

# ИССЛЕДОВАНИЕ АНТРОПОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА

Умиджон Абдумуталипович ТАКАБАЕВ

старший преподаватель  
Андижанский государственный технический институт  
Андижан, Узбекистан  
[umid1700731@gmail.com](mailto:umid1700731@gmail.com)

## Аннотация

В данной статье рассматриваются этапы расчета антропометрических показателей человека с целью создания усовершенствованного прототипа реабилитационного экзоскелета, предназначенного для пациентов с ограниченной подвижностью конечностей. Также на основе полученных данных рассматриваются задачи построения кинематической и динамической математической модели экзоскелета.

**Ключевые слова:** антропометрия, экзоскелет, кинематика, динамика.

# INSON PASTKI TAYANCH HARAKATINI MODELLASHTIRISH UCHUN ANTROPOMETRIK KO'RSATKICHLARNI TADQIQ QILISH

Umidjon Abdumutalipovich TAKABAYEV

katta o'qituvchi  
Andijon davlat texnika instituti  
Andijon, O'zbekiston  
[umid1700731@gmail.com](mailto:umid1700731@gmail.com)

## Annotatsiya

Ushbu maqolada pastki tayanch harakati cheklangan bemorlar uchun mo'ljallangan reabilitatsion ekzoskeletning takomillashtirilgan prototipini yaratish maqsadida inson antropometrik ko'rsatkichlarini hisoblash bosqichlari ko'rib chiqiladi. Shuningdek, olingan ma'lumotlar asosida ekzoskeletning kinematik va dinamik matematik modelini qurish masalalari tahlil qilinadi.

**Tayanch so'zlar:** antropometriya, ekzoskelet, kinematika, dinamika.

Система походки нижних конечностей в основном состоит из сети костей и суставов, как показано на рисунке 1. Существует семь типов костей, примерно 300 мышц и три сустава: тазобедренный (с 3 степенями свободы), коленный (с 1 степенью свободы) и голеностопный (с 3 степенями свободы) [2, 4]. Движения нижней опорной части тела делятся на три основные группы: сгибание и разгибание, приведение и отведение, а также внутреннее и наружное вращение. Эта классификация дает четкую основу для понимания функциональной механики динамики нижней части тела [1], [5, 6].

Экзоскелеты нижней части тела могут быть нацелены на односуставной или многосуставной уровень. В то время как односуставной может быть применен к одному конкретному суставу, многосуставной может включать комбинацию нижних суставов [7].

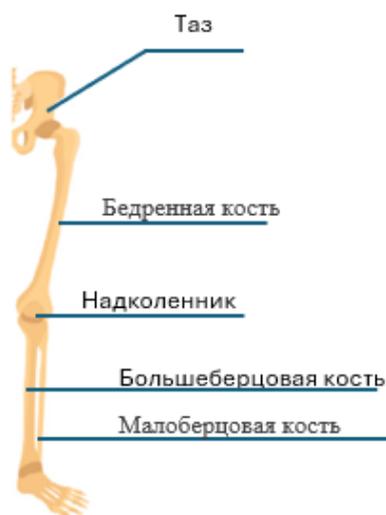


Рис. 1. Суставы и кости нижней части тела



Рис. 2. Сагиттальная плоскость нижней части тела

Некоторые исследователи иногда выбирают 15 степеней свободы, чтобы сделать реабилитационный экзоскелет ходьбы похожим на нижнюю часть тела с двигательными функциями, хотя этот тип конструкции добавляет сложности системе [8]. Исходя из таблицы 1, мы исследовали этот процесс как многосуставной в сагиттальной плоскости:

- тазобедренный сустав соединен с тазовыми и бедренными костями, что позволяет выполнять сгибание и разгибание [9];
- в коленном суставе имеются надколенно-бедренные суставы, движения которых обеспечивают сгибание и разгибание при ходьбе [9];
- движения в области голеностопного сустава в основном обеспечивают возможность сгибания и разгибания стопы [8], [9, 10].

Из-за нарушения двигательных способностей у пациентов наблюдается высокая степень сложности походки. Тем не менее, мы можем использовать параметры длины, расстояния и скорости шага для описания процесса ходьбы.

Наше исследование было сосредоточено на том, как различные характеристики влияли на углы суставов, и как эти углы связаны с параметрами походки. Основные движения при ходьбе человека тщательно рассматриваются в источнике [6], где также анализируются нюансы каждой фазы и то, как она способствует эффективному передвижению. В этом исследовании подчеркивается динамическое взаимодействие различных групп мышц и механики суставов, которые обеспечивают плавный и хорошо скоординированный режим ходьбы. При использовании экзоскелетов важен диапазон движений [15].

Таблица 1. Общая характеристика суставов

Суставы	Кости	Степени свободы	Движения суставов	Двигательная активность
Тазобедренный	Бедро	1	Сгибание/разгибание	
Коленный	Голень	1	Сгибание/разгибание	
Голеностопный	Стопа	1	Разгибание/сгибание	

**Диапазоны движений нижних конечностей человека.** Диапазон движений суставов экзоскелетных роботов зависит от диапазона движений нижних конечностей человека. Диапазон движений большинства здоровых людей одинаков. Тем не менее, допустимые диапазоны для пациентов, проходящих физиотерапию, различаются в зависимости от состояния здоровья каждого человека. Различные данные показали средние диапазоны движения суставов [11, 13]. Однако мы рассмотрим систему движения, которая имеет только 3 степени свободы по отношению к изучаемому объекту, как показано в таблице 1. Тазобедренный сустав может выполнять сгибание на  $120^\circ$ , разгибание на  $30^\circ$ . Коленный сустав имеет ограниченное разгибание и позволяет сгибаться примерно на  $135^\circ$ . Голеностопный сустав обеспечивает сгибание примерно на  $20^\circ$  и разгибание примерно на  $50^\circ$ . Благодаря этому широкому диапазону движений улучшается общая подвижность и устойчивость, что позволяет выполнять такие действия, как ходьба.

## Антропометрические параметры нижних конечностей человека.

Надежные кинематические и динамические модели нижней конечности человека требуют точных антропометрических данных. Реабилитационные экзоскелеты, протезы и биомеханические симуляторы зависят от этих параметров. Европейские исследователи провели обширные изучения в группе из 5290 человек с целью изучения антропометрических характеристик [14]. В соответствии с этими данными можно использовать статистическую основу для определения пропорций и масс каждого отдельного сегмента тела. В данной работе для определения параметров нижних конечностей были использованы эмпирические уравнения Контини. Эти уравнения позволяют рассчитать длину, массу, положения центров масс и моменты инерции сегментов конечностей на основе роста и массы тела. Формулы помогают модифицировать модель для каждого пациента или пользователя.

$$B_d = 1106 + 14.40 * \frac{H}{W^{\frac{1}{3}}} \quad (1)$$

В

$$T_d = 16.58 + 13.04 \cdot B_d \quad (2)$$

$$S_d = 17.06 + 16.02 \cdot B_d \quad (3)$$

$$F_d = 17.16 + 16.02 \cdot B_d \quad (4)$$

В

е

у

н

р

и

а

и

е

с

н

н

о

д

т

О

$B_d$  представляет собой плотность тела  $kgm^3$ ,  $H$  – рост испытуемого  $m$ ,  $W$  –

$$T_v = 0.0922 \cdot B_v \quad (6)$$

$$S_v = 0.0464 \cdot B_v \quad (7)$$

$$F_v = 0.0124 \cdot B_v \quad (8)$$

Приблизительный вес бедра, голени и стопы был рассчитан согласно

$$T_m = T_v \cdot T_d \cdot 0.4536 \quad (9)$$

$$S_m = S_v \cdot S_d \cdot 0.4536 \quad (10)$$

$$F_m = F_v \cdot F_d \cdot 0.4536 \quad (11)$$

Длина бедра ( $T_i$ ), голени ( $S_i$ ), стопы ( $F_i$ ) и расстояние от голеностопного

с

у

$$T_l = 0.245 \cdot H \quad (12)$$

с

$$S_l = 0.245 \cdot H \quad (13)$$

т

$$F_l = 0.245 \cdot H \quad (14)$$

а

$$A_g = 0.245 \cdot H \quad (15)$$

в

а Положения центра масс относительно проксимального сустава (для

б

д

$$T_{sm} = 0.41 \cdot T_l \quad (16)$$

д

$$S_{sm} = 0.41 \cdot S_l \quad (17)$$

р

$$F_{sm} = 0.41 \cdot F_l \quad (18)$$

н

Эмпирические уравнения для инерционных свойств бедра  $T_i$ , голени  $S_i$  и

с  
ж

т

н

о

е

ц

и

ы

и

п

о

о

в

е

р

р

н

о

о

с

н

о

о

с

Положения центра масс относительно проксимального сустава (для

б

д

$$T_{sm} = 0.41 \cdot T_l \quad (16)$$

д

$$S_{sm} = 0.41 \cdot S_l \quad (17)$$

р

$$F_{sm} = 0.41 \cdot F_l \quad (18)$$

н

Эмпирические уравнения для инерционных свойств бедра  $T_i$ , голени  $S_i$  и

с  
ж

т

н

о

е

ц

и

ы

и

п

о

о

в

е

р

р

н

о

о

с

н

о

о

с

**Заключение.** В данном исследовании представлены теоретические

основы расчета основных антропометрических параметров для

н

о

о

с

н

моделирования движения нижних конечностей человека. Эти формулы включают расчет плотности, массо-инерционных свойств и кинематики сегментов (бедро, голени, стопы).

Таблица 2. Антропометрические показатели

Параметр	Бедро	Голень	Стопа
$W, kg$	4	2.02	0.56
$H, m$	0.416	0.484	0.258
$I_{xx}$	0.011	0.019	0.00058
$I_{yy}$	0.049	0.019	0.0023
$I_{zz}$	0.049	0.03	0.0025

В результате проведенного анализа были определены антропометрические показатели человека ростом 170 см и весом 60 кг (см. табл. 2). На следующих этапах исследования с помощью полученных значений предполагается разработать кинематические и динамические математические модели для пациентов с ограниченной подвижностью нижних конечностей.

### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. S. K. Hasan and A. K. Dhingra, “State of the art technologies for exoskeleton human lower extremity rehabilitation robots”, *Journal of Mechatronics and Robotics*, Vol. 4, No. 1, pp. 211–235, Jan. 2020, <https://doi.org/10.3844/jmrsp.2020.211.235>
2. A. Kapsalyamov, P. K. Jamwal, S. Hussain, and M. H. Ghayesh, “State of the art lower limb robotic exoskeletons for elderly assistance”, *IEEE Access*, Vol. 7, pp. 95075–95086, Jan. 2019, <https://doi.org/10.1109/access.2019.2928010>
3. N. Kh, N. Al-Hayali, J. Chiad, S. Nacy, and O. Hussein, “A review of passive and quasi-passive lower limb exoskeletons for gait rehabilitation”, *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, Vol. 44, 2021.
4. S. Bhardwaj, A. A. Khan, and M. Muzammil, “Lower limb rehabilitation robotics: The current understanding and technology”, *Work*, Vol. 69, No. 3, pp. 775–793, Jul. 2021, <https://doi.org/10.3233/wor-205012>

5. B. Li, B. Yuan, J. Chen, Y. Zuo, and Y. Yang, “Mechanical design and human-machine coupling dynamic analysis of a lower extremity exoskeleton”, in *Lecture Notes in Computer Science*, Cham: Springer International Publishing, 2017, pp. 593–604, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-65289-4\\_56](https://doi.org/10.1007/978-3-319-65289-4_56)
6. D. S. Pamungkas, W. Caesarendra, H. Soebakti, R. Analia, and S. Susanto, “Overview: types of lower limb exoskeletons”, *Electronics*, Vol. 8, No. 11, p. 1283, Nov. 2019, <https://doi.org/10.3390/electronics8111283>
7. N. S. S. Sanjeevi, Y. Singh, and V. Vashista, “Recent advances in lower-extremity exoskeletons in promoting performance restoration”, *Current Opinion in Biomedical Engineering*, Vol. 20, p. 100338, Dec. 2021, <https://doi.org/10.1016/j.cobme.2021.100338>
8. D. Shi, W. Zhang, W. Zhang, and X. Ding, “A review on lower limb rehabilitation exoskeleton robots”, *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, Vol. 32, No. 1, Aug. 2019, <https://doi.org/10.1186/s10033-019-0389-8>
9. R. S. Gonçalves and L. A. O. Rodrigues, “Development of nonmotorized mechanisms for lower limb rehabilitation”, *Robotica*, Vol. 40, No. 1, pp. 102–119, May 2021, <https://doi.org/10.1017/s0263574721000412>
10. M. Srivastava, M. Srivastava, P. Sagar, and M. T. G., “Simulation of human gait for design of lower extremity exoskeletons – A review”, *Materials Today: Proceedings*, Vol. 44, pp. 4485–4491, Jan. 2021, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.723>
11. Robertson JA. F. P. Kendall and E. K. McCreary “Muscles, Testing and Function” (Third Edition). *Br J Sports Med*. 1984 Mar. 18(1):25. PMID: PMC1858872.
12. G. Nikolova and Y. Toshev, “Comparison of two approaches for calculation of the geometric and inertial characteristics of the human body of the Bulgarian population”, *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, vol. 10, pp. 3-8, 2008.
13. J. J. Craig, *Introduction to robotics: mechanics and control*: Pearson/Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J., 2005.

14. S. Liu and G. S. Chen, “Dynamics and Control of Robotic Manipulators with Contact and Friction”, 2018.

15. J. Rakhmatillaev, V. Bucinkas, Z. Juraev, N. Kimsanboev, and U. Takabaev, “A recent lower limb exoskeleton robot for gait rehabilitation: a review”, *Robotic Systems and Applications*, Vol. 4, No. 2, pp. 68–87, Dec. 2024, <https://doi.org/10.21595/rsa.2024.24662>