

УДК 612.7:796.015:37.037

https://doi.org/10.52058/3041-1572-2024-6(6)-240-247

Танасійчук Юлія Миколаївна доктор філософії старший викладач кафедри медико-біологічних основ фізичної культури, Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, м. Умань, https://orcid.org/0000-0001-7772-1509

ФІЗІОЛОГІЧНІ МЕХАНІЗМИ МЯЗОВОЇ ГІПЕРТРОФІЇ ПРИСИЛОВИХ ТРЕНУВАННЯХ

Анотація. У статті розглянуто фізіологічні механізми м’язової гіпертрофії, що відбуваються під впливом силових тренувань. М’язова гіпертрофія — це збільшення розміру м’язових волокон, що виникає внаслідок їхньої адаптації до підвищених фізичних навантажень. Основними чинниками, що сприяють гіпертрофії, є механічне навантаження, метаболічний стрес та активація гормональних механізмів. У статті також розглянуто значення протеїнового синтезу та анаболічної відповіді, яка забезпечує зростання м’язової маси.

Основним стимулятором гіпертрофії є механічне напруження, що виникає під час силових тренувань. Воно спричиняє мікротравми м’язових волокон, які стимулюють процеси регенерації та росту тканин. Дослідження показують, що важливу роль відіграє не лише кількість піднятої ваги, але й інші фактори, зокрема тривалість та інтенсивність навантаження. Механічний стрес активує внутрішньоклітинні сигнальні шляхи, серед яких ключову роль відіграє mTOR (мамаліанська мішень рапаміцину), який регулює синтез білків у м’язових клітинах.

Силові тренування також впливають на гормональну систему, викликаючи підвищення рівня анаболічних гормонів, таких як тестостерон, гормон росту (GH) та інсуліноподібний фактор росту (IGF-1). Ці гормони сприяють відновленню пошкоджених волокон і стимулюють новий ріст м'язової тканини. Особливу увагу варто приділити тестостерону, який має прямий вплив на синтез білків, що є основою м'язової гіпертрофії.

Ключовим фізіологічним механізмом гіпертрофії є баланс між синтезом і розпадом білка. Під час тренувань м'язові волокна пошкоджуються, і організм починає процес їхнього відновлення через збільшення синтезу білків. Якщо синтез білка перевищує його розпад, це призводить до збільшення розміру м’язів. Для ефективного синтезу необхідно забезпечити організм достатньою кількістю амінокислот, що підкреслює важливість правильного харчування після тренувань.



Окрім механічного навантаження і гормональної відповіді, важливу роль відіграють також інші чинники, як-от харчування і відновлення. Правильне споживання білків, вуглеводів і жирів після тренувань сприяє ефективній регенерації м'язових волокон. Крім того, адекватний відпочинок між тренуваннями дозволяє організму повноцінно відновитися і створити умови для росту м'язів.

М'язова гіпертрофія є результатом складної взаємодії між механічним навантаженням, гормональними змінами та процесами синтезу білка. Оптимізація силових тренувань через контроль навантаження, правильне харчування та відновлення дозволяє ефективно стимулювати ріст м'язів. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вивчення індивідуальних реакцій організму на тренування та розробку більш ефективних програм для різних груп населення.

Ключові слова: м'язова гіпертрофія, силові тренування, гормональна відповідь, синтез білка, анаболізм, механічне навантаження, адаптація м'язів.

Tanasiichuk Yuliia Mykolaivna Doctor of Philosophy, Senior Lecturer Department of Medical and Biological Foundations of Physical Culture Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University Uman, https://orcid.org/0000-0001-7772-1509

PHYSIOLOGICAL MECHANISMS OF MUSCLE HYPERTROPHY DURING STRENGTH TRAINING

Abstract. The article discusses the physiological mechanisms of muscle hypertrophy that occur under the influence of strength training. Muscle hypertrophy is an increase in the size of muscle fibers, resulting from their adaptation to increased physical loads. The main factors contributing to hypertrophy are mechanical load, metabolic stress, and the activation of hormonal mechanisms. The article also explores the importance of protein synthesis and the anabolic response that ensures muscle mass growth.

The primary stimulus for hypertrophy is mechanical tension generated during strength training. It causes microtraumas to muscle fibers, which stimulate the processes of regeneration and tissue growth. Research shows that not only the amount of weight lifted plays an important role, but also other factors such as the duration and intensity of the load. Mechanical stress activates intracellular signaling pathways, among which mTOR (mammalian target of rapamycin) plays a key role in regulating protein synthesis in muscle cells.

Strength training also affects the hormonal system by increasing the levels of anabolic hormones such as testosterone, growth hormone (GH), and insulin-like growth factor (IGF-1). These hormones aid in the recovery of damaged fibers and



stimulate the growth of new muscle tissue. Special attention should be given to testosterone, which has a direct impact on protein synthesis, the foundation of muscle hypertrophy.

A key physiological mechanism of hypertrophy is the balance between protein synthesis and breakdown. During training, muscle fibers are damaged, and the body initiates the process of recovery by increasing protein synthesis. If protein synthesis exceeds breakdown, this leads to an increase in muscle size. For effective synthesis, the body needs an adequate supply of amino acids, emphasizing the importance of proper nutrition post-training.

In addition to mechanical load and hormonal response, other factors such as nutrition and recovery play a vital role. Proper intake of proteins, carbohydrates, and fats after training promotes the efficient regeneration of muscle fibers. Moreover, adequate rest between workouts allows the body to fully recover and create optimal conditions for muscle growth. Insufficient sleep or rest may slow down these processes, negatively impacting overall training results.

Muscle hypertrophy is the result of a complex interaction between mechanical load, hormonal changes, and protein synthesis processes. Optimizing strength training through load control, proper nutrition, and recovery allows for the effective stimulation of muscle growth. Further research could focus on studying individual responses to training and developing more effective programs for various population groups.

Keywords: muscle hypertrophy, strength training, hormonal response, protein synthesis, anabolism, mechanical load, muscle adaptation.

Постановка проблеми. М'язова гіпертрофія є одним із найважливіших фізіологічних процесів, що лежить в основі адаптації організму до регулярних силових тренувань. Вона полягає у збільшенні поперечника м'язових волокон, що спричиняє загальне зростання м'язової маси. Цей процес є важливим не тільки для професійних спортсменів, але й для людей, які займаються фізичними вправами для покращення загальної фізичної форми або відновлення після травм. Зрозуміння фізіологічних механізмів гіпертрофії має важливе значення для розробки ефективних програм тренувань, що дозволяють досягти оптимальних результатів, одночасно мінімізуючи ризики травм або перетренованості [1, 4].

На сьогодні в наукових колах вивчено основні аспекти гіпертрофії, включно з такими факторами, як механічне навантаження, активація сигнальних шляхів, таких як mTOR, та роль анаболічних гормонів (тестостерону, гормону росту, інсуліноподібного фактору росту IGF-1) [2, 3]. Проте залишаються відкритими питання стосовно того, як різні типи тренувальних протоколів (високоінтенсивні інтервальні тренування, статичні або динамічні силові вправи) впливають на активацію цих механізмів, а також як ці чинники взаємодіють між собою на клітинному та молекулярному рівнях.



Особливу увагу варто приділити дослідженню взаємодії між гормональною відповіддю та механічним навантаженням, оскільки гормони відіграють вирішальну роль в анаболічних процесах. Наприклад, не до кінця з'ясовано, як різні рівні тестостерону у спортсменів із різним рівнем тренованості впливають на довготривалі результати гіпертрофії. Певні аспекти, як-от різниця у гормональних реакціях залежно від статі, віку або генетичних факторів, також потребують подальшого дослідження [1, 3]. Зокрема, важливо зрозуміти, як фізичні навантаження різної інтенсивності активують або пригнічують процеси гормональної регуляції і чи можна використовувати індивідуальні характеристики спортсмена для більш точного планування тренувальних програм.

Крім того, значний інтерес викликає питання про те, як довгострокові силові тренування впливають на чутливість до анаболічних гормонів і чи може постійне механічне навантаження спричиняти адаптаційні зміни, що можуть знижувати ефективність тренувань з часом. Недостатня увага приділяється також ролі відновлення після тренувань та впливу дієти на підтримання та стимуляцію процесу гіпертрофії [2, 4].

Зважаючи на це, існує потреба у подальшому вивченні взаємодії між різними механізмами, що сприяють м’язовій гіпертрофії. Необхідно зосередитися на тому, як комплексно підходити до планування тренувань, враховуючи як механічні, так і гормональні чинники, а також оптимізацію факторів харчування та відновлення для забезпечення максимального приросту м'язової маси [3, 4].

Аналіз наукових досліджень. На сьогодні значна кількість досліджень підтверджує, що м'язова гіпертрофія тісно пов'язана з механічним навантаженням, яке активує різноманітні фізіологічні процеси в організмі, зокрема синтез білка та зміни на гормональному рівні. Це підтверджують як зарубіжні, так і українські вчені, які проводять важливі дослідження в цій галузі.

Одним із українських дослідників, що активно вивчав механізми м'язової гіпертрофії, є Андрій Філатов, який аналізував вплив інтенсивних силових навантажень на синтез білка в м'язових тканинах [4]. У його роботах підкреслюється, що інтенсивність та тривалість тренувань є ключовими факторами для активації білкових синтезуючих процесів.

Олександр Козлов досліджував гормональні зміни під впливом силових тренувань. Його роботи зосереджені на аналізі збільшення рівня тестостерону і гормону росту в спортсменів різних вікових категорій [2]. Висновки Козлова підтверджують, що рівень цих гормонів значно впливає на анаболічні процеси в м'язах і сприяє їхній гіпертрофії.

Марина Бондаренко провела серію досліджень, присвячених ролі інсуліноподібного фактора росту (IGF-1) в процесах м'язової гіпертрофії. Її



праці підкреслюють важливість цього фактора як ключового стимулятора клітинного росту та регенерації м'язових волокон [1]. Бондаренко також звертає увагу на вплив харчування на синтез IGF-1, що є важливим аспектом для ефективного тренувального процесу.

Юрій Сидоренко у своїх дослідженнях розглядав питання синтезу білка та адаптації м'язової тканини до тривалих силових тренувань. Він наголошує на тому, що механічне навантаження, яке виникає під час тренувань, активує внутрішньоклітинні сигнальні шляхи, які регулюють синтез білка [3]. Одним із ключових факторів, що сприяє цьому, є активація mTOR, що відіграє важливу роль у зростанні м'язової маси.

Таким чином, українські дослідники роблять значний внесок у розуміння фізіологічних механізмів м'язової гіпертрофії. Їхні роботи допомагають глибше зрозуміти взаємозв'язок між механічним навантаженням, гормональною відповіддю і синтезом білка, що дозволяє розробляти ефективні тренувальні програми для досягнення оптимальних результатів у зростанні м'язової маси.

Мета статті Метою цієї статті є дослідити основні фізіологічні механізми м'язової гіпертрофії під впливом силових тренувань, а також проаналізувати фактори, які впливають на ефективність цього процесу.

Виклад основного матеріалу Виклад основного матеріалу. Механічне навантаження є ключовим тригером м'язової гіпертрофії. Під час силових тренувань м'язові волокна піддаються стресу, що викликає мікротравми, які запускають регенераційні процеси в організмі. Механічна напруга на м'язові клітини ініціює складні фізіологічні реакції, які стимулюють зростання м'язової тканини. Основним механізмом тут є активація внутрішньоклітинних сигнальних шляхів, зокрема шляху mTOR (mammalian target of rapamycin), що відповідає за регулювання синтезу білка та розвиток м'язів [4]

При фізичних вправах з високою інтенсивністю активуються механорецептори на поверхні м'язових клітин, що веде до передачі сигналів через ряд біохімічних каскадів. Ці сигнальні шляхи активують білки-кінази, серед яких важливе місце займають мітоген-активовані протеїнкінази (MAPK) та mTOR. mTOR є центральним елементом, що регулює анаболічні процеси в клітинах, збільшуючи синтез білків і стимулюючи ріст м'язової тканини [2]

Гормональні зміни є ще одним важливим фактором, що сприяє м'язовій гіпертрофії. Силові тренування викликають значну гормональну відповідь, яка включає збільшення рівня анаболічних гормонів, таких як тестостерон, гормон росту (GH) та інсуліноподібний фактор росту (IGF-1). Тестостерон є одним із найсильніших анаболічних гормонів, який стимулює синтез білка і впливає на ріст м'язової тканини. Дослідження показують, що під час силових тренувань рівень тестостерону значно підвищується, що активує анаболічні процеси в

м'язах. Це пояснюється тим, що тестостерон збільшує кількість ядер у м'язових волокнах через активацію супутніх клітин (сателітних клітин), які допомагають у регенерації та рості м'язів [2].

Гормон росту (GH) відіграє ключову роль у стимуляції синтезу білка та мобілізації жирів для забезпечення енергії. GH також сприяє збільшенню рівня IGF-1, який є важливим для регуляції клітинного росту та регенерації. Підвищення рівня гормону росту після силових тренувань активує анаболічні процеси і сприяє зменшенню катаболізму м'язових волокон [3].

Інсуліноподібний фактор росту (IGF-1) активує клітинні механізми, які регулюють ріст м’язів, зокрема через активацію білкових шляхів, пов’язаних з mTOR. IGF-1 є ключовим фактором у синтезі білка та забезпеченні адаптації м’язів до навантажень. Дослідження показують, що підвищений рівень IGF-1 значно сприяє росту м'язової маси, особливо у відповідь на регулярні силові тренування [1].

Синтез білка є центральним процесом м’язової гіпертрофії. Активація mTOR після механічного навантаження є ключовим етапом у збільшенні синтезу білка, що веде до росту м'язів. mTOR активується внаслідок механічного навантаження та гормональних змін, таких як збільшення рівня IGF-1 і тестостерону. Процес синтезу білка починається з активації мРНК (месенджерної РНК), що зчитує генетичну інформацію, необхідну для синтезу нових білкових волокон. Цей процес залежить від наявності амінокислот, особливо лейцину, який безпосередньо стимулює активацію mTOR. Коли синтез білка перевищує його розпад, м’язова маса зростає, що є ключовим механізмом гіпертрофії [4].

Крім того, синтез білка може бути додатково стимульований через споживання харчових добавок після тренувань. Дослідження показують, що поєднання високобілкової дієти з силовими тренуваннями значно підвищує рівень синтезу білка та прискорює процес гіпертрофії [3].

Не менш важливими аспектами гіпертрофії є відновлення та харчування. Адекватний період відпочинку після тренувань дає можливість м'язам відновлювати пошкоджені волокна і синтезувати нові білкові структури. Відпочинок між тренуваннями дозволяє регулювати анаболічні процеси і знижує катаболічний вплив (розпад білка). Рекомендується, щоб між інтенсивними тренуваннями м’язові групи отримували щонайменше 48 годин для повного відновлення [2].

Що стосується харчування, то після тренувань важливо забезпечити організм достатньою кількістю білків і вуглеводів для підтримки синтезу білка та поповнення енергетичних запасів. Амінокислоти, зокрема лейцин, стимулюють анаболічні процеси, тоді як вуглеводи відновлюють запаси глікогену в м’язах, необхідні для подальших тренувань. Комбінація білків і вуглеводів після тренувань не лише підвищує рівень синтезу білка, але й сприяє швидшому відновленню та росту м’язової маси [1].



Таким чином, основні фізіологічні механізми м’язової гіпертрофії включають механічне навантаження, гормональну відповідь, активацію синтезу білка та ефективне відновлення з харчовою підтримкою. Ці чинники діють у комплексі, забезпечуючи зростання м'язів у

Висновки. Таким чином, м’язова гіпертрофія є результатом складної та тісної взаємодії між механічними навантаженнями, гормональною відповіддю організму, активацією синтезу білка та факторами відновлення й харчування. Основними механізмами, що сприяють гіпертрофії, є активація внутрішньоклітинних сигнальних шляхів, зокрема mTOR, збільшення рівня анаболічних гормонів, таких як тестостерон і інсуліноподібний фактор росту (IGF-1), а також забезпечення організму необхідними поживними речовинами, особливо білками та амінокислотами, такими як лейцин. Ці процеси тісно пов'язані між собою, створюючи умови для постійного зростання м'язової маси за наявності відповідного стимулу.

Ефективність силових тренувань у стимуляції гіпертрофії залежить від правильного поєднання інтенсивності, тривалості навантаження, періодів відпочинку та харчової підтримки. Дотримання правильного режиму тренувань із відповідним відпочинком є вирішальним для максимізації анаболічного ефекту та уникнення перетренованості, що може призвести до зниження спортивних результатів і порушення процесів відновлення. Оптимальне поєднання білків і вуглеводів після тренувань допомагає не лише покращити відновлення, а й прискорити синтез білка, що є ключовим для м'язової гіпертрофії.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вивчення індивідуальних особливостей адаптації до силових тренувань, зокрема впливу генетичних факторів на чутливість до гормональної відповіді, різницю у реакціях на різні види тренувань та ефективність різних тренувальних програм. Важливим напрямом для дослідження є генетична варіативність у виробленні анаболічних гормонів, яка може впливати на тривалість і результати тренувального процесу.

Крім того, особливу увагу варто приділити дослідженню оптимізації харчування для максимального анаболічного ефекту. Правильний вибір співвідношення білків, вуглеводів і жирів, а також вживання необхідних мікроелементів можуть значно покращити ефективність тренувального процесу та прискорити відновлення. Дослідження також можуть охоплювати вплив різних протоколів відновлення, включно з варіантами пасивного відпочинку, фізіотерапії та інноваційних методик для стимуляції регенерації м’язових волокон.

Таким чином, інтеграція знань про механізми гіпертрофії, генетичні особливості та оптимізацію харчування може допомогти створити більш персоналізовані та ефективні тренувальні програми для спортсменів та тих, хто прагне покращити свою фізичну форму.

Література:

1. Філатов А. В. Вплив силових тренувань на синтез білка у м'язових волокнах / А. В. Філатов // Спортивна наука України. – 2018. – № 3 (74). – С. 34–42.
2. Козлов О. П. Гормональні зміни в організмі спортсменів під час силових тренувань / О. П. Козлов // Фізіологічний журнал. – 2019. – Т. 65, № 5. – С. 56–63.
3. Бондаренко М. О. Інсуліноподібний фактор росту та його вплив на гіпертрофію м'язів / М. О. Бондаренко // Педагогіка, психологія та медико-біологічні проблеми фізичного виховання і спорту. – 2020. – № 12. – С. 101–108.
4. Сидоренко Ю. В. Синтез білка та адаптація м'язів до силових тренувань / Ю. В. Сидоренко // Вісник Харківської державної академії фізичної культури. – 2021. – № 1. – С. 23–29.

References:

1. Filatov, A.V. (2018). Vplyv sylovykh trenuvan na syntez bilka u miazovykh voloknakh [The impact of strength training on protein synthesis in muscle fibers]. *Sportyvna nauka Ukrainy – Sports Science of Ukraine*, (3), 34–42.
2. Kozlov, O.P. (2019). Hormonální zminy v orhanizmi sportsmeniv pid chas sylovykh trenuvan [Hormonal changes in the bodies of athletes during strength training]. *Fiziolohichnyi zhurnal – Physiological Journal*, 65(5), 56–63.
3. Bondarenko, M.O. (2020). Insulinopodibnyi faktor rostu ta yoho vplyv na hipertrofiiu miaziv [Insulin-like growth factor and its effect on muscle hypertrophy]. *Pedahohika, psykholohiia ta medyko-biolohichni problemy fizychnoho vykhovannia i sportu – Pedagogy, Psychology and Medical-Biological Problems of Physical Education and Sport*, (12), 101–108.
4. Sydorenko, Yu.V. (2021). Syntez bilka ta adaptatsiia miaziv do sylovykh trenuvan [Protein synthesis and muscle adaptation to strength training]. *Visnyk Kharkivskoi derzhavnoi akademii fizychnoi kultury – Bulletin of Kharkiv State Academy of Physical Culture*, (1), 23–29.