

Joanna JUSZKIEWICZ, Grzegorz MILEWSKI (opiekun naukowy), Katedra Mechaniki Doświadczalnej i Biomechaniki, Politechnika Krakowska, Kraków

METODYKA BADAŃ ANTROPOMETRYCZNYCH STÓP PRZY WYKORZYSTANIU SKANERA 3D

Streszczenie. Praca ma na celu przedstawienie możliwości zastosowania skanera 3D – FootScan FTS-4 firmy Ideas w diagnozowaniu stóp oraz pomiarach antropometrycznych. Badania przeprowadzono dla grupy 12 kobiet w wieku od 22 do 61 lat w Centralnym Laboratorium Przemysłu Obuwniczego w Krakowie 2006 roku. Głównym celem pracy było porównanie wyników badań antropometrycznych uzyskanych metodami tradycyjnymi (pomiar wykonany bezpośrednio na stopie, metoda plantokonturograficzna) oraz przy użyciu skanera 3D.

1. WSTĘP

Stopy u człowieka odgrywają fundamentalną rolę w całokształcie zdrowia i dobrego samopoczucia. Muszą być one równocześnie mocne, sprężyste i wytrzymałe, elastyczne i ruchome we wszystkich kierunkach i płaszczyznach. Stopa to w rzeczywistości zwierciadło zdrowia całego naszego ciała, informujące, w jakim stanie znajduje się nasz organizm. Leonardo da Vinci swój zachwyt nad tym małym fragmentem ciała zamknął w jednym zdaniu: "Ludzka stopa jest maszyną o mistrzowskiej konstrukcji oraz dziełem sztuki". Jednakże, by ta mistrzowska konstrukcja pracowała bez zarzutu, należy ją odpowiednio zabezpieczać przed szkodliwym działaniem czynników zewnętrznych.

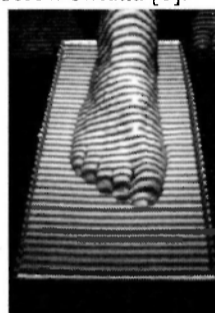
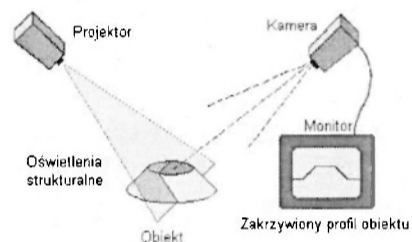
Celem niniejszej pracy jest przedstawienie potrzeby powiązania myślenia antropometrycznego z myśleniem technicznym, a mianowicie przedstawienie możliwości wykorzystania skanera 3D do pomiarów antropometrycznych. W pracy starano się udowodnić konieczność przejścia antropometrii na nowe tory badań wynikłe z zapotrzebowania techniki, a tym samym niezbędność rozszerzenia klasycznych metod badawczych i uwzględnienia w metodyce badań szeregu nowych możliwości, jakie daje nam współczesna technika.

Skanowanie trójwymiarowe dostarcza szereg możliwości nie tylko w celach pomiarowych i antropometrycznych, ale przede wszystkim może być wykorzystywane w ocenie ewentualnych zaburzeń w budowie stopy. Na tej podstawie specjalistyczne oprogramowanie pozwala tworzyć wkładki ortopedyczne, czy też buty na miarę. Stąd też w niniejszej pracy zostaną przedstawione podstawowe metody badań stóp, tj. pomiary stóp, plantokonturografia, pedobarografia oraz badanie stóp przy pomocy skanerów trójwymiarowych. Przede wszystkim zostaną przedstawione korzyści, jakie mogą wypływać z użytkowania skanera 3D. Szeroka gama możliwości programów do digitalizacji stóp daje, bowiem ogromny potencjał tym zakresie.

2. METODYKA BADAŃ STOP PRZY UŻYCIU SKANERA 3D

2.1. Technika skanowania stopy przy użyciu skanera 3D firmy Ideas

Skaner FTS-4 jest najbardziej rozbudowaną wersją ze skanerów oferowanych przez belgijską firmę IDEAS. Jest to skaner optyczny wykorzystujący światło białe ISL¹ (rys. 1). Rozwiązanie jest wzorowane na działaniu zwykłej świetlówki, której światło miga 50 razy na sekundę, a więc tak często, że oko tego nie dostrzega. Podobnie ISL wydaje się być ciągłym, białym światłem, ale w rzeczywistości są to szybkozmienne przebiegi rastrujące, widoczne tylko dla wyspecjalizowanych, zsynchronizowanych kamer. Jest ono odbierane przez ludzkie oko jak zwykle białe światło, ale w rzeczywistości składa się ono z krótko wyświetlanych różnych deseni, umożliwiających komputerowi odczytanie szczegółów plastycznej budowy digitalizowanego obiektu. Ukryte kamery wideo obserwują obiekt z różnych punktów, co umożliwia wytworzenie jego trójwymiarowego modelu. Obiekt jest oświetlany sekwencją wzorów prążkowych (rys. 2). Następnie komputer oblicza współrzędne punktów powierzchni z serii obrazów prążków zdeformowanych na obiekcie. Obraz jest rejestrowany za pomocą czujników optycznych zwykle jest to cyfrowy aparat fotograficzny. Stąd też skaner optyczny zbudowany jest z projektorów wzorów prążkowych oraz z sensorów światła [1].



Rys. 1. Zasada działania skanera optycznego Rys. 2. Obraz prążków na powierzchni obiektu

Skaner FTS-4 jest zbudowany z trzech skanujących elementów, a stopa fotografowana jest dwuetapowo z 4 różnych stron. Stopę, bowiem umieszcza się w specjalnej piance, najpierw skanowane jest podbicie, a później wewnętrzna i zewnętrzna część stopy, a na końcu negatyw stopy odbity w piance. Na każde ujęcie potrzeba 1 sekundy, co ostatecznie wydłuża cały proces do około 4 sekund.

Kolejnym etapem jest wygenerowanie obrazu trójwymiarowego za pomocą programu FootScan (rys. 3). Niestety program nie tworzy obrazu automatycznie, wymaga znacznego nakładu sił, doświadczenia i umiejętności, co w konsekwencji może wiązać się z błędami podczas obróbki danych pobranych w czasie całego procesu. Ponadto wydłuża się także cały proces uzyskania trójwymiarowego obrazu stopy, czego nie można zaliczyć do atutów tego typu urządzenia.

Niewątpliwą zaletą tego urządzenia można uznać jego mobilność. Istnieje możliwość zapakowania go do specjalnej walizki, dzięki czemu badania można przeprowadzać w niemal dowolnym miejscu. Wymiary walizki to 650 x 435 x 250, więc skaner można przewozić w bagażniku samochodu osobowego [2].

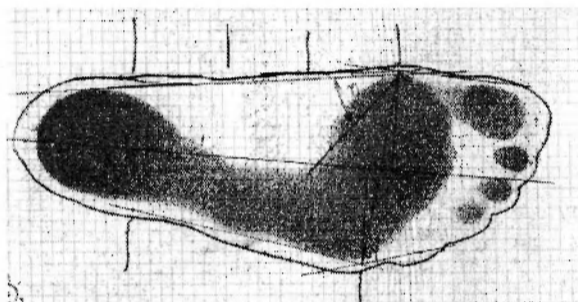
¹ Imperceptible Structural Light - niedostrzegalne światło strukturalne



Rys. 3. Model trójwymiarowy stopy

2.2. Materiał badawczy i metoda przeprowadzania badań

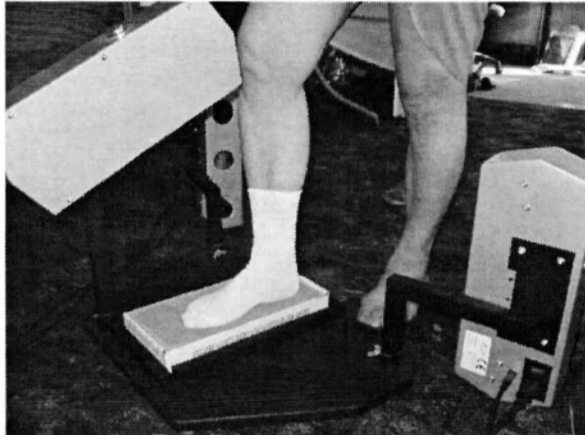
Materiały wykorzystane przy pisaniu niniejszej pracy pochodzą z badań antropometrycznych przeprowadzonych na przełomie lipca i sierpnia 2006 w Centralnym Laboratorium Przemysłu Obuwniczego w Krakowie. Zebrany materiał obejmuje 12 kobiet w wieku od 22 do 61 lat o średniej długości stopy wynoszącej 233,83. Grupę dobrano w taki sposób, aby długość stóp osób badanych odpowiadała tak zwanemu numerowi podstawowemu (średkowemu). Jest to numer $23 \frac{1}{2}$ w numeracji metrycznej, stosowany w projektowaniu i konstrukcji kopyt oraz obuwia damskiego [3]. Wszystkie badania były przeprowadzane na nodze prawej.



Rys. 4. Odbitka plantokonturograficzna stopy

W pierwszym etapie badań przeprowadzono pomiary antropometryczne wykonane bezpośrednio na stopach pacjentek. W antropometrii z reguły przyjmuje się, że pomiar dokonywany jest na stopie osoby stojącej, a ciężar ciała tej osoby rozłożony jest równomiernie na obie nogi. [4,5] Punktami wyznaczającymi pomiar bezpośrednio na stopie będą najbardziej do tyłu wysunięty punkt łuku pięty oraz najbardziej do przodu wysunięty punkt, znajdujący się na pierwszym (lub najbardziej do przodu wysunięty punkt na palcu drugim lub trzecim, tam gdzie długość stopy jest największa). Przy dokonywaniu pomiarów długościowych wykorzystano cyrkiel kabłąkowy. Następnie zmierzone zostały wysokości poszczególnych punktów na stopie z wykorzystaniem wysokościomierzy. Obwody stopy były natomiast mierzone za pomocą taśmy szwskiej. Dokładność odczytu w przypadku wymienionych przyrządów - do 1 mm. Ważnym uzupełnieniem bezpośrednich pomiarów jest plantokonturogram stopy (rys. 4), z którego odczytać można następujące wymiary stopy: długość stopy, odległość od pięty do stawu pałucha, odległość od pięty do stawu V-go palca, szerokość przodostopia, szerokość pięty.

Kolejnym, trzecim etapem było skanowanie stóp oraz przeprowadzenie pomiarów na otrzymanych modelach trójwymiarowych za pomocą programu FootCAD (rys. 5). Niestety pomimo zapewnień producenta pomiary antropometryczne nie dały oczekiwanych wyników. Przede wszystkim problemy zaczęły się już na wstępnym etapie przygotowania sposobu i metodologii przeprowadzania pomiarów na modelu. Trudności pojawiły się przy wyborze punktów pomiarowych, tak, aby były one zgodne z punktami określonymi wcześniej na stopach pacjentek. Odczytać wymiary można jedynie na siatce modelu (rys. 6), czyli bardzo ciężko jest wybrać odpowiednie miejsca, nie widać, bowiem ani stawów ani kostek.

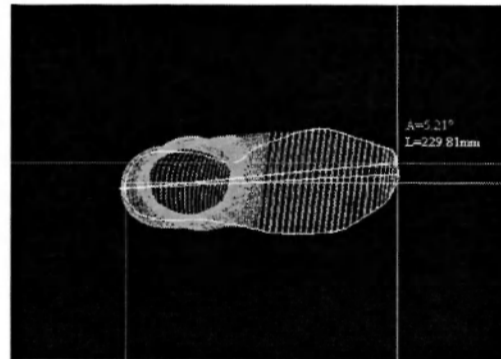


Rys. 5. Proces digitalizacji stopy na skanerze 3D

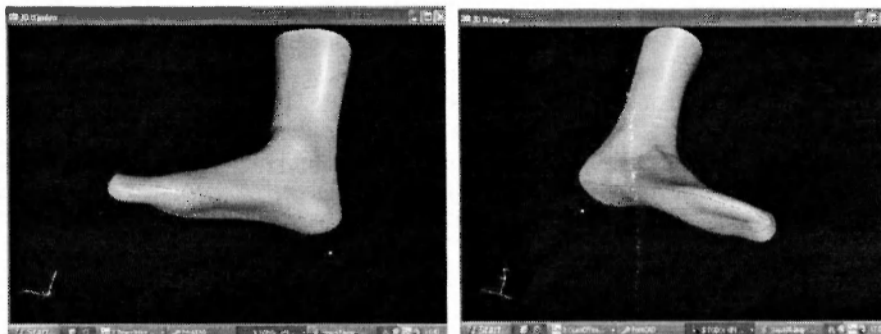
W programie FootCAD zmierzono następujące wymiary stopy: długość stopy (rys. 7), odległość od pięty do stawu palucha, odległość od pięty do stawu V-go palca, szerokość przodostopia szerokość pięty, obwód przodostopia, obwód przez podbicie, obwód przez piętę, obwód w miejscu kostki wewnętrznej.



Rys. 6. Siatka stopy w programie FootCAD



Rys.7. Pomiar długości stopy w programie FootCAD



Rys. 8. Modele trójwymiarowe stopy w programie FootCAD

2.3. Analiza i dyskusja wyników

W tabeli 2.1 zestawiona jest jedna z wybranych cech – długość stopy oraz porównane są wyniki otrzymane przy pomocy skanera 3D z pomiarami bezpośrednimi oraz z odbitkami. Dla każdej z cech obliczono podstawowe statystyki: średnie arytmetyczne \bar{X} i odchylenia standardowe δ .

Tabela 1. Cechy długościowe stopy

Osoba badana	Długość stopy - ślad			różnice	
	Stopa [mm]	Odbitka [mm]	Skaner [mm]	skaner-stopa	skaner-odbitka
1	234	222	216	-18	-6
2	232	223	223	-9	0
3	236	227	232	-4	5
4	229	217	222	-7	5
5	237	229	237	0	8
6	237	228	234	-3	6
7	232	225	230	-2	5
8	236	221	221	-15	0
9	230	225	222	-8	-3
10	231	220	222	-9	2
11	241	238	230	-11	-8
12	231	220	218	-13	-2
\bar{X}	233,83	224,58	225,58	max=18	max=8
δ	3,44	5,31	6,44	min=0	min=0

W wymiarach odcinków długościowych stopy łatwo zaobserwować znaczne różnice pomiędzy pomiarami wykonanymi na obrazie trójwymiarowym w programie FootCAD, a wynikami otrzymanymi z pomiarów bezpośrednich czy pomiarów na odbitkach. Różnice wynoszą nawet 18 mm, co stanowi 7,7 % całkowitej długości stopy. Przy pomiarach antropometrycznych tak duża różnica w pomiarach jest niedopuszczalna.

Tą rozbieżność można tłumaczyć, iż stopa w trakcie wykonywania obrazu trójwymiarowego nie była obciążana równomiernie. Budowa skanera uniemożliwia, bowiem ustawienie przez pacjenta stóp równoległe, gdyż w takim położeniu stopa niebiorąca udziału w procesie skanowania zasłaniałaby jeden projektor. W tym przypadku byłoby niemożliwe uzyskanie obrazu wewnętrznej strony stopy. Dlatego też pacjent ustawiony jest w wykroku, co nie ułatwia rozłożenia ciężaru ciała równomiernie na obie nogi. W takim ustawieniu

wymiary badanych cech stóp maleją. Zmiany te są wywołane przypuszczalnie zmianami w układzie kostnym (obniżenie się łuków sklepienia podłużnego i poprzecznego) oraz napięciem mięśni czy też zbytym ich rozluźnieniem.

Łatwo zauważyć, że długość stopy mierzona w programie FootCAD, jest z reguły mniejsza niż mierzona metodami tradycyjnymi. Można ten fakt uzasadnić, iż stopa w trakcie zbierania obrazu jest ograniczona poprzez strukturę pianki, ponadto obraz podeszwowej części stopy jest odtwarzany z negatywu stopy odbitej na piance. To może wyjaśniać, dlaczego wyniki są bardziej porównywalne do śladu stopy pozostawionego na plantokonturogramie.

3. WNIOSKI

Badania przy pomocy skanera FootScan FTS-4 były pierwszymi przeprowadzonymi na tym urządzeniu w Polsce. Niestety pomiary nie dały oczekiwanych wyników. Pojawiło się wiele nieścisłości i błędów w czasie pracy nad tworzeniem modeli trójwymiarowych, których nie udało się wyeliminować nawet po konsultacjach z producentem. Ponadto większość wyników uzyskanych przy pomocy skanera 3D w znacznej mierze odbiegała od pomiarów wykonywanych metodami tradycyjnymi.

Badania antropometryczne przy użyciu skanera 3D firmy Ideas są pionierskie, stąd trudno wysnuć jednoznacznie negatywne wnioski. Przypuszczalnie skaner doskonale nadaje się do projektowania kopyt czy też butów na miarę.

Z całą pewnością program nie jest jeszcze dostatecznie opracowany i przygotowany do pomiarów antropometrycznych, brakuje przede wszystkim automatycznego tworzenia obrazu trójwymiarowego. Poprawienia wymaga także sposób odczytywania wymiarów z modelu stopy. Można się jednak spodziewać, że w przyszłości digitalizacja stóp stanie się zjawiskiem powszechnym i tak banalnym w użyciu jak chociażby aparat fotograficzny. Jest to, bowiem doskonale narzędzie nie tylko do pomiarów antropometrycznych, ale i do oceny sprawności naszych stóp.

LITERATURA

- [1] D'Apuzzo. N.: "State of the art of the methods for static 3D scanning of partial or full human body" 3D Modelling, Proceedings of Conference, Paris, France, June 13-14, 2006.
- [2] www.ideas.be.
- [3] Praca zbiorowa: Zasady prawidłowej konstrukcji kopyt i obuwia. Warszawa, WNT, 1976.
- [4] Malinowski A., Bożiłow W.: Podstawy Antropometrii. Warszawa-Łódź, PWN, 1997.
- [5] Morton D.: The Human Foot. Columbia, 1935.

A METHODOLOGY FOR ANTHROPOMETRICAL TESTING OF FEET USING 3D SCANNER

Summary. This paper presents the possibility of using the 'FootScan' FTS-4 3D scanner from "Ideas" Company for the diagnosing and anthropometrical testing of feet. The tests were done in 2006 in the Central Laboratory of Footwear Industry in Kraków for the group of 12 women aged 22-61 years. The main purpose of this paper was to compare the results of anthropometrical testing against traditional methods such as direct measuring of feet or plantography and measurements by means of three dimensional technology.