–24.
- Kwon YW, Powell K, Yum JK, Brems JJ, Iannotti JP. 2005. Use of three-dimensional computed tomography for the analysis of the glenoid anatomy. *J Shoulder Elb Surg* 14:85–90.
- Lalone EA, Willing RT, Shannon HL, King GJW, Johnson JA. 2015. Accuracy assessment of 3D bone reconstructions using CT: an intro comparison. *Med Eng Phys* 37:729–738.
- Larson SG. 1998. Parallel Evolution in the Hominoid Trunk and Forelimb. *Evol Anthropol* 6505:87–99.
- Lubiowski P, Olczak I, Lisiewicz E, Bręborowicz M, Długosz J, Redman M, Ogrodowicz P, Romanowski L. 2013. Clinical and functional evaluation of patients after total elbow arthroplasty. *Polish Orthop Traumatol* 78:53–58.
- Łastowiecki M. 1989. Stratygrafia i chronologia Ostrowa Lednickiego. *Stud Lednickie* 1:17–70.

- Magarelli N, Milano G, Sergio P, Santagada D, Fabbriani C, Bonomo L. 2009. Intra-observer and interobserver reliability of the “Pico” computed tomography method for quantification of glenoid bone defect in anterior shoulder instability. *Skeletal Radiol* 38:1071–1075.
- Mahfouz M, Badawi A, Merkl B, Fatah E, Pritchard E, Kesler K, Moore M, Jantz R, Jantz L. 2007. Patella sex determination by 3D statistical shape models and nonlinear classifiers. *Forensic Sci Int* 173:161–170.
- Maklakov AA, Lummaa V. 2013. Evolution of sex differences in lifespan and aging: Causes and constraints. *BioEssays* 35:717–724.
- Makowiecki D, Tomek T, Bochenski ZM. 2014. Birds in Early Medieval Greater Poland: Consumption and Hawking. *Int J Osteoarchaeol* 24:358–364.
- Makowiecki D. 2001. Hodowla oraz użytkowanie zwierząt na Ostrowie Lednickim w średniowieczu. Poznań: Biblioteka studiów lednickich.
- Mariotti V, Facchini F, Giovanna Belcastro M. 2007. The study of entheses: proposal of a standardised scoring method for twenty-three entheses of the postcranial skeleton. *Coll Antropol* 31:291–313.
- Maurel W, Thalmann D. 2000. Human shoulder modeling including scapulo-thoracic constraint and joint sinus cones. *Comput Graph* 24:203–218.
- Mays S, Steele J, Ford M. 1999. Directional asymmetry in the human clavicle. *Int J Osteoarchaeol* 9:18–28.
- Mays SA. 2002. Asymmetry in Metacarpal Cortical Bone in a Collection of British Post-Mediaeval Human Skeletons. *J Archaeol Sci* 29:435–441.
- McIntosh AR, Bookstein FL, Haxby J V, Grady CL. 1996. Spatial pattern analysis of functional brain images using partial least squares. *Neuroimage* 3:143–157.
- Milano G, Grasso A, Russo A, Magarelli N, Santagada DA, Deriu L, Baudi P, Bonomo L, Fabbriani C. 2011. Analysis of risk factors for glenoid bone defect in anterior shoulder instability. *Am J Sports Med* 39:1870–1876.
- Milella M, Giovanna Belcastro M, Zollikofer CP, Mariotti V. 2012. The effect of age, sex, and physical activity on enthesal morphology in a contemporary Italian skeletal collection. *Am J Phys Anthr* 148:379–388.
- Mitteroecker P, Gunz P. 2009. Advances in Geometric morphometrics. *Evol Biol* 36:235–247.
- Moineau G, Levigne C, Boileau P, Young A, Walch G. 2012. Three-dimensional measurement method of arthritic glenoid cavity morphology: Feasibility and reproducibility. *Orthop Traumatol Surg Res* 98:S139–S145.
- Molnar P. 2006. Tracing prehistoric activities: Musculoskeletal stress marker analysis of a

- stone-age population on the Island of Gotland in the Baltic Sea. *Am J Phys Anthropol* 129:12–23.
- Mountrakis C, Manolis SK. 2015. Enthesal Change of the Upper Limb in a Mycenaean Population From Athens. *Mediterr Archaeol Archaeom* 15:209–220.
- Murphy A. 2005. Articular surfaces of the pectoral girdle: sex assessment of prehistoric New Zealand Polynesian skeletal remains. *Forensic Sci Int* 154:210–213.
- Myszka A, Piontek J. 2011. Shape and size of the body vs. musculoskeletal stress markers. *Anthropol Anzeiger* 68:139–152.
- Myszka A. 2007. Rekonstrukcja budowy somatycznej człowieka na podstawie wybranych cech szkieletu. Poznań: Wydawnictwo Naukowe UAM.
- Niinimäki S. 2012. The relationship between musculoskeletal stress markers and biomechanical properties of the humeral diaphysis. *Am J Phys Anthropol* 147:618–628.
- Nyffeler RW, Jost B, Pfirrmann CWA, Gerber C. 2003. Measurement of glenoid version: conventional radiographs versus computed tomography scans. *J Shoulder Elb Surg* 12:493–496.
- O’Higgins P, Weber GW, Baverstock H, Proa M, Dunn J, Fornai C. 2012. Manuals for the EVAN Toolbox. Available from: <http://www.evan-society.org/node/42>
- Ogilvie MD, Hilton CE. 2011. Cross-sectional geometry in the humeri of foragers and farmers from the prehispanic American Southwest: Exploring patterns in the sexual division of labor. *Am J Phys Anthropol* 144:11–21.
- Osborn ML, Homberger DG. 2015. The Human Shoulder Suspension Apparatus: A Causal Explanation for Bilateral Asymmetry and a Fresh Look at the Evolution of Human Bipedality. *Anat Rec* 298:1572–1588.
- Otto RJ, Virani N, Levy JC, Nigro PT, Cuff DJ, Frankle M. 2013. Scapular fractures after reverse shoulder arthroplasty: Evaluation of risk factors and the reliability of a proposed classification. *J Shoulder Elb Surg* 22:1514–1521.
- Özener B. 2007. Biomechanical pressures and upper extremity asymmetry: a study on young laborers. *Coll Antropol* 31:693–699.
- Özener B. 2010. Fluctuating and directional asymmetry in young human males: Effect of heavy working condition and socioeconomic status. *Am J Phys Anthropol* 143:112–120.
- Ozer I, Katayama K, Sağır M, Güleç E. 2006. Sex determination using the scapula in medieval skeletons from East Anatolia. *Coll Antropol* 30:415–419.
- Palmer AR, Strobeck C. 1992. Fluctuating asymmetry as a measure of developmental stability: implications of non-normal distributions and power of statistical tests. *Acta Zool Fenn*

191:57–72.

- Papaioannou V, Kranioti EF, Joveneaux P, Nathena D, Michalodimitrakis M. 2012. Sexual dimorphism of the scapula and the clavicle in a contemporary Greek population: Applications in forensic identification. *Forensic Sci Int* 217:231.e1–231.e7.
- Parr WCH, Chamoli U, Jones A, Walsh WR, Wroe S. 2013. Finite element micro-modelling of a human ankle bone reveals the importance of the trabecular network to mechanical performance: New methods for the generation and comparison of 3D models. *J Biomech* 46:200–205.
- Piasecki DP, Verma NN, Romeo A, Levine WN, Bach BR, Provencher MT. 2009. Glenoid bone deficiency in recurrent anterior shoulder instability: diagnosis and management. *J Am Acad Orthop Surg* 17:482–493.
- Pinhasi R, Stock T. 2011. *Human Bioarchaeology of the Transition to Agriculture*. Oxford: John Wiley & Sons.
- Piontek J. 2003. Dymorfizm płciowy jako wyznacznik warunków życia w populacjach pradziejowych i historycznych. In: *Kobieta - Śmierć - Mężczyzna*. Stowarzyszenie Naukowe Archeologów Polskich, Oddział w Poznaniu. p 381.
- Plochocki JH. 2016. Bilateral variation in limb articular surface dimensions. *Am J Hum Biol* 16:328–333.
- Prescher A, Klümpen T. 1995. Does the area of the glenoid cavity of the scapula show sexual dimorphism? *J Anat* 186:223–226.
- Prescher A, Klümpen T. 1997. The glenoid notch and its relation to the shape of the glenoid cavity of the scapula. *J Anat* 190:457–460.
- Psonak D, Kwiatkowska B. 2012. Selection of skull morphological traits for sexual dimorphism analysis. *HOMO - J Comp Hum Biol* 63:258–274.
- Püschel TA, Sellers WI. 2016. Standing on the shoulders of apes: Analyzing the form and function of the hominoid scapula using geometric morphometrics and finite element analysis. *Am J Phys Anthropol* 159:325–341.
- Rerko MA, Pan X, Donaldson C, Jones GL, Bishop JY. 2013. Comparison of various imaging techniques to quantify glenoid bone loss in shoulder instability. *J Shoulder Elb Surg* 22:528–534.
- Roren A, Lefevre-Colau MM, Poiraudau S, Fayad F, Pasqui V, Roby-Brami A. 2015. A new description of scapulothoracic motion during arm movements in healthy subjects. *Man Ther* 20:46–55.
- Roziing PM, Obermann WR. 1999. Osteometry of the glenohumeral joint. *J shoulder Elb Surg*

8:438–442.

- Ruff C, Holt B, Trinkaus E. 2006. Who's afraid of the big bad Wolff?: "Wolff's law" and bone functional adaptation. *Am J Phys Anthropol* 129:484–498.
- Ruff CB, Jones HH. 1981. Bilateral asymmetry in cortical bone of the humerus and tibia-sex and age factors. *Hum Biol* 53:69–86.
- Sakaue K. 1997. Bilateral Asymmetry of the Humerus in Jomon People and Modern Japanese. *Anthropol Sci* 105:231–246.
- Saliken DJ, Bornes TD, Bouliane MJ, Sheps DM, Beaupre L. 2015. Imaging methods for quantifying glenoid and Hill-Sachs bone loss in traumatic instability of the shoulder: a scoping review. *BMC Musculoskelet Disord* 18:164.
- Santana-Cabrera J, Velasco-Vázquez J, Rodríguez-Rodríguez A. 2015. Enthesal changes and sexual division of labor in a North-African population: The case of the pre-Hispanic period of the Gran Canaria Island (11th–15th c. CE). *HOMO - J Comp Hum Biol* 66:118–138.
- Santos AL, Alves-Cardoso F, Assis S, Villotte S. 2011. The Coimbra workshop in musculoskeletal stress markers (MSM): An annotated review. *Antropol Port* 28:135–161.
- Scalise JJ, Codsí MJ, Bryan J, Iannotti JP. 2008. The three-dimensional glenoid vault model can estimate normal glenoid version in osteoarthritis. *J Shoulder Elb Surg* 17:487–491.
- Scheuer L, Black SM. 2000. *Developmental juvenile osteology*. Chichester: John Wiley.
- Scholtz Y, Steyn M, Pretorius E. 2010. A geometric morphometric study into the sexual dimorphism of the human scapula. *HOMO- J Comp Hum Biol* 61:253–270.
- Shi L, Griffith JF, Huang J, Wang D. 2013. Excellent side-to-side symmetry in glenoid size and shape. *Skeletal Radiol* 42:1711–1715.
- Sládek V, Berner M, Sosna D, Sailer R. 2007. Human manipulative behavior in the Central European Late Eneolithic and Early Bronze Age: Humeral bilateral asymmetry. *Am J Phys Anthropol* 133:669–681.
- Slice DE. 2007. Geometric Morphometrics. *Annu Rev Anthropol* 36:261–281.
- Soslowsky LJ, Flatow EL, Bigliani LU, Pawluk RJ, Ateshian GA, Mow VC. 1992. Quantitation of in situ contact areas at the glenohumeral joint: A biomechanical study. *J Orthop Res* 10:524–534.
- Squyres N, DeLeon VB. 2015. Clavicular curvature and locomotion in anthropoid primates: A 3D geometric morphometric analysis. *Am J Phys Anthropol* 158:257–268.
- Steele J, Mays S. 1995. Handedness and directional asymmetry in the long bones of the human upper limb. *Int J Osteoarchaeol* 5:39–49.
- Stępnik T. 1996. Średniowieczne wyroby drewniane z Ostrowa Lednickiego - analiza

- surowcowa. Stud Lednickie 4:261–296.
- Sugaya H, Moriishi J, Dohi M, Kon Y, Tsuchiya A. 2003. Glenoid rim morphology in recurrent anterior glenohumeral instability. *J Bone Joint Surg Am* 85:878–884.
- Sullivan DO, Bokor DJ, Hazan J. 1999. Variability computed of measurement of glenoid tomography scan version on. *J Shoulder Elb Surg* 8:595–598.
- Szopa J. 1985. Zmienność ontogenetyczna, zróżnicowanie środowiskowe oraz genetyczne uwarunkowania rozwoju komponentów ciała w populacji wielkowiejskiej w wieku 7 - 61 lat. In: Przyczynek do badań rodzinnych nad trendem sekularnym wysokości ciała. Kraków: Wydawnictwo Monograficzne AWF.
- Tabaka A. 2005. Domniemane miejsce targowe na Ostrowie Lednickim. Stud Lednickie 8:131–144.
- Tagaya A. 1989. Development of a Generalized Discriminant Function for Cross-Population Determination of Sex from Long Bones of the Arm and Leg. *Can Soc Forensic Sci J* 22:159–176.
- Tobolski K. 1989. Wstępna informacja o badaniach paleobotanicznych podwodnych warstw kulturowych w Jeziorze Lednickim. Stud Lednickie 1:99–102.
- Tomczyk J, Jędrychowska-Dańska K, Płoszaj T, Witas HW. 2011. Anthropological analysis of the osteological material from an ancient tomb (Early Bronze Age) from the middle Euphrates valley, Terqa (Syria). *Int J Osteoarchaeol* 21:435–445.
- Tomczyk J, Sołtysiak A. 2009. Zmienność wskaźników platyknemii, platymerii i pilastrii w populacjach środkowej doliny Eufratu (Syria). In: Dzieduszycki W, Wrzesiński J, editors. *Metody, Źródła, Dokumenty*. Poznań. p 273–277.
- Trinkaus E, Churchill SE, Ruff CB. 1994. Postcranial robusticity in Homo. II: Humeral bilateral asymmetry and bone plasticity. *Am J Phys Anthropol* 93:1–34.
- Trinkaus E, Stringer CB, Ruff CB, Hennessy RJ, Roberts MB, Parfitt SA. 1999. Diaphyseal cross-sectional geometry of the Boxgrove 1 Middle Pleistocene human tibia. *J Hum Evol* 37:1–25.
- Ulijaszek SJ, Kerr DA. 1999. Anthropometric measurement error and the assessment of nutritional status. *Br J Nutr* 82:165–177.
- Van Valen L. 1962. A Study of Fluctuating Asymmetry. *Evolution (N Y)* 16:125–142.
- Velemínská J, Krajíček V, Dupej J, Gómez-Valdés JA, Velemínský P, Šefčáková A, Pelikán J, Sánchez-Mejorada G, Brůžek J. 2013. Technical note: geometric morphometrics and sexual dimorphism of the greater sciatic notch in adults from two skeletal collections: the accuracy and reliability of sex classification. *Am J Phys Anthropol* 152:558–565.

- Villot S, Knüsel CJ. 2013. Understanding Enteseal Changes: Definition and Life Course Changes. *Int J Osteoarchaeol* 23:135–146.
- Di Vincenzo F, Churchill SE, Manzi G. 2012. The Vindija Neanderthal scapular glenoid fossa: Comparative shape analysis suggests evo-devo changes among Neanderthals. *J Hum Evol* 62:274–285.
- Waidhofer M, Kirchengast S. 2015. Sexual dimorphism in directional asymmetry of the upper limb bones among Khoe-San skeletons. *HOMO - J Comp Hum Biol* 66:508–519.
- Walter SD, Eliasziw M, Donner A. 1998. Sample size and optimal designs for reliability studies. *Stat Med* 17:101–110.
- Weber GW, Bookstein FL, Strait DS. 2011. Virtual anthropology meets biomechanics. *J Biomech* 44:1429–1432.
- Weber GW, Bookstein FL. 2011. *Virtual Anthropology - A guide to a new interdisciplinary*. Vienna: Springer-Verlag Wien.
- Weishaupt D, Zanetti M, Nyffeler RW, Gerber C, Hodler J. 2000. Posterior glenoid rim deficiency in recurrent (atraumatic) posterior shoulder instability. *Skeletal Radiol* 29:204–210.
- Weiss E. 2007. Muscle Markers Revisited: Activity Pattern Reconstruction With Controls in a Central California Amerind Population. *Am J Phys Anthropol* 133:931–940.
- Weiss E. 2009. Sex differences in humeral bilateral asymmetry in two hunter-gatherer populations: California Amerinds and British Columbian Amerinds. *Am J Phys Anthropol* 140:19–24.
- White T, Folkens P. 2005. *The Human Bone Manual*. Oxford: Elsevier.
- De Wilde LF, Verstraeten T, Speckaert W, Karelse A. 2010. Reliability of the glenoid plane. *J Shoulder Elb Surg* 19:414–422.
- Wolański N. 2008. *Ekologia człowieka. Ewolucja i dostosowanie biokulturowe*. Warszawa: Wydawnictwo Monograficzne AWF.
- Wolański N. 2012. *Ekologia człowieka. Wrażliwość na czynniki środowiska i biologiczne zmiany przystosowawcze*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Wrześcińska A, Wrześciński J. 1998. Próba interpretacji struktury społecznej ludności na cmentarzysku: doniesienie wstępne. *Stud Lednickie* 5:13–27.
- Wrześcińska A. 1994. Materiał szkieletowy w zbiorach Muzeum Pierwszych Piastów na Lednicy. *Stud Lednickie* 3:359–366.
- Wrześcińska A. 1998. Stan zbioru ludzkiego materiału szkieletowego Działu Archeologicznego Muzeum Pierwszych Piastów na Lednicy. *Stud Lednickie* 5:405–406.

- Wrześniński J. 1989. Cmentarzysko szkieletowe w Dziekanowicach, gm. Lubowo, st. 2. Stud Lednickie 1:103–146.
- Wrześniński J. 1994. Lednicki przyczynek do znajomości plecionkarstwa. Stud Lednickie 3:151–171.
- Wu K, Wong KL, Ng SJK, Quek ST, Zhou B, Murphy DP, Daruwalla ZJ, Ren H. 2015. Statistical atlas-based morphological variation analysis of the asian humerus: Towards consistent allometric implant positioning. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 10:317–327.
- Zelditch ML, Swiderski DL, Sheets HD, Fink WL. 2004. *Geometric Morphometrics for Biologists*. San Diego: Elsevier.
- Zelditch ML, Swiderski DL, Sheets HD. 2012. *A Practical Companion to Geometric Morphometrics for Biologists: Running analyses in freely-available software*.
- Zelditch ML, Świderski DL, Sheets HD, Fink WL. 2004. *Geometric Morphometrics for Biologists: A Primer*. New York: Elsevier Academic Press.

SUPLEMENT

Na płycie zostało umieszczonych 11 filmików, które mają na celu zobrazować poszczególne etapy analizy materiału. Filmy zapisano w dwóch formatach: *.mp4 oraz *.wmv.

Suplement 1. Metoda 2D.

Suplement 2. Metoda 3D – tworzenie rekonstrukcji 3D.

Suplement 3. Metoda 3D – oczyszczanie rekonstrukcji.

Suplement 4. Metoda 3D – mierzenie rekonstrukcji.

Suplement 5. Rozprowadzanie semilandmarków.

Suplement 6. Dymorfizm płciowy – populacja średniowieczna – prawa strona ciała.

Suplement 7. Dymorfizm płciowy – populacja współczesna – lewa strona ciała.

Suplement 8. Dymorfizm płciowy – populacja współczesna – prawa strona ciała.

Suplement 9. Asymetria kierunkowa – populacja średniowieczna – kobiety.

Suplement 10. Asymetria kierunkowa – populacja współczesna – kobiety.

Suplement 11. Asymetria kierunkowa – populacja współczesna – mężczyźni.