

І. Сидоренко¹
С. Ковбан¹
С. Павлов²
В. Вуйцік³

ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНО-МАСОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕГМЕНТІВ ТІЛА ДЛЯ БІОМЕХАНІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

¹Національний університет «Одеська політехніка»

²Вінницький національний технічний університет

³Люблінський технологічний університет

Анотація

У роботі представлено підхід до визначення геометрично-масових характеристик сегментів тіла людини для побудови біомеханічної моделі нижньої кінцівки. Визначено довжини, маси та положення центрів мас сегментів тіла для подальшого аналізу навантажень у колінному суглобі. Отримані результати можуть бути використані для індивідуалізованого підбору параметрів ортопедичних виробів та реабілітаційних засобів.

Ключові слова: антропометрія, біомеханіка, колінний суглоб, метод сегментації, регресійний аналіз.

Біомеханічне моделювання є одним із ключових інструментів у дослідженнях рухових функцій людини, особливо в контексті розробки допоміжних ортопедичних пристроїв. Особливо важливим є моделювання навантажень у колінному суглобі для достовірного аналізу яких необхідно мати точно визначені геометрично-масові характеристики відповідних сегментів людського тіла. Хоча існують узагальнені статистичні моделі, адаптація методів до конкретних антропометричних параметрів пацієнта є критично важливою для забезпечення коректності розрахунків та подальшого практичного використання отриманих результатів.

Для визначення геометрично-масових показників тіла використано експериментально-аналітичний метод, запропонований Національним управлінням з аеронавтики (США), що базується на радіоізотопних антропометричних даних [1, 2, 3].

Параметри біомеханічних довжин, мас та координат центрів мас для сегментів тіла отримано за допомогою рівнянь множинної регресії, що пов'язують довжину й масу тіла з геометричними характеристиками його сегментів.

Біомеханічні довжини сегментів тіла L_i визначаються:

$$L_i = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_3 X_3, \quad (1)$$

де X_1 – довжина ноги; X_2 – довжина тіла (зріст); X_3 – довжина руки; B_0, B_1, B_2, B_3 – коефіцієнти множинної регресії (Табл. 1).

Геометрично-масові показники сегментів тіла Y визначаються:

$$Y = A_0 + A_1 X_1 + A_2 X_2, \quad (2)$$

де X_1 – маса тіла; X_2 – довжина тіла; A_0, A_1, A_2 – коефіцієнти рівняння множинної регресії (Табл. 2).

Розрахунковий зріст:

$$l_1 + l_8 + l_{10} + l_{01} + l_{02} + l_{03}, \quad (3)$$

де l_i – розрахункова довжина відповідного сегменту, мм

Розрахункова маса тіла:

$$2m_{12} + 2m_{10} + 2m_8 + 2m_6 + 2m_4 + 2m_2 + m_1 + m_{01} + m_{02} + m_{03}, \quad (4)$$

де m_i – розрахункова маса відповідного сегменту, кг

У якості об'єкта дослідження, з урахуванням існуючих геометрично-масових показників обрано людину чоловічої статі, яка має зріст 1830 мм, довжина руки становить 640 мм, а вага – 82 кг. За використаною методикою розрахунку геометрично-масових показників встановлені основні показники, які враховуються у запропонованій математичній моделі (Табл. 1, Табл. 2).

Показники розраховані за виразами (3) і (4) становлять розрахунковий зріст – 1886,39 мм, а розрахункову масу – 82,13 кг, та обумовлюють похибку 3,08% і 0,15% відповідно зросту і маси

в порівнянні з фактичними, що є цілком достатнім для подальшого використання отриманих розрахункових результатів.

Отримані геометрично-масові показники дають змогу перейти до подальшого кінематичного аналізу тіла під час присідання, визначення діючих сил та обертового моменту у колінному суглобі та оцінки дії розвантажувальних ортезів.

Таблиця 1 – Біомеханічні довжини сегментів та відповідні коефіцієнти регресії при математичному моделюванні

№	Сегмент	L_i , мм	B_0	B_1	B_2	B_3
1	Голова	268,64	15,9	-0,046	0,094	-0,047
01	Верхня частина тулуба	285,1	3,78	-0,133	0,11	0,17
02	Середня частина тулуба	310,15	3,16	-0,219	0,241	-0,042
03	Нижня частина тулуба	315,1	-12,9	-0,16	0,19	0,26
8	Стегно	412,71	5,34	0,33	0,093	-0,012
10	Гомілка	293,79	1,05	0,282	0,049	0,033
12	Стопа	260,85	0,516	0,0086	0,109	0,069

Таблиця 2 – Геометрично-масові показники при математичному моделюванні

№	Сегмент	Маса сегмента, кг				Положення центру мас на поперечній осі сегмента, мм			
		Y	A_0	A_1	A_2	Y	A_0	A_1	A_2
12	Стопа	1,13	-0,829	0,0077	0,0073	151,36	3,767	0,065	0,033
10	Гомілка	3,59	-1,592	0,0362	0,0121	167,38	-6,05	-0,039	0,142
8	Стегно	11,85	-2,649	0,1463	0,0137	254,01	-2,42	0,038	0,135
6	Кисть	0,5	-0,117	0,0036	0,0018	122,81	4,11	0,026	0,033
4	Передпліччя	1,29	0,3185	0,0145	-0,001	149,15	0,192	-0,028	0,093
2	Плече	2,23	0,25	0,0301	-0,003	140,12	1,67	0,03	0,054
1	Голова	5,32	1,296	0,0171	0,0143	123,61	8,357	-0,003	0,023
01	Верхня частина тулуба	12,8	8,2144	0,1862	-0,058	125,44	3,32	0,0076	0,047
02	Середня частина тулуба	13,37	7,181	0,2234	-0,066	101,08	1,398	0,0058	0,045
03	Нижня частина тулуба	9,46	-7,498	0,0976	0,049	92,71	1,182	0,0018	0,0434

Запропонована методика дозволяє з високою точністю визначати геометрично-масові характеристики сегментів тіла людини. Розраховані результати забезпечують основу для подальшого біомеханічного аналізу, у тому числі для визначення навантажень у колінному суглобі при функціональних рухах. Отримані дані можуть бути використані при проектуванні та індивідуальному налаштуванні розвантажувальних ортезів і засобів реабілітації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Drillis, R. and R. Contini Body segment parameters. USAF, WADC Tech. Report 1166.03. Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, 1966.
2. Dempster W. T. Space requirements of the seated operator. USAF, WADC Tech. Rep. 55-159, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, 1955.
3. Harless, E. The static moments of the component masses of the human body. Trans. of the Math-Phys., Royal Bavarian Acad. of Sci. 8(1,2): 69-96, 257-294. Unpublished English translation, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, 1962. <https://apps.dtic.mil/sti/citations/tr/AD0279649>.

Сидоренко Ігор Іванович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформаційних технологій проектування та дизайну Національного університету «Одеська політехніка», Одеса, sii@op.edu.ua

Ковбан Софія Вікторівна, аспірант Національного університету «Одеська політехніка», Одеса, sofie.kovban@op.edu.ua

Павлов Сергій Володимирович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем Вінницького національного технічного університету, Вінниця, psv@vntu.edu.ua

Вуйцик Вальдемар, доктор технічних наук, професор, професор факультету електротехніки та комп'ютерних наук Люблінського технологічного університету, Люблін, waldemar.wojcik@pollub.pl

DETERMINATION OF GEOMETRIC-MASS CHARACTERISTICS OF BODY SEGMENTS FOR BIOMECHANICAL MODELING

Abstract

The study presents an approach to determining the geometric and mass characteristics of human body segments for constructing a biomechanical model of the lower limb. The lengths, masses, and positions of the segmental centers of mass were calculated to enable further analysis of knee joint loading. The results may be applied for individualized selection of parameters for orthopedic devices and rehabilitation aids.

Keywords: anthropometry, biomechanics, knee joint, regression analysis, segmentation method.

Sydorenko Igor Ivanovych, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Design Information Technologies and Design, Odesa Polytechnic National University, Odesa, sii@op.edu.ua

Kovban Sofiia Viktorivna, postgraduate student at the Odesa Polytechnic National University, Odesa, sofie.kovban@op.edu.ua

Pavlov Sergii Volodymyrovych, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Biomedical Engineering and Optoelectronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, psv@vntu.edu.ua

Wojcik Waldemar, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Lublin University of Technology, Lublin, waldemar.wojcik@pollub.pl