

МОДЕЛЬ РУКИ ЯК БІОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ В ПРОЦЕСІ ПРИЦІЛЮВАННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Дослідження аналізує біомеханіку руки в прицілюванні, охоплюючи анатомію, моделювання, вплив тремору, втоми та віддачі. Розглядається кінематична структура кисті для покращення процесу тренування і підвищення стабільності та точності процесу прицілювання.

Ключові слова: біомеханіка, стрільба, кисть, прицілювання.

Вступ

Людська рука є надзвичайно складною біологічною структурою, що виконує широкий спектр функцій, від грубого захоплення до точних, делікатних рухів, необхідних у повсякденному житті та професійній діяльності. Оцінка її функцій з біомеханічної точки зору включає такі аспекти, як антропометрія (вимірювання та розміри кисті), кінематика (рухи кисті та діапазон рухів суглобів пальців), кінетика (аналіз сил сухожиль та суглобів) та електроміографія (ЕМГ), що досліджує м'язову активність [1].

У контексті прицілювання з короткоствольної зброї, рука виступає як критично важливий інтерфейс між стрільцем та зброєю, безпосередньо впливаючи на точність та стабільність пострілу. Підтримання стабільної постави під час прицілювання є надзвичайно важливим для досягнення високої точності стрільби з пістолета. Властиві руці складність та адаптивність, що еволюціонували для тонкої маніпуляції, парадоксальним чином роблять її вирішальною для такого завдання, як стрільба, що вимагає як точності, так і стабільності проти зовнішніх динамічних сил. Це підкреслює фундаментальний біомеханічний виклик: перетворення системи, розробленої для складних, різноманітних рухів, на таку, що може підтримувати надзвичайну статичну стабільність під динамічними навантаженнями. Це вимагає не лише сили, а й активної стабілізації та надзвичайно точного скорочення м'язів для пригнічення небажаних рухів, що є ключовим для успішного прицілювання [1, 3, 4].

Біомеханічне моделювання кисті для аналізу прицілювання

Для всебічної оцінки функцій кисті з біомеханічної точки зору використовуються кілька методологій. Кінематика та кінетика кисті кількісно оцінюються та візуалізуються за допомогою протоколів функціонального тестування, що включають системи захоплення руху та багатоосьові тензодатчики. Дані руху використовуються для розрахунку кінематичного простору пальців, що відображає всі можливі положення, яких може досягти кожен палець. Ці сили, отримані за допомогою тензодатчика, перетворюються в ту ж координатну площину та накладаються на кінематичні простори кожного пальця для кожного учасника. Поеднання методологій (антропометрія, кінематика, кінетика, ЕМГ) забезпечує цілісний погляд на функцію руки, переходячи від простого спостереження до кількісних, прогностичних моделей. Цей багатомодальний підхід є важливим для захоплення складної, динамічної природи прицілювання, де тонкі зміни в активації м'язів та кутах суглобів можуть мати значний вплив на точність [2].

Біомеханічні моделі кисті є складними через її складну анатомію та велику кількість ступенів свободи (DOF). Повна модель людської кисті може мати близько 30 DOF. Однак моделі можуть бути спрощені для обчислювальної ефективності, наприклад, моделювання пальців як 4-DOF кінематичних ланцюгів (2 DOF у п'ястково-фаланговому (MCP) суглобі для відведення/приведення та згинання/розгинання, 1 DOF у проксимальному міжфаланговому (PIP) та 1 DOF у дистальному міжфаланговому (DIP) суглобах) та 3 DOF для обертання долоні, що загалом становить 23 DOF [2].

Існують багатотілові моделі, що симулюють рухи, такі як латеральний щипковий рух, шляхом застосування зовнішніх змінних у часі крутних моментів до суглобів пальців, що імітують мускулатуру, сухожилля та зв'язки. Ці моделі можуть генерувати анімовані представлення рухів та виводити динамічні змінні. Моделі, засновані на ЕМГ, можуть передбачати рухи передпліччя на основі легко вимірюваних сигналів sEMG від основних м'язів, таких як двоголовий та триголовий м'язи плеча. Ці моделі включають підмоделі для попередньої обробки sEMG, динаміки активації, динаміки скорочення та механіки опорно-рухового апарату, і можуть бути адаптовані до нових користувачів з мінімальними вимірюваннями, що робить їх практичними для швидкого розгортання. Розробка обчислювально ефективних біомеханічних моделей зі зменшеною кількістю DOF є критично важливим досягненням. Хоча повномасштабні динамічні симуляції є складними, ці спрощені моделі, особливо ті, що базуються на ЕМГ, пропонують практичний шлях для аналізу в реальному часі та прогностичного контролю в таких застосуваннях, як допоміжні пристрої або, за аналогією, передові системи тренування стрільби. Здатність передбачати рух за сигналами ЕМГ до того, як рух стане помітним, є революційною для проактивного контролю в завданнях високої точності, таких як стрільба. Це може призвести до систем, які "попередньо коригують" тремор або відхилення, що є ключовим для покращення прицілювання.

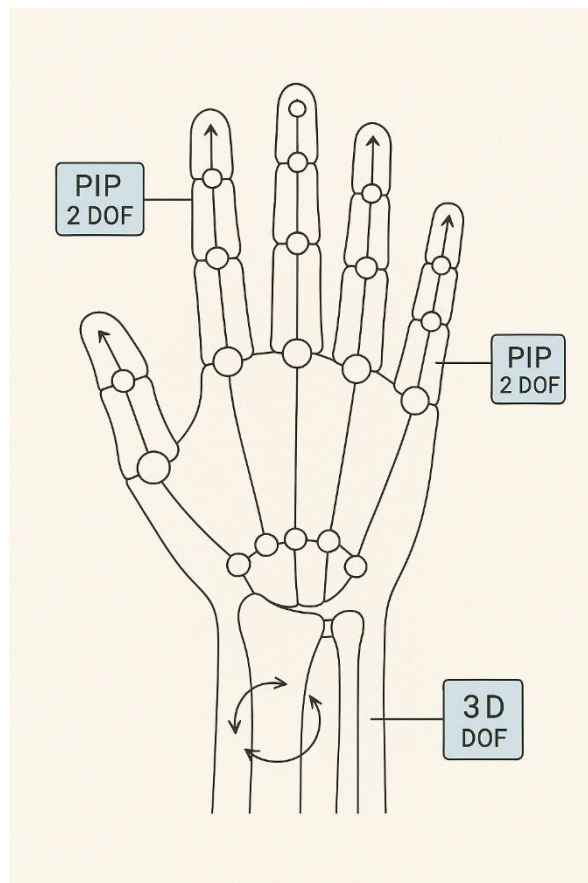


Рисунок 1 – Спрощена кінематична структура людської кисті з візуалізацією ступенів свободи (DOF) для пальців та долоні.

На рис. 1 позначені суглоби з числовим зазначенням їхніх DOF, а також можливі напрямки рухів, такі як згинання/розгинання та відведення/приведення. Цей рисунок дозволяє візуально оцінити як можна спростити кінематичну модель кисті для досягнення обчислювальної ефективності, зберігаючи при цьому достатню біомеханічну точність, що є критично важливою для практичного застосування.

Висновки

Модель руки як біомеханічної системи в процесі прицілювання з короткоствольної зброї є багатогранною концепцією, що охоплює складну анатомію, кінематику, кінетику, нервовий контроль та взаємодію зі зброєю. Оптимальна стрілецька ефективність залежить від здатності стрільця контролювати фізіологічний тремор, ефективно поглинати віддачу та підтримувати стабільний хват, що є результатом складної взаємодії м'язів, суглобів та сенсорного зворотного зв'язку. Біомеханічні моделі, від багатотілових симуляцій до ЕМГ-орієнтованих прогностичних систем, надають цінні інструменти для кількісної оцінки та оптимізації цих процесів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Інноваційні технології фізичного виховання і спорту / Укладач: О. В. Юденко. – К.: Національний університет оборони України, 2024. – 360 с.
2. Спортивна стрільба з лука: основи й удосконалення спеціальної підготовленості : монографія / Б. А. Виноградський. – Л. : ЛДУФК, 2012. – 306 с - ISBN 978-966-2328-40-0
3. Wang, Y., Li, Y., & Li, Y.. The Effects of Hand Tremors on the Shooting Performance of Air Pistol Shooters with Different Skill Levels. – Sensors. – 2024. – № 24(8) – P. 2438.
4. Balance Training and Shooting Performance: The Role of Load and the Unstable Surface. / Goudas, K., et al.. // International Journal of Environmental Research and Public Health – 2024. –№ 21(1). – 93 p.
5. A biomechanical model for myoelectric hand prosthesis control systems / Peerdeman, B., et al. // 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), – 2015. – 126-129 p.

Костішин Сергій Володимирович – кандидат техн. наук, доцент кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, seruykost@gmail.com

MODEL OF HAND AS A BIOMECHANICAL SYSTEM IN THE AIMING PROCESS

Abstract

The study analyzes the biomechanics of the hand in aiming, covering anatomy, modeling, the effects of tremor, fatigue, and recoil. The kinematic structure of the hand is considered to improve the training process and increase the stability and accuracy of the aiming process.

Keywords: biomechanics, shooting, hand, aiming.

Kostishin Serhii – candidate of Tech. of Sciences, Associate Professor of the Department of Biomedical Engineering and Optical-Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, seruykost@gmail.com