

## **РУБРИКА «Медицина»**

УДК 575.1:796

[https://doi.org/10.52058/2786-4952-2023-6\(24\)-7-16](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2023-6(24)-7-16)

**Бессєдіна Антоніна Анатоліївна** кандидат педагогічних наук, доцент, Сумський державний університет, вул. Миколи Сумцова, 2, м. Суми, 40000, тел.: (0542) 33-40-58, <https://orcid.org/0000-0001-7294-3137>

**Деменко Марина Миколаївна** кандидат біологічних наук, старший викладач, Сумський державний університет, вул. Миколи Сумцова, 2, м. Суми, 40000, тел.: (0542) 33-40-58, <https://orcid.org/0000-0003-0717-5922>

**Левченко Зоя Михайлівна** асистент, Сумський державний університет, вул. Миколи Сумцова, 2, м. Суми, 40000, тел.: (0542) 33-40-58, <https://orcid.org/0000-0003-0722-830X>

**Ребрій Юлія Олегівна** аспірант, Сумський державний університет, вул. Миколи Сумцова, 2, м. Суми, 40000, тел.: (0542) 33-40-58, <https://orcid.org/0000-0002-3993-4578>

### **АНАЛІЗ РОЛІ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧНИХ МАРКЕРІВ У РОЗВИТКУ ФІЗИЧНИХ ЯКОСТЕЙ**

**Анотація.** З метою пошуку молекулярно-генетичних маркерів спадкової схильності до занять різними видами спорту, актуальним залишається дослідження ролі алельного поліморфізму у розвитку фізичних якостей. Молекулярно-генетичні дослідження вивчають геном людини, будову і структуру хромосом і генів, як носіїв спадкової інформації, регуляцію експресії генів і активності білка. Дослідження мають велике значення у спортивному відборі, дозволяють безпомилково знайти генетичні маркери, що відображають спадкові задатки індивідуумів та причини розвитку відхилень в їх організмі. У цьому контексті молекулярно-генетичне дослідження спрямоване на виявлення в спортсменів несприятливих варіантів генів для коригування їхніх ефектів і виявлення рідкісних сприятливих генетичних маркерів, що дають перевагу в різних видах спорту.

Досягнення молекулярної генетики привели до ідентифікації генетичних маркерів, пов'язаних із генами, що впливають на спортивну

діяльність: витривалість, швидкісні та силові якості. Спортивні здібності розвиваються і успадковуються полігенно, тобто залежать від алельних варіантів певної кількості генів. Тому, відповідно до досліджень сучасної молекулярної генетики фізичної активності, прояви спортивної витримки, загартованості пов'язані із поліморфізмом генів. Найбільшої уваги заслуговують поліморфізми генів асоційовані зі спортивною діяльністю. Це гени та їх продукти: ACE (ангіотензин-перетворювальний фермент (ковертаза); ACNT3 ( $\alpha$ -актинін); UPC2 (роз'єднувальний протеїн); PPAR $\gamma$  ( $\gamma$ -рецептор, що активується проліфератором пероксисом); BDKRB2 (рецептор брадикініну  $\beta$ 2); AMPD1(АМФ-дезаміназа 1); eNOS (ендотеліальна NO-синтетаза). Генетичні маркери займають надзвичайно важливе та перспективне значення у виявленні й прогнозуванні фізичних якостей спортсменів і в удосконалюванні медичних знань про особливості функціонування організму спортсмена. Тому, на сьогодні залишається важливим питання ролі молекулярно-генетичних маркерів у розвитку фізичних якостей.

**Ключові слова:** генетичні маркери, ДНК-поліморфізми, фізичні якості, спортсмени.

**Biesiedina Antonina Anatoliivna** Ph.D., Associate Professor, Sumy State University, Mykoly Sumtsova St., 2, Sumy, 40000, tel.: (0542) 33-40-58, <https://orcid.org/0000-0001-7294-3137>

**Maryna Mykolaivna Demenko** Ph.D., Senior Lecturer, Sumy State University, Mykoly Sumtsova St., 2, Sumy, 40000, tel.: (0542) 33-40-58, <https://orcid.org/0000-0003-0717-5922>

**Levchenko Zoya Mykhailivna** Assistant, Sumy State University, Mykoly Sumtsova St., 2, Sumy, 40000, tel.: (0542) 33-40-58, <https://orcid.org/0000-0003-0722-830X>

**Rebrii Yulia Olehivna** Graduate student, Sumy State University, Mykoly Sumtsova St., 2, Sumy, 40000, tel.: (0542) 33-40-58, <https://orcid.org/0000-0002-3993-4578>

## **ANALYSIS OF THE ROLE OF MOLECULAR-GENETIC MARKERS IN THE DEVELOPMENT OF PHYSICAL QUALITIES**

**Abstract.** In order to search for molecular genetic markers of hereditary predisposition to engage in various sports, the study of the role of allelic polymorphism in the development of physical qualities remains relevant. Molecular genetic research studies the human genome, the structure of chromosomes and genes

as carriers of hereditary information, the regulation of gene expression and protein activity. Research is of great importance in sports selection, it allows you to unmistakably find genetic markers that reflect the hereditary predisposition of individuals and the reasons for the development of abnormalities in their body. Molecular genetic research is aimed at identifying unfavorable gene variants in athletes to correct their effects and identify rare favorable genetic markers that give advantage in various sports.

Advances in molecular genetics have led to the identification of genetic markers associated with genes affecting athletic performance: endurance, speed, and strength qualities. Sports abilities develop and are inherited polygenically, that is, they depend on the allelic variants of a certain number of genes. Therefore, according to the research of modern molecular genetics of physical activity, manifestations of sports endurance, toughness are related to gene polymorphism. Gene polymorphisms associated with sports activities deserve the most attention. These are genes and their products: ACE (angiotensin-converting enzyme); ACNT3 ( $\alpha$ -actinin); UPC2 (uncoupling protein); PPARG (peroxisome proliferator-activated receptor  $\gamma$ ); BDKRB2 (bradykinin  $\beta$ 2 receptor); AMPD1 (AMP-deaminase 1); eNOS (endothelial NO-synthetase). Genetic markers play an extremely important and promising role in detecting and predicting the physical qualities of athletes and in improving medical knowledge about the peculiarities of the functioning of the athlete's body. Therefore, the role of molecular genetic markers in the development of physical qualities.

**Keywords:** genetic markers, DNA polymorphisms, physical qualities, athletes.

**Постановка проблеми.** У сучасному світі спорт відіграє важливу роль. Займаючись різними видами активної спортивної діяльності людина стає здоровішою, витривалішою, сильнішою тощо. Проте, одна особа прикладає великих зусиль та часу на тренування, але не досягає бажаних результатів та постійно відчуває виснаження, а інша, при рівносильному вкладі, досягає висот, займає перші місця у змаганнях, при цьому відчуває бадьорість та натхнення на нові звершення. Причиною цьому є багато факторів, серед яких фактори зовнішнього середовища, внутрішній стан організму, режим тощо, але значну роль відіграє генетичний фактор.

Відповідно до досліджень сучасної молекулярної генетики м'язової діяльності, прояви спортивної витримки, загартованості пов'язані із поліморфізмом генів. Спортивні здібності розвиваються і успадковуються полігенно, тобто залежать від алельних варіантів певної кількості генів. Молекулярно-генетичні дослідження спрямовані на виявлення в окремих спортсменів несприятливих варіантів генів для коригування їхніх ефектів і виявлення рідкісних сприятливих генетичних маркерів, що дають перевагу в різних видах спорту. Тому, з метою пошуку молекулярно-генетичних маркерів

спадкової схильності до занять різними видами спорту, актуальним залишається дослідження ролі алельного поліморфізму.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Молекулярно-генетичні дослідження займають чинне місце в нашому житті, саме за допомогою них, ми можемо отримати знання про генетичні особливості розвитку фізичних якостей та підвищити прогностичні можливості, поліпшити професійну орієнтацію і знизити ризик розвитку патології. Варто зазначити, що за останнє десятиліття в молекулярній генетиці відбувся значний прогрес, що підтверджено науковими роботами, як вітчизняних та і зарубіжних фахівців (С. Дроздовської, Т. Серебровської, О. Корушко, В. Шатило, А. Чубенко, В. Рогозкіна, М. Bray, J. Hamberg, L. Perrusse, T. Raikinen) [1; 2; 3; 4; 5; 6]. Отримані результати вказують, що поліморфізм генів – це інформативні маркери для комплексної системи оцінки спадкової схильності до занять різними видами спорту. Науковці проводять поглиблено дослідження з ідентифікації генетичних маркерів фізичної діяльності, що дозволяє прогнозувати розвиток фізичних якостей людини й має велике практичне значення для ефективного спортивного відбору. Тому, з метою раннього прогнозування спортивних задатків людини, актуальним залишається питання розвитку молекулярно-генетичних досліджень в розвитку фізичних якостей спортсменів.

**Мета статті** полягає у теоретичному обґрунтуванні та аналізі досліджень з генетики спорту щодо вивчення ролі алельного поліморфізму у розвитку фізичних якостей спортсменів. Для досягнення поставленої мети використовувалися науково-пошуковий метод дослідження.

**Виклад основного матеріалу.** Спортивні здібності розвиваються і успадковуються полігенно, тобто залежать від алельних варіантів певної кількості генів. Відповідно до досліджень сучасної молекулярної генетики фізичної активності, прояви спортивної витримки, загартованості пов'язані із поліморфізмом генів. Геном людини містить більше ніж 21 млн. поліморфізмів, як свідчать дані EMBL [1]. Формування спортивної генетики відбулося на Олімпійському науковому конгресі під назвою «Спорт в сучасному суспільстві». Клод Бушар вперше запропонував термін «генетика спортивної діяльності», після цього була опублікована перша стаття з молекулярної-генетики спорту (R. Pate, M. Pratt, W. Haskell, C. Mascera, C. Bouchard et al., 1995) [7]. За допомогою результатів роботи британського вченого Х. Монтгомері та його команди, було вперше показано роль гена ангіотензин конвертуючого ферменту – ACE в спортивній майстерності. Було виявлено, що один із поліморфних алелів гена ACE: алель В забезпечує витривалість, натомість алель А відповідає за швидко-силові якості спортсмена. Виявилось, що у спортсмені у видах спорту на витривалість частота алелю В вище, ніж у тих де переважає швидко-силові види, у яких, в свою чергу, алель А вище [8].

Виділяють алелі, що асоціюються з розвитком і проявом витривалості чи швидкості та сили. Всі ці відкриття підтвердили висновок Х. Монтгомері. Якщо поглибитися, можна виявити, що якості витривалості або швидко-силові детерміновані мінімум сьома генами, тому у людини може бути алель витривалості за геном ACE і три-чотири алелі «швидкість-сила» за іншими генами, що обумовлює його перевагу в швидко-силових видах спорту (H. Montgomery, P. Clarkson, C. Dollery, K. Prasad et al., 1997).

Генетичним маркером називають стійку ознаку організму, яка визначається та пов'язана з його генотипом [9]. Для практичної зручності науковці О. Юшковська, В. Стоянов та ін. запропонували розрізняти маркери абсолютні і умовні. У абсолютних маркерів коефіцієнт успадкованості  $H$  наближається до значення 1,0. Це такі як групи крові, шкірні візерунки – дерматогліфи, форми зубів (одонтогліфи), хромосомні набори та гени тощо. В умовних маркерах коефіцієнт успадкованості нижчий  $H = 0,8 - 0,9$ . Це такі як тип вищої нервової діяльності, соматотип людини, домінування правої чи лівої півкулі, гормональний статус, асиметрія головного мозку тощо [10]. Специфічними маркерами є окремі гормони та їх співвідношення в крові, що можуть бути показниками морфологічних особливостей і поведінкових реакцій людини.

ДНК-поліморфізми – це генетичні варіанти послідовностей нуклеотидів однієї й тієї ж ділянки ДНК у різних людей, які зустрічаються у популяції з частотою не менше 1%. Деякі поліморфізми здатні впливати на ступінь експресії генів, активність функціональних продуктів (білків, РНК) і структуру білків. Фізична генетична карта людини, на думку сучасних дослідників М. Bray, J. Hamberg, L. Perrusse, T. Rankinen та ін., нараховує 214 генів, поліморфізми яких асоційовані з розвитком і проявом фізичних якостей, а також морфофункціональними та біохімічними характеристиками, що змінюються під впливом фізичних навантажень різної спрямованості [6].

На думку таких вчених, як С. Дроздовської, Т. Серебровської, О. Корушко, В. Шатило, А. Чубенко, В. Рогозкіна, за адаптацію організму людини до спортивного навантаження відповідають комбінації сукупності генів та їх алельного поліморфізму, який пов'язаний з підвищенням фізичних характеристик і морфо-функціональних якостей. На даний момент вченими виявлено понад 100 генетичних типів, які пов'язані із здібностями до спортивних навантажень [1; 2; 4; 5].

На сьогодні, як зазначає Т. Rankinen, понад 150 поліморфізмів ДНК були пов'язані з певною формою фізичної працездатності людини. Для багатьох поліморфізмів, пов'язаних з продуктивністю людини, існував лише один позитивний зв'язок із відповідним фенотипом. До генетичних маркерів, що стосуються спадкової схильності відносяться: I/D поліморфізм гена ACE, C поліморфізм гена eNOS, R577X поліморфізм гена ACTN3, G/C поліморфізм 7-го інтрону гена PPARA та ін. [6]. Генетичні маркери, асоційовані зі спортивною діяльністю показані в таблиці 1.

Таблиця 1.

**Генетичні маркери, асоційовані зі спортивною діяльністю.**

Ген	Продукт гена	D	Алель витривалості	Алель швидкості і сили
ACE	Ангіотензин-перетворювальний фермент (ковертаза)	Alu Ins/Del	I	D
ACTN3	$\alpha$ -актинін 3	R577X	X	R
UPC2	Роз'єднувальний протеїн	Ala55Val	Val	Ala
PPARG	$\gamma$ -рецептор, що активується проліфератором пероксисом	Pro12Ala	-	Ala
BDKRB2	Рецептор брадикініну $\beta$ 2	-9/+9	-9	-
AMPD1	АМФ-дезаміназа 1	C34T	C	T
eNOS	Ендотеліальна NO-синтетаза	4a/4b	4b	-

Ангіотензин-перетворювальний фермент (конвертаза) – це білок, який кодується геном *ACE*, розташованим у людини на короткому плечі 17-ї хромосоми. Відіграє важливу роль у ренін-ангіотензивній системі, що регулює кров'яний тиск в організмі. Другою важливою функцією є інактивація брадикардину. Поліморфізм гена ангіотензинперетворювального ферменту доволі широко розкритий у професійних спортсменів із погляду можливості розвитку фізичної якості – витривалості [9].

Згідно з думкою зарубіжних авторів, ген *ACTN3* ( $\alpha$ -актинін 3) є одним з найбільш важливих генів, який керує структурою та функцією м'язових волокон [11]. *ACTN3* експресується строго у швидких м'язових волокнах, продуктом гена є альфа-актинін3. У даного гена існує 2 алелі: домінантний-R і рецесивний- X. Відповідно, можливі генотипи з цього гену – RR, RX, XX. Для варіанту RR генотипу характерні такі спортивні характеристики: швидкість, високі силові характеристики, низька витривалість, отже рекомендовані такі види спорту: бодібілдинг, боротьба, плавання та велосипедний спорт. Для генотипу RX – витривалість, швидка реакція, отже рекомендований бодібілдинг, футбол, баскетбол, великий теніс, спортивна ходьба, плавання. Для генотипу XX – висока витривалість, тривалі навантаження, швидкість; рекомендовані види

спорту: марафон, триатлон, плавання і велосипедний спорт [11]. Дослідники, вивчаючи поліморфізм генів ACE (ангіотензин I-перетворюючого ферменту (пептидилдипептидаза А) 1) і ACTN3 (актинін,  $\alpha 3$ ), виявили асоціації поліморфізмів з показниками витривалості. Це було тільки для шести поліморфізмів (ACE, ACTN3, ADRB2 (адренергічний,  $\beta$ -2-, рецептор, поверхневий), AMPD1 (аденозинмонофосфатдезаміназа 1 (ізоформа М)), APOE (аполіпропротеїн). Е) і BDKRB2 (рецептор брадикініну В2)). Ці спостереження потребують подальших досліджень та розгляду.

У швидких м'язових волокнах синтезується білок альфа-актинін-3, що кодується геном ACTN-3, розташованим у 11 хромосомі. Альфа-актинін-3 стабілізує скорочувальний апарат скелетних м'язів і бере участь у різноманітних метаболічних процесах. Пов'язаний з атлетичними видами спорту. Дефіцит  $\alpha$ -актиніна-3 у м'язових волокнах, що швидко скорочуються, призводить до зниження швидкісно-силових показників фізичної працездатності людини [12].

Роз'єднувальний протеїн є транспортером аніонів і протонів між внутрішньою та зовнішньою мітохондральними мембранами і сприяє виділенню накопиченої енергії у вигляді тепла. Бере участь в термогенезі, регуляції обміну жирів та витраті енергії. Одним із функціональних поліморфізмів гену UCP2 є Ala55Val, що асоціюється з високою метаболічною ефективністю м'язової діяльності і фізичною активністю, а також зі зниженою витратою енергії в спокою. Пов'язаний зі швидкісно-силовими якостями спортсменів [13].

Гамма-рецептор, що активується проліфератором пероксисом. Ген PPAR $\gamma$ , локалізований в 3 хромосомі, кодує рецептор, який активується факторами проліферації пероксисом  $\gamma$ , – один із ключових регуляторів метаболізму жирів. Різні алельні варіанти PPAR $\gamma$  впливають на диференціацію адипоцитів, гомеостаз глюкози, чутливість до інсуліну, енергетичний баланс та ІМТ. PPAR $\gamma$ C1 є коактиватором PPAR $\gamma$ , транскрипційним фактором, який регулює гени, залучені до продукції енергії, адаптативний термогенез, окислення жирних кислот, глікогеногенез. Є маркером схильності до занять такими видами спорту, що пов'язані з анаеробними механізмами енергозабезпечення – біг на короткі дистанції, легкоатлетичні стрибки. Крім того, у групі спортсменів, орієнтованих на витривалість, з циклічною діяльністю виявлено зростання частоти алеля PPAR $\gamma$ C із зростанням рівня майстерності спортсменів. Таким чином, алель PPAR $\gamma$ C асоціюється зі схильністю до показників витривалості [13].

Рецептор брадікардину  $\beta 2$  викликає багато реакцій, включаючи вазодилатацію, набряк, спазм гладких м'язів і стимуляцію м'язового волокна. Брадікардин вивільняється при активації патофізіологічних станів, таких як травма і запалення, і зв'язує його з рецепторами кініну, В1 та В2. Впливає на швидкісно-силові якості спортсменів. АМФ-дезаміназа 1 відіграє важливу роль в енергетичному метаболізмі. Пов'язаний з роботою з максимальною аеробною потужністю (біг на 100-200м) [12; 14].

Ендолетіальна NO-синтаза. Відіграє важливу роль у багатьох фізіологічних процесах, таких як регуляція скорочення гладеньких м'язів, передача нервових імпульсів, забезпечення імунної відповіді. Поліморфізму промотора гена eNOS асоційована зі схильністю до занять швидкісно-силовими видами спорту та видів спорту, що потребують поєднаного розвитку сили та витривалості [14].

Таким чином, ми охарактеризували деякі генетичні маркери, асоційовані зі спортивною діяльністю. Вивчення ролі молекулярно-генетичних маркерів у розвитку фізичних якостей може істотно підвищити прогностичні можливості, поліпшити професійну орієнтацію в різних сферах діяльності людини і зберегти його здоров'я. Визначення рівнів експресії генів спортивної успішності дозволить порівнювати результативність спортсменів з однаковими генотипами, але з різною експресією генів, і на цій основі визначати програму тренувань, оскільки прояви діяльності генів у різних людей можуть змінюватися по-різному залежно від інтенсивності та тривалості навантажень. Розробка програм відбору юних спортсменів, що мають генетично зумовлені дані для досягнення високих результатів. ДНК-тестування дозволяє значно покращити відбір і профілізацію спортсменів, оскільки традиційні підходи не завжди можуть коректно визначити, в якому виді спорту молода людина може досягнути найкращих результатів. Виявлення у спортсменів генетичного ризику професійних патологічних процесів і хвороб, що має запобігати ранній інвалідності і передчасній смерті спортсменів. А також розробка методів виявлення генного допінгу – нетерапевтичного застосування клітин, генів, генетичних елементів чи модуляторів експресії генів, що мають здатність покращувати спортивні результати.

**Висновки.** Таким чином, науково-пошуковий метод дослідження дозволив схарактеризувати поліморфізм генів, що впливає на визначення спадкової схильності в спорті. Підсумовуючи ці дослідження, можна сказати, що справді ефективність спортивних досягнень залежить від спадкової належності, але вони не дають 100% інформативності щодо спортивної успішності та потребують подальшого вивчення. Отже, генетичні маркери займають надзвичайно важливе та перспективне значення у виявленні й прогнозуванні фізичних якостей спортсменів і в удосконалюванні медичних знань про особливості функціонування організму спортсмена.

Молекулярно-генетичні дослідження необхідні також для визначення ризиків розвитку патології у спортсменів і її профілактики. Оцінка отриманих результатів обстеження повинна бути комплексною (клінічні, генетичні та біохімічні дані). На підставі математичної обробки генетичних даних можна будувати моделі передбачення ознак людини. За допомогою генетичного тестування можна чітко диференціювати суб'єктів із спадковою схильністю до силових видів спорту і до видів спорту, в яких вирішальна роль належить



витривалості. Отримані дані щодо спортивної генетики обґрунтовують необхідність та дають можливість для розробки моделі генетичного паспорта спортсмена, що буде відображати індивідуальну базу ДНК-даних.

### *Література:*

1. Дроздовська С. Комплексний аналіз поліморфізмів генів при визначенні спадкової схильності до різних видів спорту / Дроздовська С. // Молода спортивна наука України. – 2011. – Т.3. – С. 106-110.
2. Серебровська Т.В. Індивідуальні особливості адаптації людини до періодичної гіпоксії: пошук можливих генетичних механізмів / Т.В. Серебровська, О.В. Коркушко, В.Б. Шатило // Фізіологічний журнал. – 2007. – Вип. 52. – С. 16-17.
3. Сергиенко Л.П. Основы спортивной генетики : учеб. пособие / Л. П. Сергиенко. – К: Вища школа, 2004. – 631 с.
4. Чубенко А. Генетика и пределы человеческих возможностей / А. Чубенко // Коммерческая биотехнология. – 2008. – № 2. – С. 43-51.
5. Рогозкин В.А. Генетические маркеры физической работоспособности человека / В.А. Рогозкин, И.Б. Назаров, В.И. Казаков // Теория и практика физической культуры. – 2000. – № 12. – С. 34-36.
6. Bray M.S. The human gene map for performance and health-related fitness phenotypes: the 2006-2007 update / M.S. Bray, J.M. Hamberg, L. Perrusse, T. Raikinen, S.M. Roth, B. Wolfarth, C. Bouchard // Medicine & Science in Sports & Exercise. – 2009. – Vol.41(1). – P. 35-73.
7. Pate R.R., Physical activity and public health: recommendation from the Centers for Disease Control and Prevention and the American College of Sports Medicine / Pate RR, Pratt M, Blair S.N., Haskell W.L., Macera C.A., et al // JAMA. – 1995. – №273(5). – P. 402-407.
8. Montgomery H. Human gene for physical performance / H. Montgomery, R. Marshall // Nature. – 1998. – Vol. 21, N 393 (6682). – P. 221-222.
9. Ахметов И. И. Молекулярная генетика спорта. / И.И. Ахметов. – М.: Советский спорт, 2009. – 268 с.
10. Юшковська О. Г. Спортивна генетика – перспективний напрямок розвитку спортивної медицини / О.Г. Юшковська, В. К. Стоянов // Одеський медичний журнал. – 2009. – № 5 (115). – С. 73-78.
11. Jang M.S. Binding and regulation of hypoxia-inducible factor -1 by the inhibitory PAS proteins/ M.S.Jang, J.E. Park, A.L. Jung, S.G. Park, P.K. Myung, D.H. Lee, B.C. Park , S.Cho // Biochemical and biophysical research communications. – 2005. – Vol.337. – P. 209-215.
12. Деньга О. В. Вивчення асоціації поліморфізму генів, пов'язаних зі спортивною успішністю та ризиком розвитку професійних захворювань у юних спортсменів-футболістів / Деньга О.В., Осадча А.О. // Вісник Вінницького національного медичного університету. – 2022. – Т. 26, №2. – С.179-183.
13. Ahmetov Ildus I. Sport genomics: current state of knowledge and future directions / Ildus I. Ahmetov, Olga N. Fedotovskaya // Cellular and molecular exercise physiology. – 2012. – P. 1-24.
14. Дроздовська С.Б. T-786→C поліморфізм промотора гена ендотеліальної NO-синтази (eNOS) та фізична працездатність у спорті / С.Б. Дроздовська, О.М. Лисенко, В.Є. Досенко, В.М. Ільїн, О.О.Мойбенко //Фізіологічний журнал. – 2013. – №6. – С. 63-71.

### *References:*

1. Drosdovska, S. (2011). Kompleksnyi analiz polimorfizmiv heniv pry vyznachenni spadkovoi skhylnosti do riznykh vydiv sportu [Comprehensive analysis of gene polymorphisms in determining hereditary predisposition to various sports] // Moloda Sportyvna Nauka Ukrainy, 3, 106-110 [in Ukrainian].

2. Serebrovska, T.V., & Korkushko, O.V., & Shatylo, V.B. (2007). Individualni osoblyvosti adaptatsii liudyny do periodychnoi hipoksii: poshuk mozhyvykh henetychnykh mekhanizmiv [Individual features of human adaptation to periodic hypoxia: search for possible genetic mechanisms]. *Fiziolohichniy zhurnal*, 52, 16-17 [in Ukrainian].
3. Serhyenko L.P. (2004). *Osnovy sportyvnoi henetyky : ucheb. posobyе* [Fundamentals of sports genetics]. Kyiv: Vyshcha shkola [in Ukrainian].
4. Chubenko A. (2008). Henetyka y predely chelovecheskykh vozmozhnostei [Genetics and limits of human potential]. *Kommercheskaia byotekhnolohyia*, 2, 43-51 [in Ukrainian].
5. Rohozkyn, V.A., & Nazarov, Y.B., & Kazakov, V.Y. (2000). Henetycheskye markery fyzycheskoi rabotosposobnosti cheloveka [Genetic markers of human physical performance] *Teoriya y praktyka fyzycheskoi kultury*, 12, 34-36 [in Russian].
6. Bray, M.S., & Hamberg, J.M., & Perrusse, L. et al. (2009). The human gene map for performance and health-related fitness phenotypes: the 2006-2007 update. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(1), 35-73 [in English].
7. Pate, R.R., & Pratt, M., & Blair, S.N. et al. (1995). Physical activity and public health: recommendation from the Centers for Disease Control and Prevention and the American College of Sports Medicine. *JAMA*, 273(5), 402-407 [in English].
8. Montgomery, H., & Marshall, R. (1998). Human gene for physical performance. *Nature*, 393 (6682), 221–222 [in English].
9. Akhmetov Y.Y. (2009). *Molekuliarnaia henetyka sporta*. [Molecular genetics of sports]. Moskva: Sovetskyi sport [in Russian].
10. Yushkovska, O.H., & Stoianov, V.K. (2009). Sportyvna henetyka – perspektyvnyi napriamok rozvytku sportyvnoi medytsyny [Sports genetics is a promising direction in the development of sports medicine]. *Odeskyi medychnyi zhurnal*, 5 (115), 73-78 [in Ukrainian].
11. Jang, M.S., & Jung, A.L., & Park, J. E. et al. (2005). Binding and regulation of hypoxia-inducible factor -1 by the inhibitory PAS proteins. *Biochemical and biophysical research communications*, 337, 209–215 [in English].
12. Denha, O.V., & Osadcha, A.O. (2022). Vyvchennia asotsiatsii polimorfizmu heniv, poviazanykh zi sportyvnoiu uspishnistiu ta ryzykom rozvytku profesiinykh zakhvoriuvan u yunych sportmeniv-futbolistiv [Study of the association of gene polymorphisms associated with sports performance and the risk of developing occupational diseases in young football athletes]. *Visnyk Vinnytskoho Natsionalnoho Medychnoho Universytetu*, 26 (2), 179–183 [in Ukrainian].
13. Ahmetov, I.I., & Fedotovskaya, O.N. (2012). Sport genomics: current state of knowledge and future directions. *Cellular and Molecular Exercise Physiology*, 1–24 [in English].
14. Drozdovska, S.B., Lysenko, O.M., Dosenko, V.Ie., Ilin, V.M., Moibenko, O.O. (2013). T-786→S polimorfizm promotora gena endotelialnoi NO-syntazy (eNOS) ta fizychna pratsezdattist u sporti [T-786→C polymorphism of the endothelial NO-synthase (eNOS) gene promoter and physical performance in sports]. *Fiziolohichniy zhurnal*, 6, 63-71 [in Ukrainian].