

Механіка руху тіла: прикладна механіка в медицині

Вадим Дулиба, студент¹ (ORCID: 0009-0009-8380-0575)

¹ Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна

АНОТАЦІЯ

Цей документ містить інструкції щодо підготовки двох сторінок тез, які будуть опубліковані в збірнику праць конференції BMC-2025. Дані тези, включаючи рисунки, таблиці та посилання, повинні мати рівно 2 сторінки. Статті, які не відповідають зазначеним вимогам, наведеним у даній інструкції, не будуть прийняті. Якщо ви не зрозуміли будь-які інструкції або хочете отримати додаткову інформацію щодо форматування, будь ласка, зв'яжіться з оргкомітетом. Лише розглянуті та прийняті тези будуть опубліковані у збірнику.

Ключові слова: прикладна механіка, кінематика руху, дослідження.

1. ВСТУП

Задача прикладної механіки у медицині полягає у застосуванні законів механіки при аналізі руху людського тіла та його систем.

Як правило, рішення прикладної механіки дозволяють сприяти розвитку біомеханіки, протезування, реабілітаційних технологій, спортивної медицини.

2. ОБ'ЄКТ І ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єкт — рухи людського тіла (ходьба, біг, жести, робота опорно-рухового апарату).

Предмет — механічні моделі м'язів, суглобів, хребта, динаміка руху при навантаженнях.

3. ОСНОВНІ НАПРЯМИ ЗАСТОСУВАННЯ ПРИКЛАДНОЇ МЕХАНІКИ В МЕДИЦИНІ

Досягнення прикладної механіки дозволяють розвивати окремі напрями медицини. Хоча, часто, спостереження за біомеханікою живих істот дозволяє отримати нові результати в механіці. Тож, вплив цих галузей має двосторонній характер [1-4]. Розглянемо основні напрями застосування прикладної механіки в медицині.

Аналіз рухів

- кінематика і динаміка ходьби;
- біомеханічні моделі для аналізу патологій руху.

Механіка навантажень на скелет і суглоби

- дослідження силових взаємодій у кульшовому, колінному та плечовому суглобах;
- прогнозування деформацій і пошкоджень.

Протезування та ортези

- оптимізація конструкцій протезів і екзоскелетів з урахуванням біомеханіки;
- моделювання навантажень у точках контакту «протез—тіло».

Кардіомеханіка

- гідродинаміка кровотоку;
- механіка серцевих клапанів і судин.

Реабілітаційна інженерія

- роботизовані системи для відновлення рухів;
- застосування сенсорів і симуляцій для контролю рухів.

4. ІНЖЕНЕРНІ ПРОБЛЕМИ ТА ВИКЛИКИ

Висока варіативність біомеханіки людини → складність створення універсальних моделей.

Біологічні тканини мають нелінійні властивості (в'язкопружність, пластичність).

Складність інтеграції математичних моделей з медичною діагностикою (МРТ, КТ, відеоаналіз).

Необхідність міждисциплінарності (механіка + медицина + IT).

5. СУЧАСНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Останнім часом в різних галузях набувають розвитку застосування методи фотограмметричного сканування та відеоаналіз рухів (motion capture) [1-4]. Такі методи дозволяють виконати дискретний аналіз руху живих організмів, отримати уявлення про їх просторову взаємодію.

Не менш ефективним також є метод скінченних елементів (FEM) для моделювання кісток, м'язів, імплантів, моделювання динамічних станів організму та процесів їх взаємозв'язку і навіть прогнозування критичних станів [1-4].

Важливу роль відіграють комп'ютерні симуляції (OpenSim, AnyBody Modeling System), що дозволяють визначити експлуатаційні стани м'язів, кісток, суглобів [1-4].

6. ПРИКЛАДИ ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ

Аналіз ходьби у пацієнтів із ДЦП для підбору ортезів.

Біомеханічні тести для спортсменів (оптимізація техніки руху).

Розробка штучних колінних і кульшових суглобів.

Використання 3D-друку для індивідуальних імплантів.

Суттєві доробки в галузі аналізу руху живих організмів та інтерпретації їх засобами автоматизації, автоматики, пневматики, механіки, електроніки та ін. зроблені фахівцями компанії Festo [5]. Розглянемо деякі з них.

ExoHand. Екзоскелет-рукавиця, яка одягається як рукавичка. Вона активує рух пальців, підсилює силу впливу, надає зворотний зв'язок сили [5]. Застосовується при реабілітації пацієнтів: допомагає після інсульту,

паралічу; відновлює моторику руху пальців за допомогою механіки передачі сили, контролює зусилля пацієнта і позицію пальців; використовується для біомеханічного аналізу руху кінцівок (у здорових пацієнтів) для застосування у хворих.

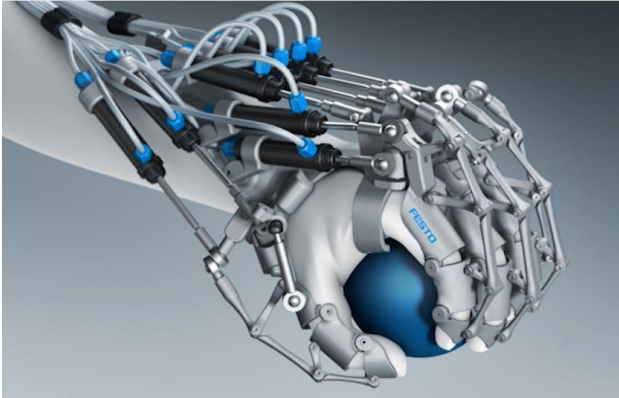


Рисунок 1. Біонічна рука Festo

BionicMotionRobot. Пневматичний легкий робот із гнучкими сегментами, натхнений хоботом чи щупальцями; багато ступенів свободи; рухи натуральні, плавні [5]. Це модельний прикладом для дослідження гнучких кінематичних ланцюгів, аналізу руху, як роботизовані системи можуть імітувати людські чи біологічні рухи, зокрема для навчання та реабілітаційних технологій.

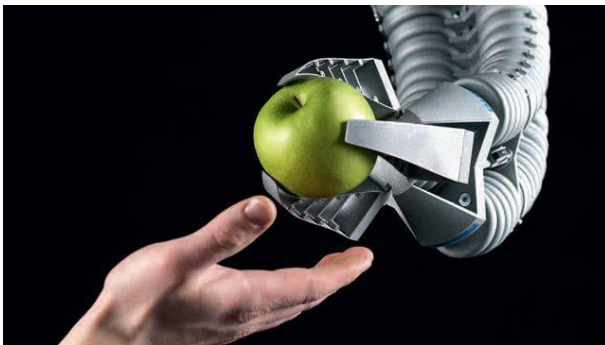


Рисунок 2. Пневматичний робот з гнучкими сегментами Festo

BionicCobot. Першим результатом синтезу людини і робота можна вважати руку-робота із природними рухами, заснованими на біологічній механіці (згинання/розгинання тощо); безпечна взаємодія [5]. Такі рішення застосовуються для задач, де потрібна делікатність рухів, контроль сил, адаптивність — реабілітація, терапевтичні пристрої, допоміжні роботи.

Model-Based Design для Bionic Handling Assistant. Реальні моделі механізованих кінцівок використовуються під час моделювання (Simulink, Simulink PLC Coder) для контролю складної пневматичної руки-робота з декількома ступенями свободи [6]. Це корисно для аналізу руху, для побудови моделей, які враховують жорсткість /еластичність, нелінійність, і для контролю руху, що точно відповідає фізіології чи біомеханіці людини. Це

використовується в якості бази для розробки протезів, екзоскелетів, ортетичної техніки.

LifeTech / лабораторна автоматизація. Також, на основі рішень компанії Festo, створені цілі лабораторії для обробки рідин, контроль руху, грипері, масові потоки газів, робота з маленькими об'єктами (піпетки, контейнери) у лабораторних умовах [7]. Хоч це і не прямо механіка руху тіла, але рішення саме прикладної механіки дозволяють реалізувати точні рухи, забезпечити відповідну повторюваність рухів, наприклад, для дослідження зношування ортезів, їх точного підбору тощо.

7. ВИСНОВКИ

Рішення прикладної механіки часто стають у нагоді при вирішенні медичних питань та є ключовим інструментом для розвитку сучасних методів лікування та реабілітації.

Інтеграція механічних моделей, цифрових технологій і клінічних досліджень дозволяє перейти до персоналізованої медицини.

На основі розвитку цифровізації, автоматизації процесів при дослідженні живих організмів, зокрема людини, можна очікувати розвитку процесів медичної реабілітації пацієнтів, особливо в післявоєнний період.

Список літератури

- [1] Duane Knudson. Introduction to Biomechanics of Human Movement. General information. *Fundamentals of Biomechanics*. 2021. P. 3-18. DOI: 10.1007/978-3-030-51838-7_1
- [2] Winter D.A. Biomechanics of human movement with applications to the study of human locomotion. *Crit Rev Biomed Eng*. 1984. No. 9(4). P. 287-314.
- [3] Walker J. Biomechanics: The Mechanics Involved in the Human Movement. *Biomed Eng Med Devices*. 2023. No. 8. P. 250. DOI: 10.35248/2475-7586.23.8.250.
- [4] Stuart Hagler. Patterns of Selection of Human Movements IV: Energy Efficiency, Mechanical Advantage, and Asynchronous Arm-Cranking. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1702.03271>
- [5] https://www.festo.com/id/en/e/about-festo/research-and-development/bionic-learning-network/bionic-grippers-and-soft-robots/exohand-id_33631/
- [6] https://es.mathworks.com/company/user_stories/festo-develops-innovative-robotic-arm-using-model-based-design.html
- [7] <https://www.powermotiontech.com/sensors-software/automation/article/55305804/festo-corp-festo-brings-automation-expertise-to-life-sciences-industry>

ⁱ Робота виконана під керівництвом Володимира Рашківського, доц., доц. кафедри БМ.