

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ФІЗИЧНОГО ВИХОВАННЯ І СПОРТУ УКРАЇНИ
КАФЕДРА МЕДИКО БІОЛОГІЧНИХ ДИСЦИПЛІН

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра
за спеціальністю 091 Біологія,
освітньою програмою «Спортивна дієтологія»

на тему: **«Рівень вітаміну D у спортсменів-баскетболістів»**

здобувача вищої освіти
другого (магістерського) рівня
Крейдіної Анни Вікторівни
Науковий керівник: Дзюбенко Н. В.,
кандидат біологічних наук
Рецензент: Белінська І. В., доктор
біологічних наук, ст. н. к.
Рекомендовано до захисту на засіданні
кафедри (протокол № _ від __. __.20__ р.)
Завідувач кафедри: Пастухова В. А.,
професор, доктор медичних наук

(підпис)

Київ – 2021

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ	3
ВСТУП	4
РОЗДІЛ I. БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА РОЛЬ ВІТАМІНУ D	7
1.1. Синтез і метаболізм вітаміну D	8
1.2. Механізм дії вітаміну D	10
Висновки до розділу I	11
РОЗДІЛ II. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	12
2.1. Літературний пошук	12
2.2. Теоретичний аналіз і узагальнення науково-методичної та наукової літератури	12
РОЗДІЛ III. ЗНАЧЕННЯ РІВНЮ ВІТАМІНУ D ДЛЯ СПОРТСМЕНІВ	13
3.1. Оцінка статусу вітаміну D. Визначення 25-гідроксивітаміну D	17
3.2. Рівні та класифікація рівнів вітаміну D	18
Висновки до розділу III	19
РОЗДІЛ IV. РОЛЬ ВІТАМІНУ D ТА ЙОГО ВПЛИВ НА СТАН СПОРТСМЕНІВ-БАСКЕТБОЛІСТІВ	21
4.1. Вплив вітаміну D на гомеостаз кальцію та баланс кісток	22
4.2. Роль вітаміну D у скелетних м'язах	24
4.3. Вплив вітаміну D на функцію легень	29
4.4. Вітамін D і серцево-судинна функція	30
4.5. Дія вітаміну D на імунну систему	32
4.6. Вплив вітаміну D на нервову систему	33
Висновки до розділу VI	34
РОЗДІЛ V. ХАРЧОВІ ДОБАВКИ ВІТАМІНУ D У РАЦІОНІ СПОРТСМЕНІВ	35
5.1. Добавка з відповідною дозою вітаміну D	37
Висновки до розділу V	41
ВИСНОВКИ	42
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	43

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

НФЛ – національна футбольна ліга;

25(OH)D, 25-OHVITD – 25-гідроксивітамін D;

UVB – ультрафіолетове В випромінювання;

CYP27B1 - Цитохром P450 сімейства 27 підродини В, член 1;

VPD – зв'язувальний білок вітаміну D;

VDR – рецептор вітаміну D;

1,25 (OH)₂ VITD – 1,25 дигідроксивітамін D;

ІФА – імуноферментний аналіз;

анти-25-OHD – антитіло проти 25-гідроксивітаміну D;

RANKL – активатор рецептора ядерного фактора K-ліганду;

ПТГ – паратиреоїдний гормон;

МЩК – мінеральна щільність кісткової тканини;

IGF-1 – інсуліноподібний фактор росту 1;

АТФ – аденозинтрифосфат;

TNF- α – фактор некрозу пухлин альфа;

ХОЛЗ – хронічно обструктивна хвороба легень;

VO₂max – максимальне споживання кисню;

ЕКГ – електрокардіографія;

ССС – серцево-судинна система;

VITD – вітамін D;

МО - міжнародна одиниця.

ВСТУП

Актуальність. Харчування є важливим фактором для спортсменів для оптимізації їхньої фізичної працездатності під час тренувань і змагань, а також для відновлення гомеостазу в організмі. Тому для задоволення їх харчових потреб необхідні різноманітні харчові продукти та добавки (Bytomski, 2018; Stachowicz, 2016). Повноцінне харчування забезпечує енергію та побудову організму, а також біоеlementи та вітаміни, що впливають на обмінні процеси та виконують регуляторні функції (Stachowicz, 2016). Однак, незважаючи на адекватне споживання їжі та добавок, у спортсменів все ще може виникнути дефіцит деяких поживних речовин, що може негативно вплинути на їхню фізичну працездатність та ризик травм (Rawson, 2018).

Вітамін D є нутрієнтом, який останнім часом привертає все більшу увагу в спортивному харчуванні. Він синтезується в шкірі і виробляється в організмі після впливу сонячного світла протягом 15-20 хв. Він також може засвоюватися через споживання продуктів, багатих білком, таких як яєчний жовток, риба та молочні продукти (de la Puente Yagüe, 2020). Раніше було продемонстровано, що вітамін D є важливою поживною речовиною в гомеостазі кальцію (Farrokhyar, 2015). Однак останні дослідження продемонстрували, що вітамін D може сприяти сигнальній реакції генів, синтезу білка, синтезу гормонів, імунних реакцій, а також обміну та регенерації клітин (Owens, 2018).

За даними деяких досліджень, велика частка спортсменів має дефіцит вітаміну D (Rebolledo, 2018). Такий дефіцит може вплинути на силу або витривалість (Carswell, 2018; Geiker, 2017) і підвищити ризик травм (Angeline, 2013; Teixeira, 2019). Карсвел та ін. (Carswell, 2018) повідомили, що рівень вітаміну D позитивно корелює з витривалістю і що нижчі рівні вітаміну D можуть погіршити витривалість. Гейкер та ін. (Geiker, 2017) продемонстрували, що сила м'язів була значно вищою у чоловіків-плавців із достатнім вмістом вітаміну D у сироватці крові. Бауер та ін. (Bauer, 2019)

повідомили, що дефіцит вітаміну D у гандболістів може підвищити ризик травм опорно-рухового апарату та інфекцій. Реболедо та ін. (Rebolledo, 2018) стверджують, що гравці Національної футбольної ліги зазвичай мають недостатній рівень вітаміну D і що гравці з історією розтягнення м'язів нижніх кінцівок і травм м'язів частіше мають недостатність вітаміну D. Тому кілька досліджень показали необхідність оцінки та доповнення вітаміну D у спортсменів. Зебровська та ін. (Żebrowska, 2019) зазначають, що добавки вітаміну D можуть мати позитивний вплив на рівень 25(OH)D у сироватці крові у спортсменів, які проходили тренування на витривалість. Абрамс та ін. (Abrams, 2018) повідомили, що добавки вітаміну D можуть підвищити силу у спортсменів з недостатністю вітаміну D і що підвищення рівня вітаміну D було пов'язано з нижчим рівнем травм і покращенням фізичної працездатності в спорті. Крім того, Ларсон-Мейєр (Larson-Meyer, 2013) припустив, що, оскільки низькі рівні вітаміну D можуть вплинути на загальне здоров'я та ефективність тренувань спортсменів, рівень вітаміну D у сироватці крові необхідно регулярно оцінювати, щоб забезпечити підтримання належного рівня сироваткового рівня 25(OH)D.

Разом з тим, недостатність вітаміну D є надзвичайно поширеною та вражає до 1 мільярда людей у всьому світі та до 77% населення США.^{1,12} Деякі демографічні фактори пов'язують із недостатністю вітаміну D, зокрема темну пігментацію шкіри, жіночу стать, збільшення віку, синдроми мальабсорбції, зимовий сезон, заняття спортом у приміщенні та використання сонцезахисного крему. Фішман та інші 4 нещодавно досліджували епідемію недостатності вітаміну D серед професійних баскетболістів. Ці автори виявили, що гіповітаміноз D був присутній у 79,3% учасників комбінату, а 32,3% мали дефіцит (Fishman, 2016).

Клінічне значення гіповітамінозу D у професійних баскетболістів невідоме і потребує дослідження. Можливо, низький рівень вітаміну D може бути пов'язаний із підвищеним ризиком травм опорно-рухового апарату та

стресових переломів. Недостатній рівень вітаміну D також може вплинути на спортивні результати на нервово-м'язовому рівні.

Мета – проаналізувати вплив вітаміну D на фізіологічні показники спортсменів, зокрема баскетболістів та розробити рекомендації корекції D-дефіцитних станів.

Задачі:

1. Описати основні біологічні ефекти вітаміну D;
2. Встановити вплив вітаміну D на тренувальну здатність спортсменів;
3. Проаналізувати можливі механізми корекції D-дефіцитних станів;

Об'єкт – рівень вітаміну D у спортсменів.

Предмет – вплив вітаміну D на тренувальну здатність спортсменів

Методи дослідження:

- літературний пошук;
- теоретичний аналіз і узагальнення науково-методичної та наукової літератури.

Наукова новизна. Вперше на підставі теоретичного аналізу літератури й узагальнення даних спортивної практики було проаналізовано вплив вітаміну D на функціональні показники спортсменів та надано рекомендації стосовно корекції станів, пов'язаних з дефіцитом даного вітаміну.

Практична значимість роботи полягає в обґрунтуванні необхідності обережного підходу корекції D-дефіцитних станів.

Розроблені у роботі рекомендації дозволять уникнути негативних наслідків для організму та досягти відповідних спортивних результатів.

РОЗДІЛ І.

БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА РОЛЬ ВІТАМІНУ D

За останнє десятиліття інтерес до досліджень, пов'язаних з вітаміном D, зростав у геометричній прогресії, частково через збільшення поширеності його дефіциту серед населення та зв'язку між дефіцитом вітаміном D та широким спектром захворювань (Todd, 2015; Zhang, 2010; Holick, 2012). Важливість і універсальність вітаміну D в організмі стає все більш очевидною. Вітамін D відіграє активну роль у імунній функції, синтезі білка, функції м'язів, функції серцево-судинної системи, запальній відповіді, зростанні клітин та скелетно-м'язовій регуляції (Owens, 2018; Cashman, 2016).

Що стосується вітаміну D та його ролі в організмі спортсменів, зараз ведуться дослідження щодо його впливу на баланс кісток, опір м'язів та спортивні результати (Halliday, 2011; Larson-Meyer, 2010).

Апріорі може здатися, що спортсмени мають достатній рівень вітаміну D. Однак останні дослідження показують, що це припущення помилкове. За останнє десятиліття наукове співтовариство провело дослідження рівнів вітаміну D у різних груп спортсменів, включаючи бігунів, баскетболістів, жокеїв, гімнастів і навіть танцюристів, показавши, що ці рівні у спортсменів можна порівняти з рівнем населення в цілому. Однак останні публікації показують, що ці рівні значно залежатимуть від географічного положення та від виду спорту, чи є він у приміщенні чи на відкритому повітрі тощо. Особливий інтерес становить вплив дефіциту вітаміну D на захворюваність спортсменів (Hosseini-nezhad, 2013; Larson-Meyer, 2015). Дефіцит цього вітаміну, як правило, широко поширений серед спортсменів зі збільшенням захворюваності, пов'язаної з ним, і появою остеомалачії та остеопорозу (Koundourakis, 2016; Vikle, 2014). Враховуючи високу поширеність його дефіциту та його негативний потенціал на захворюваність, можливе визначення рівнів вітаміну D у спортсменів вважається частиною рутинного скринінгу (Koundourakis, 2014).

Щодо добавок вітаміном D у раціон спортсменів з дефіцитом даної речовини, кілька досліджень показали, що це збільшує м'язову силу. Вищий рівень вітаміну D у сироватці крові пов'язаний зі зниженням частоти травм і кращими спортивними результатами. Важливо правильно ідентифікувати людей з дефіцитом вітаміну D, яким необхідні добавки, щоб допомогти оптимізувати їхню продуктивність і запобігти майбутнім травмам (Koundourakis, 2014).

Нарешті, здається, що існує парадоксальний зв'язок між етнічною приналежністю та концентрацією вітаміну D. Наприклад, білошкірі особини зазвичай мають нижчий рівень вітаміну D, але вищу мінеральну щільність кісток і знижений ризик переломів (Bikle, 2014).

1.1 Синтез і метаболізм вітаміну D

З одного боку, вітамін D є мікроелементом, оскільки його дефіцит можна вилікувати добавками, а також він є прогормоном, оскільки його попередники перетворюються в активні метаболіти. Він випускається у двох біологічно неактивних формах: холекальциферол (вітамін D3) та ергокальциферол (вітамін D2) (Last, 2001).

Вітамін D в основному синтезується в шкірі. Холекальциферол, або вітамін D3, є основним джерелом ендогенного вітаміну D і утворюється внаслідок взаємодії ультрафіолетового B (UVB) випромінювання після перебування на сонці з 7-дегідрохолестерину, який зберігається всередині плазматичної мембрани кожної клітини шкіри. Ергокальциферол, або вітамін D2, становить невеликий відсоток і надходить екзогенно з їжею (Norman, 2008). Вітамін D важко отримати за допомогою дієти, оскільки дуже мало харчових продуктів містить вітамін природно, за винятком, серед іншого, печінка жирної риби, гриби та яйця. Доповнення або збагачення вітамінами D2 і D3, такими як молоко та інші молочні продукти, злаки тощо, в даний час передбачає екзогенне забезпечення (Plum, 2009).

Вітамін D, отриманий під час перебування на сонці, їжі або добавок, є біологічно інертним і повинен пройти два гідроксилювання в організмі, щоб стати активним, перше здійснювалося в печінці за допомогою ферменту CYP2R1, де він перетворюється на 25-гідроксिवітамін D3 (кальцидіол). Другий виконується в нирках та інших тканинах під дією ферменту CYP27B1 з утворенням 1,25-дигідроксिवітаміну D3 (кальцитріолу), який є біологічно активною формою. Активний метаболіт вітаміну D транспортується по кровотоку за допомогою зв'язувального білка вітаміну D (DBP), досягаючи численних скелетних та позаскелетних органів-мішеней. Фактично, фермент CYP27B1 присутній у багатьох клітинах-мішенях організму, щоб забезпечити локальний синтез кальцитріолу. Крім того, рецептори вітаміну D (VDR) присутні в більшості тканинах (Verstuyf, 2010; Lips, 2006; Holick, 2006). Метаболізм вітаміну D та його функції в різних системах людського організму показано на рис. 1.

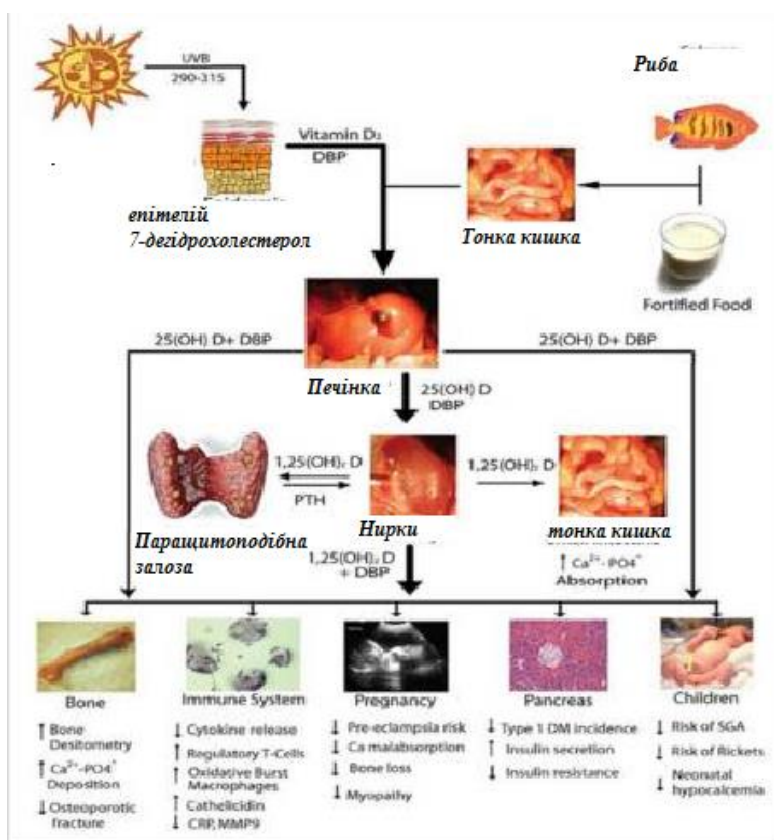


Рис. 1. Метаболізм вітаміну D та його дія в організмі.

1.2 Механізм дії вітаміну D

Функції вітаміну D реалізуються в організмі двома шляхами через ендокринні та аутокринні механізми (Wang, 2012; Holick, 2010; Christakos, 2010). Ендокринний механізм є найбільш вивченим і діє за рахунок збільшення всмоктування кальцію в кишечнику та остеокластичної активності. Вітамін D необхідний для росту, щільності та ремоделювання кісток (Morris, 2010; Forrest, 2011). Коли рівень вітаміну D знижується нижче норми, паратиреоїдний гормон збільшує резорбцію кісток, щоб задовольнити потреби організму в кальцію. Це означає, що низькі рівні вітаміну D призводять до збільшення обміну кісток з додатковим ризиком травм кісток, таких як стресові переломи, які дуже поширені у спортсменів.

Другий механізм дії вітаміну D включає аутокринний шлях. Незважаючи на те, що цей шлях не дуже відомий, він є важливим, оскільки містить багато ключових метаболічних процесів організму, таких як сигнальні процеси, експресія та генетична реакція, синтез білка гормонів, імунна/запальна відповідь, оборот і синтез клітин. Без вітаміну D здатність ефективно реагувати на фізіологічні та патологічні симптоми була б повністю змінена. Цей вітамін працює як модулятор до 2000 генів, які беруть участь у рості клітин, імунній функції та синтезі білка (Morris, 2010; Forrest, 2011).

Аутокринний шлях є найважливішим щодо дії вітаміну D на функцію скелетних м'язів. Мішені для рецептора вітаміну D були визначені майже в кожній тканині тіла. Вони регулюють експресію в сотнях генів, які виконують основні функції організму. Відкриття даних рецепторів у м'язах свідчить про важливість ролі вітаміну D у м'язовій тканині (Morris, 2010; Forrest, 2011).

В даний час існує теорія про те, що для оптимізації функції геноміки необхідна достатня концентрація вітаміну D у крові. Ця роль як генетичного модулятора пояснює, як вітамін D може впливати на різноманітні

фізіологічні функції, такі як здоров'я кісток, функція м'язів, запалення та імунітет, що важливо для здоров'я, тренувань і продуктивності.

У статті, опублікованій Оуенсом та співавторами у 2016 році (Owens, 2018), є чудове схематичне зображення, на якому можна спостерігати вищесказане.

Висновки до розділу I

Вітамін D підтримує гомеостаз кальцію та фосфату в організмі. Зараз підраховано, що 1 мільярд людей у всьому світі страждають від дефіциту вітаміну D. Ця проблема особливо важлива для спортсменів різного віку, оскільки вітамін D відіграє важливу роль у здоров'ї кісток, функції імунітету та фізичній працездатності. У дефіцитному стані у спортсмена може бути підвищений ризик потенційних проблем, таких як стресові переломи, респіраторні інфекції та травми м'язів.

РОЗДІЛ II.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для вирішення поставлених завдань були використані наступні методи дослідження:

1. Літературний пошук;
2. Теоретичний аналіз і узагальнення науково-методичної та наукової літератури.

2.1. Літературний пошук

Літературний пошук здійснювався з метою віднайти джерела інформації, необхідних для розробки наукової теми.

2.2. Теоретичний аналіз і узагальнення науково-методичної та наукової літератури

Теоретичний аналіз та узагальнення науково-методичної та наукової літератури проводиться з метою вивчення стану дослідницької проблеми, визначення її актуальності, а також постановки цілей та завдань дослідження. Проаналізовано 105 іноземних джерел у наукових виданнях. Більшість джерел за останні 10 років. Серед них є статті з бази даних Scopus та W&S.

РОЗДІЛ III.

ЗНАЧЕННЯ РІВНЮ ВІТАМІНУ D ДЛЯ СПОРТСМЕНІВ

За підрахунками, більше 1 мільярду людей у світі мають дефіцит вітаміну D, прогресуюче зростання його поширеності в усьому світі також викликає занепокоєння (Ovesen, 2003; Ginde, 2009; Manson, 2016). Більшість статей свідчать про те, що дефіцит вітаміну D широко поширений у всьому світі та має рівень поширеності, який відповідає критеріям пандемії (визначення пандемії: «епідемія, що виникає в усьому світі або на дуже широкій території, перетинає міжнародні кордони та зазвичай вражає велику кількість людей») (Angeline, 2013). Однак інші автори поставили під сумнів це речення (Holick, 2017). Дефіцит вітаміну D часто зустрічається серед американського населення, настільки, що від 36% до 57% дорослих мають дефіцит (Farrokhyar, 2015; Holick, 2017). Цей дефіцит також поширений в Європі, переважно в країнах північноєвропейських широт ($>35^{\circ}$ пн.ш.), таких як Великобританія, Ірландія, Данія, Франція, Німеччина тощо (Farrokhyar, 2015; Holick, 2017). Подібна поширеність була виявлена навіть у регіонах, де є більше сонячного опромінення, таких як Австралія, США та Саудівська Аравія. У Канаді 30–50% дітей і дорослих мають дефіцит вітаміну D. Подібні дані були знайдені в інших країнах, Африка, Нова Зеландія, Бразилія тощо, що свідчить про високий ризик дефіциту вітаміну D як у дорослих, так і у дітей (Angeline, 2013; Farrokhyar, 2015; Holick, 2017).

Основними факторами дефіциту вітаміну D є культурні та екологічні впливи. Основною причиною пандемії дефіциту вітаміну D є недостатня поінформованість населення про те, що перебування на сонці є основним джерелом вітаміну D. Що стосується харчових джерел вітаміну D, його важко отримати за допомогою дієти, оскільки дуже мало продуктів природного походження містять вітамін, винятком є печінка жирної риби, такої як лосось, сардини, оселедець і червоне м'ясо. Насправді джерело дієти включає збагачені продукти, такі як молоко, жирні спреди та каші. Через

вирішальну роль, яку відіграє вплив сонячного світла і, зокрема, ультрафіолетового випромінювання в синтезі вітаміну D, будь-який фактор, який змінює цей механізм, сприятиме дефіциту вітаміну, наприклад, зменшення випромінювання UVB, що досягає поверхні землі, використання сонцезахисних кремів, меланіну, який зменшує ефективність сонця у виробленні вітаміну D, забруднюючих атмосферні частинки, широту, погоду, спосіб життя тощо. Крім того, численні ендогенні фактори можуть змінити вироблення вітаміну D і спричинити його дефіцит, наприклад, його змінений метаболізм, порушення всмоктування або недостатнє споживання з дієтою (Angeline, 2013; Farrokhyar, 2015; Holick, 2017).

Сучасні стратегії в галузі охорони здоров'я включають дієтичні добавки з вітаміном D та навчання дітей раннього віку та підлітків. Такі ініціативи мають важливий вплив на зниження поширеності проблем розвитку, таких як рахіт та затримка росту. Інші стратегії підтримують відсутність необхідності перевіряти всіх на статус вітаміну D. Більш рентабельним є збільшення збагачення їжі за допомогою даної речовини (Holick, 2017). Однак симптоми дефіциту вітаміну D у дорослих, остеопороз, остеомаліяція та імунна недостатність у більшості випадків ігноруються. Пацієнти з дефіцитом вітаміну D мають м'язово-скелетні болі, які часто помилково діагностують як фіброміалгію, синдром хронічної втоми та міозит, серед іншого (Morton, 2012; Close, 2013; Rankinen, 1998; Farrokhyar, 2017).

Що стосується спортсменів, то дефіцит вітаміну D у світовій спортивній популяції також має ті самі моделі (Mehran, 2016; Maroon, 2015; Dubnov-Raz, 2014; Carter, 2009). Коли аналізуються рівні вітаміну D у професійних спортсменів, ми помічаємо, що всі вони страждають подібним чином. Різні дослідження показують такі результати: серед баскетбольних професіоналів у 32% спортсменів виявлено дефіцит, а у 47% – недостатність вітаміну D. Серед гравців Національної американської футбольної ліги 26% мали дефіцит вітаміну D і від 42% до 80% виявили рівень недостатності. З

професійних футболістів Ліверпуля 36% виявили дефіцит або недостатність (Mehran, 2016; Maroon, 2015; Dubnov-Raz, 2014; Carter, 2009).

Недоліки чи недостатність виявлені у більшості танцюристів, плавців, волейболістів, тхеквондистів, жокеїв, бігунів, важкоатлетів тощо (Morton, 2012; Close, 2013; Rankinen, 1998; Farrokhyar, 2017).

Крім того, численні дослідження показали, що спортсмени з темною шкірою мають більший ризик страждати від вторинних змін через дефіцит вітаміну D. Ряд досліджень показав, що спортсмени з високою концентрацією меланіну в шкірі потребують до 10 разів більш тривалого впливу ультрафіолетового (UVB) випромінювання, щоб створити такі ж резерви вітаміну D, що і спортсмени зі світлою шкірою. Дослідження Mehran et al. на професійних хокеїстах, у яких дефіцит вітаміну D становив 0%, а недостатність виявилася лише у 13%. Таку низьку частоту автори пов'язували з расою, оскільки 96,2% гравців були європеоїдними (Mehran, 2016; Maroon, 2015; Dubnov-Raz, 2014; Carter, 2009).

По відношенню до ступеня сонячного опромінення та атлетизму, відстані до екватора, сезон і погода будуть диктувати джерело сонячного вітаміну D. Очевидно, що на виробництво вітаміну D із сонячного джерела впливатимуть години сонячного світла, забруднення, захист від сонця, пігмент шкіри, вік тощо.

Нормальний діапазон вітаміну D у сироватці крові становить 30–50 нг/мл (75–125 нмоль/л) або 40–60 нг/мл (100–150 нмоль/л). Крім того, рівні 20–30 нг/мл (50–75 нмоль/л) і < 20 нг/мл (< 50 нмоль/л) називаються недостатністю та дефіцитом вітаміну D відповідно. Як правило, рівень вітаміну D визначається шляхом вимірювання концентрації 25(OH)D в сироватці крові; 30 нг/мл є граничним значенням для розрізнення достатності та недостатності вітаміну D (Constantini, 2010). Кілька досліджень оцінювали рівень вітаміну D у різних типів спортсменів і повідомляли, що велика частка спортсменів має недостатність або дефіцит вітаміну D. Безуглов та ін. (Bezuglov, 2019) повідомили, що 42,8% із 131 молодого футболіста-чоловіка

мали низький рівень вітаміну D у сироватці крові (< 30 нг/мл). Гамільтон та ін. (Hamilton, 2014) продемонстрували, що 84% з 3422 професійних футболістів у Катарі мали рівень вітаміну D у сироватці крові < 30 нг/мл і що 12% гравців мали серйозний дефіцит вітаміну D (< 10 нг/мл). Grieshaber та ін. (Grieshaber, 2018) повідомили, що гіповітаміноз D є поширеним серед гравців Національної баскетбольної асоціації і що 32,3% і 41,2% професійних баскетболістів мали дефіцит вітаміну D (< 20 нг/мл) і недостатність (20–30 нг/мл) відповідно. Крім того, у великому когортному дослідженні спортсменів коледжів Національної університетської атлетичної асоціації Дивізіону 1 Вілласіс та ін. (Villacis, 2014) повідомили, що більше однієї третини гравців мали аномальний рівень вітаміну D. Потенційними причинами такого низького рівня вітаміну D у спортсменів є раса, зниження синтезу вітаміну D шкірою під впливом сонячного світла та недостатнє споживання вітаміну D з їжею (Williams, 2020).

Інші дослідження також показали, що взимку у спортсменів рівень вітаміну D нижчий, ніж в інші сезони. Галан та ін. (Galan, 2012) заявили, що у футболістів не вистачало вітаміну D у середині лютого і що дві третини гравців мали недостатність вітаміну D на початку лютого. Тодд та ін. (Todd, 2015) повідомили, що у спортсменів, як правило, низький рівень вітаміну D і рівень вітаміну D у сироватці крові < 50 нмоль/л у них частіше зустрічався, особливо взимку. Крім того, Morton et al. (Morton, 2012) продемонстрували, що рівень вітаміну D у сироватці крові у футболістів Прем'єр-ліги знизився в період із серпня по грудень. Зокрема, недостатність вітаміну D (< 50 нмоль/л) спостерігалася у 65% від загальної кількості спортсменів, обстежених взимку. Віталій та ін. (Vitale, 2018) повідомили, що рівень вітаміну D у сироватці крові був найвищим влітку у італійських спортсменів з гірських лиж. Крім того, Янг (Yang, 2018) продемонстрували, що 80% молодих спортсменів у Кореї мали недостатність вітаміну D і що рівень вітаміну D був низьким, особливо взимку.

Ян і Лі (Yang, 2018) також повідомили, що у спортсменів, що займаються в приміщенні, рівень вітаміну D нижчий, ніж у спортсменів на відкритому повітрі. Цей висновок також узгоджується з висновками Farrokhyar et al. та Valtueña et al. (Valtueña, 2014). У систематичному огляді та мета-аналізі рівня вітаміну D у спортсменів Фаррохяр та ін. (Farrokhyar, 2015) помітили, що на рівень вітаміну D також впливав регіон, де тренувалися спортсмени, і що ризик нестачі вітаміну D був значно підвищений у спортсменів, які займалися спортом у приміщенні. Аналогічно, Valtueña et al. (Valtueña, 2014) продемонстрували, що у елітних спортсменів в Іспанії рівень вітаміну D був вищим у тих, хто тренується на відкритому повітрі, ніж у тих, хто тренується в приміщенні. Найімовірнішою причиною низького рівня вітаміну D взимку або спортсменів у приміщенні є недостатній синтез вітаміну D через брак сонячного світла.

3.1. Оцінка статусу вітаміну D. Визначення 25-гідрокси вітаміну D

Статус рівнів недостатності або дефіциту вітаміну D можна визначити за допомогою індикатора для визначення рівня загального 25-гідрокси вітаміну D в крові (25-OHVID). В даний час цей показник вважається найбільш кваліфікованим, щоб показати запас вітаміну D в організмі (Heureux, 2017; Vikle, 2017; Chun, 2014).

Вимірювання рівня 25-OHVID в крові покаже нам вироблення шкірою вітаміну D, що одержується з їжі та добавок. Слід зазначити, що середня тривалість життя плазми становить приблизно 15–20 днів і визнається біомаркером опромінення. Однак є суперечливими питаннями, чи можна вважати рівень 25-OHVID у крові біомаркером ефекту (наприклад, зв'язок зі станом здоров'я тощо), оскільки сироваткові рівні 25-OHVID не вказують на кількість вітаміну D, що зберігається в тканинах організму (Nielson, 2014; Johnsen, 2016).

На відміну від 25-OHVID, визначення 1,25 дигідрокси вітаміну D (1,25 (OH)₂ VID), як правило, не є хорошим показником рівнів VID, оскільки він має дуже короткий середній термін життя (близько 15 годин), а його концентрації в сироватці ретельно регулюються за допомогою паратгормону кальцію і фосфату. Насправді рівні 1,25 (OH)₂ VID істотно не знижуються, поки не виникає серйозний дефіцит вітаміну D.

Останні дослідження спрямовані на те, щоб виміряти незв'язану фракцію 25-OHVID, точніше, фракцію вітаміну D, яка не зв'язана з білками плазми і проявляє біологічну активність. Незв'язана форма може проходити через клітинну мембрану і, отже, виконувати свою функцію (Heureux, 2017; Gallagher, 2010).

Після кількох років досліджень у 2017 році було розроблено новий метод, який дозволяє вимірювати концентрацію незв'язаного 25-OHVID. Цей метод вимірює концентрацію незв'язаної фракції на основі імуноферментного аналізу (ІФА). Розділення незв'язаної та зв'язаної форм, а також захоплення перших досягається за допомогою використання моноклонального антитіла (анти-25-OHD), порушуючи якомога менше баланс між обома формами (Gallagher, 2010). Після появи цього методу з'являються нові дослідження, хоча корисність вимірювання незв'язаного 25-OHVID ще не встановлена в звичайній клінічній практиці.

3.2. Рівні та класифікація рівнів вітаміну D

Протягом останнього десятиліття спостерігається експоненційне зростання поширеності дефіциту серед населення, і в деяких дослідженнях стверджується, що ми стикаємося з епідемією, що виникає у зв'язку з низьким рівнем 25-OHVID в крові. З вищесказаного можна чітко зробити висновок, що надзвичайно важливо адекватно визначити статус дефіциту та недостатності та оптимальний рівень вітаміну D у популяції. Визначення рівнів вітаміну D для його класифікації традиційно є дуже суперечливим. На

сьогоднішній день пропонується, щоб його встановлення було засновано на рівнях та клінічних маркерах ризику захворювання (Institute of Medicine, 2010; Holick, 2006). Деякі автори пропонують, що клінічні діапазони вітаміну D повинні ґрунтуватися на асоціації дефіциту 25-OHVID, остеомалаяції, рахіту та приблизної концентрації, при якій різко підвищується рівень паратгормону. З іншого боку, пропонується, що межею для недостатності повинна бути концентрація, при якій максимізуються плато паратгормону і поглинання кальцію (Hollis, 2005; Wacker, 2013).

Існують дослідження, які показують, що значення 25-OHVID >30 нг/мл слід вважати прийнятним для підтримки здоров'я кісток та зниження ризику переломів у здорових молодих людей та дорослих, тоді як інші припускають, що необхідні рівні слід встановити на рівні > 40 нг/мл. На більш консервативній основі Інститут медицини США стверджує, що концентрації ≥ 20 нг/мл (50 нмоль/л) повинні задовольняти потреби 97,5% населення. Інститут медицини також встановлює невідповідний рівень вітаміну D, коли рівні від 12 до 20 нг/мл (30 і 50 нмоль/л), і, нарешті, люди піддаються ризику дефіциту вітаміну D, коли їхні рівні нижче 12 нг/мл (30 нмоль/л). Концентрації в сироватці вище 125 нг/мл (>50 нг/мл) пов'язані з потенційними несприятливими ефектами, і, нарешті, рівні вище 150 нг/мл слід розглядати як токсичні. Нажаль, в даний час немає точних порогів для класифікації стану спортсменів, хоча Close et al. стверджують, що тим спортсменам із сироватковим рівнем 25-OHVID нижче 12 нг/мл слід розглядати можливість прийому добавок відповідно до рекомендацій Інституту медицини (Institute of Medicine, 2010).

Висновки до розділу III

Минуло понад 3 десятиліття відтоді, як було проведено перший аналіз циркулюючого 25-гідроксивітаміну D [25(OH)D] у людей, що призвело до визначення «нормального» харчового статусу вітаміну D, тобто достатності вітаміну D. Відбір зразків у людей, які, здається, вільні від захворювань, і

оцінка «нормальних» рівнів 25(OH)D в циркуляції на основі гауссового розподілу цих значень зараз вважається вкрай неточним методом визначення нормального діапазону. Кілька факторів сприяють неточності цього підходу, включаючи расу, звички способу життя, використання сонцезахисного крему, вік, географію та невідповідно низькі рекомендації щодо споживання вітаміну D. Нинішні рекомендації для дорослих щодо вітаміну D, 200-600 МО/день, дуже недостатньо, якщо врахувати, що 10-15-хвилинний вплив на все тіло пікового літнього сонця призведе до вироблення та вивільнення в циркуляцію до 20 000 МО вітаміну D-3. Тепер ми можемо краще визначити достатній рівень циркулюючого 25(OH)D за допомогою використання специфічних біомаркерів, які відповідно збільшуються або зменшуються зі зміною рівня 25(OH)D; вони включають інтактний паратиреоїдний гормон, всмоктування кальцію та мінеральну щільність кісток. Використовуючи ці функціональні показники, кілька досліджень точніше визначили дефіцит вітаміну D як циркулюючий рівень 25(OH)D < або = 80 нмоль або 32 мкг/л. Недавні дослідження показують, що нинішніх дієтичних рекомендацій для дорослих недостатньо для підтримки рівня 25(OH)D в крові на цьому рівні або вище, особливо під час вагітності та годування груддю.

РОЗДІЛ IV. РОЛЬ ВІТАМІНУ D ТА ЙОГО ВПЛИВ НА СТАН СПОРТСМЕНІВ- БАСКЕТБОЛІСТІВ

Кілька досліджень продемонстрували, що недостатність вітаміну D значною мірою пов'язана з фізичною працездатністю, особливо силою та силою, у футболістів. Гамільтон та ін. повідомили, що професійні футболісти з важким дефіцитом 25(OH)D мали нижчі пікові значення крутного моменту в недомінантній нозі порівняно з тими, у кого рівень вітаміну D > 30 нг/мл (Hamilton, 2014). Koundourakis та ін. (Koundourakis, 2019) продемонстрували, що низький рівень вітаміну D значною мірою корелює з фізичною працездатністю, включаючи вертикальний стрибок, стрибок проти руху та час спринту, незалежно від рівня змагань у футболістів-чоловіків. Інші дослідження оцінювали вплив рівня вітаміну D на силу і міць спортсменів, які займаються бойовими видами спорту, такими як дзюдо і тхеквондо. Ксьонжек та ін. (Książek, 2018) продемонстрували, що зниження рівня 25(OH) D у сироватці крові у польських елітних дзюдоїстів позитивно корелює з силою хвату лівої руки, силою м'язів, яку оцінювали під час вертикального стрибка, та загальною роботою розгиначів лівого та правого коліна з кутовою швидкістю 60°. Крім того, Seo et al. (Seo, 2019) повідомили, що у тхеквондо 15–18 років рівень 25(OH)D у сироватці крові позитивно корелював із середньою вихідною потужністю та відносною середньою вихідною потужністю.

Було запропоновано кілька механізмів, які пояснюють вплив вітаміну D на функцію м'язів (наприклад, силу та потужність). Повідомлялося, що активована форма вітаміну D надає біологічну дію, зв'язуючись з рецепторами вітаміну D, які знаходяться в більшості позаскелетних клітин людини, включаючи скелетні м'язи (Książek, 2018). Кількість ядерних рецепторів вітаміну D у клітинах пов'язана з функцією м'язів; отже, вітамін D потенційно може впливати на синтез м'язового білка, нервово-м'язовий контроль і м'язові волокна II типу. Зокрема, нервово-м'язовий контроль і

м'язові волокна типу II є важливими факторами, які можуть призвести до високої сили та швидкого скорочення м'язів (Talbot, 2014). Інші дослідження продемонстрували, що вітамін D може сприяти транспорту кальцію з саркоплазматичного ретикулула і збільшувати ефективність і кількість кальцій-зв'язуючих ділянок, які беруть участь у скороченні м'язів, тим самим покращуючи функцію м'язів.

Вітамін D також може впливати на витривалість. Koundourakis та ін. (Koundourakis, 2019) припустили значну позитивну кореляцію між рівнями вітаміну D і $VO_2 \max$ у футболістів. В іншому дослідженні про взаємозв'язок між вітаміном D і фізичною працездатністю у здорових спортсменів-рекреаторів в Австрії, Zeitler et al. (Zeitler, 2018) продемонстрували, що низький рівень вітаміну D у спортсменів знижував субмаксимальну фізичну працездатність, виміряну на біговому ергометрі. Крім того, Jastrzębska et al. (Jastrzębska, 2018) повідомили, що $VO_2 \max$ покращився на 20% у футболістів, у яких спостерігалось значне підвищення рівня вітаміну D у сироватці крові після прийому добавок вітаміну D протягом 8 тижнів. Однак механізм, що лежить в основі впливу вітаміну D на витривалість, наразі неясний. Одним з можливих механізмів є те, що вітамін D може підвищувати спорідненість гемоглобіну до кисню в крові.

4.1 Вплив вітаміну D на гомеостаз кальцію та баланс кісток

Традиційно вважалося, що основною функцією вітаміну D є підтримка гомеостазу кальцію та фосфору сироватки крові. Достатня кількість вітаміну D і кальцію необхідна для розвитку, росту і цілісності кісток. В даний час було показано, що вітамін D впливає на здоров'я кісток, активуючи експресію генів, які покращують всмоктування кальцію в кишечнику та ниркову реабсорбцію кальцію (у зв'язку зі збільшенням паратгормону) і обміну кісток. Вітамін D також сприяє мобілізації кальцію в кістках за допомогою остеокластогенезу, який є результатом активації кількох генів,

включаючи активатор рецептора ядерного фактора К-ліганду (RANKL) і системи RANKL (Коре́с, 2013; Bischoff-Ferrari, 2004; Maimoun, 2006; Hamilton, 2010).

З іншого боку, вітамін D тісно пов'язаний з паратиреоїдним гормоном (ПТГ). Разом ці гормони тісно регулюють концентрацію кальцію в сироватці крові. Хронічний дефіцит вітаміну D призводить до вторинного гіперпаратиреозу. Така комбінація дефіциту вітаміну D і підвищеного рівня ПТГ може викликати надмірну мобілізацію кальцію з кісток для підтримки рівня циркулюючого кальцію за рахунок мінеральної щільності кісток (Burgi, 2011; Li, 2010; Iwamoto, 2011).

Крім того, дослідження показують, що концентрація вітаміну D в крові пов'язана з мінеральною щільністю кісток (МЩК) та/або вмістом мінералів у стегнових і поперекових хребцях жінок протягом усього їхнього життя. Сучасна література показує суперечливі зв'язки між мінеральною щільністю кісток (МЩК) та рівнями вітаміну D, особливо у расових меншин і спортивних груп населення. Вважається, що стимул до навантаження, якому піддається кістково-м'язовий апарат під час високоінтенсивної динамічної спортивної діяльності, компенсує дефіцит 25-OHVD і запобігає погіршенню здоров'я кісток у спортсменів. Однак Hamilton et al. продемонстрували, що МЩК і рівень 25 [ОН] D не були статистично пов'язані в дослідженні, проведеному серед спортсменів-чоловіків з Близького Сходу, припускаючи, що генетичний поліморфізм шляху 25 [ОН] D/1,25 [ОН] D може пояснити деякі з цих відмінностей. Хоча вважається, що спортсмени повинні мати «достатню» концентрацію вітаміну D для оптимізації мінеральної щільності кісткової тканини (МЩК), точне значення для «оптимізації» здоров'я кісток досі не ясно (Коре́с, 2013; Bischoff-Ferrari, 2004; Maimoun, 2006; Hamilton, 2010).

Нарешті, вітамін D також підвищує активність інсуліноподібного фактора росту 1 (IGF-1) шляхом індукції експресії його рецепторів, що має

вирішальний вплив на формування кісток як *in vitro*, так і *in vivo* (Koundourakis, 2014).

Особливо актуальний розділ стосується дії вітаміну D при стресових переломах, які часто спостерігаються у спортсменів, які становлять від 0,7% до 20% усіх клінічних травм у спортивній медицині. Хоча вже було зазначено, що рівень вітаміну D може впливати на МЦК, є менше знань про роль вітаміну D у загоєнні переломів, і немає наукових доказів цього. Огляд показав, що вітамін D зменшує, збільшує або не впливає на фазу формування м'якої мозолі під час процесу загоєння перелому. Інші дослідження знаходять суперечливі результати щодо впливу вітаміну D на фазу мінералізації мозолі. Однак нещодавнє дослідження виявило нижчі рівні 25-OHVID у сироватці у пацієнтів із затримкою консолідації переломів, тоді як інші дослідження не виявили відмінностей між пацієнтами з діафізарними переломами та тими, у кого спостерігалось відстрочене загоєння (Koundourakis, 2014).

4.2. Роль вітаміну D у скелетних м'язах

Було показано, що вітамін D є потужним модулятором фізіології скелетних м'язів (Cannell, 2009). Вітамін D впливає на нього, активуючи експресію генів, які впливають на ріст і диференціацію м'язів, особливо в швидких волокнах (тип II). Крім того, збільшені міжфібрилярні простори та інфільтрація жиру, фіброзу та глікогену при м'язових дистрофіях показані в біоптатах м'язів осіб з дефіцитом вітаміну D. Біопсія 12 пацієнтів з дефіцитом вітаміну D до та після лікування вітаміном виявила атрофію м'язових волокон 2 типу до лікування та значне покращення після нього (Barker, 2014).

Слід зазначити, що як геномні, так і негеномні ефекти вітаміну D мають вирішальне значення для продуктивності м'язів. Фактично, вітамін D впливає на транспортування кальцію та фосфату м'язами через клітинні

мембрани, метаболізм фосфоліпідів та проліферацію та диференціацію м'язових клітин.

VDR здійснює свою дію двома шляхами:

Перший, геномний шлях (повільний або ядерний), за допомогою якого модифікуються транскрипція та трансляція цільових генів. Цей висновок свідчить про те, що вітамін D сприяє проліферації та диференціації м'язових клітин (Barker, 2014).

Другим механізмом є нетранскрипційний сигнальний шлях, пов'язаний з мембраною (швидкий, негеномний або мембранний), в якій розташований рецептор 1,25-OH₂D. Було показано, що цей механізм посилює взаємодію між міозином та актином у саркомері, роблячи силу скорочення м'язів сильнішою (Peter, 2005) (Рис. 2).

Що стосується фізичних вправ та їх впливу на спортсменів, то стверджується, що низький рівень вітаміну D може безпосередньо впливати на силу м'язів і продуктивність. Дослідження за участю молодих людей і літніх людей, які не займаються спортом, виявили, що низькі рівні вітаміну D негативно пов'язані з маркерами м'язової сили. Для спортсменів з дефіцитом вітаміну D прийом даної речовини, ймовірно, покращує певні параметри м'язової працездатності. У травмованих спортсменів недостатня кількість вітаміну D також затримує реабілітацію та відновлення після ортопедичної операції.

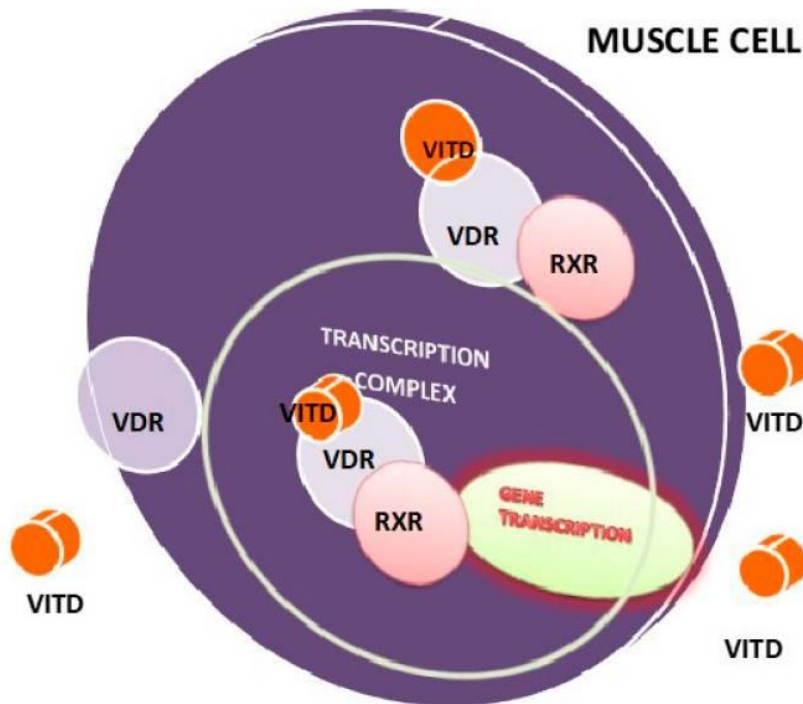


Рис. 2. Запропонована модель впливу вітаміну D на скелетні м'язи.

Було запропоновано, що циркулюючий і локально перетворений 1,25(OH)₂D₃ діє на скелетні м'язи через рецептор вітаміну D (VDR). VDR розташований як всередині ядра, що призводить до геномних дій, так і поза межами ядра, що може викликати гострі негеномні сигнальні події.

З клінічної точки зору також передбачається потенційний зв'язок між вітаміном D і функцією м'язів, оскільки міопатія була сильно пов'язана з тяжким дефіцитом даного вітаміну. Баркер та ін. виявили, що 93% пацієнтів, які мали загальні клінічні симптоми неспецифічного скелетно-м'язового болю, мали дефіцит вітаміну D.

Наведені вище дані свідчать про те, що вітамін D може покращити м'язову масу та силу. і може прискорити відновлення м'язів після стресу інтенсивних фізичних вправ (Barker, 2014).

Отже, вітамін D є корисним для людей, оскільки він підвищує синтез м'язових білків, концентрацію аденозинтрифосфату (АТФ), силу, висоту стрибка, швидкість і силу стрибків, а також здатність виконувати аеробні та анаеробні вправи. Фізична працездатність може бути значно покращена

та/або збережена за допомогою достатнього рівня вітаміну D. Вітамін D також запобігає дегенерації м'язів та усуває міалгію (Peter, 2005).

Декілька досліджень продемонстрували, що рівень вітаміну D у сироватці крові пов'язаний з ушкодженнями опорно-рухового апарату. Аммерман та ін. (Ammerman, 2021) досліджували рівень вітаміну D у сироватці крові у пацієнтів з діагнозом травми нижніх кінцівок і повідомили, що у 60,8% та 77,4% пацієнтів із надмірним вживанням та гострими травмами був низький рівень вітаміну D відповідно. Крім того, у 76,5% пацієнтів з пошкодженнями зв'язок і хрящів, у 71,0% пацієнтів з проблемами колінно-стегнової кістки, у 54,6% пацієнтів з ушкодженнями м'язів/сухожил та у 45,0% пацієнтів із пошкодженнями кісток мали низький рівень вітаміну D. Сміт та ін. (Smith, 2014) оцінили поширеність дефіциту вітаміну D у пацієнтів з низькоенергетичним переломом стопи або гомілковостопного суглоба. Вони повідомили, що у 35/75 пацієнтів рівень вітаміну D у сироватці крові був < 30 нг/мл, а у 10 пацієнтів рівень вітаміну D у сироватці крові був < 20 нг/мл, що свідчить про те, що гіповітаміноз D був поширеним у пацієнтів з травмами стопи або гомілковостопного суглоба. Крім того, рівень вітаміну D у сироватці крові був значно нижчим у пацієнтів із переломами, ніж у пацієнтів із розтягненнями гомілковостопного суглоба.

Подібні результати спостерігалися у спортсменів. Rebolledo та ін. помітили, що 50% гравців НФЛ мали розтягнення м'язів нижніх кінцівок або травми м'язів кора, що свідчить про те, що такі травми значною мірою пов'язані з низьким рівнем вітаміну D у сироватці крові. Крім того, він припустив, що недостатній рівень вітаміну D може збільшити ризик травм підколінного сухожилля. Зокрема, було продемонстровано, що дефіцит вітаміну D збільшує частоту стресових переломів серед скелетно-м'язових травм у спортсменів (Rebolledo, 2018). Knechtle та ін. повідомили, що дефіцит вітаміну D був фактором ризику стресових переломів у спортсменів (Knechtle, 2021). Шімасакі та ін. продемонстрували, що стресові переломи п'ятої плеснової кістки були у 5,1 та 2,9 рази вищими у спортсменів із рівнем

25(OH)D 10 та 20 нг/мл відповідно (Shimasaki, 2016). У недавньому дослідженні Millward et al. повідомили, що частота стресових переломів у спортсменів з низьким рівнем вітаміну D була на 12% вище, ніж у спортсменів із нормальним вмістом вітаміну D, що свідчить про те, що корекція низького рівня вітаміну D у сироватці крові у спортсменів може зменшити ризик стресових переломів (Holick, 2007).

Розглядаючи основні функції вітаміну D, можна легко зрозуміти потенційний механізм низького рівня вітаміну D у сироватці крові, що призводить до збільшення частоти стресових переломів у спортсменів. Вітамін D важливий для кісток, оскільки сприяє їх мінералізації та регуляції кальцію. Низький рівень вітаміну D у сироватці крові спричиняє значне зниження всмоктування кальцію з кишечника, що підвищує рівень паратиреоїдного гормону і, як наслідок, призводить до активації остеокластів, які руйнують колагеновий матрикс кісток. Тому для підтримки і відновлення нормального рівня вітаміну D і запобігання стресових переломів у спортсменів важливі різні профілактичні заходи. Сікора–Клак та ін. рекомендував добавки вітаміну D для лікування спортсменів із недостатністю та дефіцитом вітаміну D. У недавньому дослідженні Williams et al. продемонстрували, що добавки з вітаміном D значно знижують частоту стресових переломів з 7,51% до 1,65% у спортсменів з недостатністю або дефіцитом вітаміну D (Williams, 2020). Хоча необхідні додаткові дослідження, щоб краще зрозуміти вплив добавок вітаміну D, ці дослідження показують, що добавки вітаміну D можуть бути ефективними для зменшення стресових переломів.

Інші дослідження повідомили, що вітамін D також може мати значний вплив на гострі м'язові ушкодження, спричинені високоінтенсивними вправами. Баркер та ін. повідомили, що високий рівень 25(OH)D в сироватці перед тренуванням був пов'язаний зі швидким відновленням м'язової сили після травми м'язів від високоінтенсивних вправ (Barker, 2013). Крім того, Pilch et al. нещодавно припустили, що добавки вітаміну D можуть значно

зменшити травми м'язів, спричинені високоінтенсивними ексцентричними вправами (Pilch, 2020). Однак дослідження Barker et al. та Pilch et al. не проводилися у спортсменів. Подібні результати спостерігалися і в інших спортсменів. Żebrowsk et al. продемонстрували, що 3 тижні прийому вітаміну D значно підвищили рівень 25(OH)D у сироватці крові у спортсменів, які беруть участь в ультрамарафонах. Згодом це знижувало сироваткові рівні тропоніну, міоглобіну, креатинкінази та фактора некрозу пухлин (TNF)- α , а підвищення рівня 25(OH)D у сироватці крові після прийому їжі негативно корелювало з рівнями міоглобіну та TNF- α в сироватці крові (Żebrowska, 2020).

Такі ефекти вітаміну D можуть бути опосередковані його протизапальною та антиоксидантною активністю. Вілліс та ін. оцінили взаємозв'язок між рівнями вітаміну D та прозапальними та протизапальними цитокінами у спортсменів, які займаються витривалістю; вони повідомили, що низький рівень вітаміну D у сироватці крові пов'язаний із підвищенням концентрації TNF- α . У недавньому дослідженні Ferrari et al. продемонстрували, що високий рівень вітаміну D був пов'язаний з низьким вмістом реактивних форм кисню у футболістів італійської професійної ліги.

4.3. Вплив вітаміну D на функцію легень

Недостатність вітаміну D асоціюється з порушенням функції легенів, астмою та хронічною обструктивною хворобою легень (ХОЗЛ). З іншого боку, дефіцит вітаміну D призводив до дефіциту об'єму легенів і корелював із численними показниками порушення функції легенів та підвищенням реактивності дихальних шляхів. Така дія вітаміну D сприяє цілісності альвеолярної структури, податливості легенів, життєвій ємності та обміну киснем.

У спортсменів результативність вправ та аеробна здатність (VO_{2max}) залежать від усіх перерахованих вище функцій легенів. Адекватні рівні

VO_2max необхідні для всіх видів спорту. Однак результати, знайдені для різних авторів серед спортивної популяції щодо дефіциту вітаміну D і спортсменів, є непереконливими (Ksiazek, 2016).

4.4. Вітамін D і серцево-судинна функція

По-перше, ми повинні мати на увазі, що регулярна практика інтенсивних фізичних вправ пов'язана з кількома структурними та електрофізіологічними адаптаціями серця, які покращують діастолічне наповнення та сприяють стійкому збільшенню серцевого викиду, що є важливим для спортивних результатів. Переважна більшість спортсменів демонструють відносно незначні структурні та електричні зміни, які розглядаються в рамках загальноприйнятого визначення меж норми. Такі кардіологічні адаптації відомі під загальною назвою «Серце спортсмена» і часто відображаються в дослідженнях ЕКГ та візуалізації.

На адаптацію серця спортсменів впливають численні фактори, включаючи спортивні способи, тривалість та інтенсивність тренувань, вік, етнічну приналежність, стать, антропометрію та зловживання психоактивними речовинами для підвищення продуктивності.

У невеликої частини спортсменів розвиваються виражені зміни, які перетинаються з фенотиповими проявами серцевих захворювань, пов'язаних із раптовою серцевою смертю, пов'язаною з фізичними навантаженнями (ССС). У цих обставинах відрізнити фізіологічну адаптацію та серцеву патологію складно, але неправильний діагноз може мати серйозні наслідки. Нові дослідження показують, що етнічна приналежність є основною детермінантою серцево-судинної адаптації до фізичних навантажень, що завжди слід враховувати під час оцінки спортсмена. Як відомо, етнічна приналежність є одним із факторів, що впливають на прояви серця спортсмена (Lavie, 2013).

Також визнано, що багато професійних спортсменів мають дефіцит вітаміну D, і наразі жодне дослідження не вивчало зв'язок між рівнем вітаміну D та структурою і функцією серця у здорових спортсменів. Слід мати на увазі, що нещодавні дослідження виявили зв'язок між вітаміном D та раптовою серцевою смертю у спортсменів, виявивши сильний зв'язок між тяжким дефіцитом вітаміну D та раптовою серцевою смертю (Lavie, 2013).

Рецептори вітаміну D (VDR) присутні в серці та судинній системі, особливо багато їх є в міоцитах і фібробластах серця. Активована форма VITD, 1-2ОН VITD, бере участь у структурному ремоделюванні серцевого м'яза та судинної тканини та активує скоротливість міоцитів (Cannell, 2009; Girgis, 2014).

Існують наукові докази того, що дефіцит вітаміну D має довгострокові несприятливі наслідки для серцево-судинної системи. Дефіцит вітаміну D негативно впливає на скоротливість серця, тонус судин, вміст колагену в серці та дозрівання серцевої тканини. В основному це пов'язано з тим, що дефіцит вітаміну D викликає підвищення рівня паратгормону, що може призвести до гіпертрофії лівого шлуночка. Ця гіпертрофія може змінити здатність наповнення шлуночка і фракцію викиду, що призведе до можливої гіпоксії м'язової тканини та зниження спортивних результатів. Також було доведено, що у пацієнтів із тяжким дефіцитом вітаміну D додаткове лікування призвело до покращення функції серцевого м'яза (Lavie, 2013).

На судинному рівні в судинній стінці є рецептори вітаміну D, тому вважається, що цей вітамін впливає на фізіологію судин та їх патофізіологію (Mrandzou, 2015). Недостатність вітаміну D пов'язана з підвищенням жорсткості артерій і ендотеліальною дисфункцією в кровоносних судинах і сприяє атерогенезу. Важкий дефіцит вітаміну D викликає зміну адаптивної імунної відповіді, що сприяє дисфункції судин, резистентності до інсуліну та атеросклерозу. Ці фактори мають вирішальне значення для виконання аеробних та анаеробних вправ і здатності до опірності. Крім того, низький рівень вітаміну D у сироватці крові може викликати патологічну гіпертрофію

міокарда, підвищення артеріального тиску та ендотеліальну дисфункцію. Цей збіг змін підтверджує припущення, що недостатній рівень вітаміну D може негативно вплинути на серцево-дихальну здатність, впливаючи на постачання киснем і поживними речовинами м'язів, що тренуються (Mrandzou, 2015).

Останні дані показали високу поширеність дефіциту вітаміну D серед етнічних груп, особливо серед арабських спортсменів. Дефіцит вітаміну D пов'язаний з гіпертонією, інфарктом міокарда та інсультом, а також іншими захворюваннями, пов'язаними з серцево-судинними захворюваннями. На сьогоднішній день зв'язок між рівнями вітаміну D, етнічною приналежністю та серцево-судинною функцією у спортивних популяцій не досліджувався (Hamilton, 2010).

4.5. Дія вітаміну D на імунну систему

Різні дослідження довели, що вітамін D впливає на вроджений та адаптивний імунітет через його дію на VDR. Вітамін D впливає на Т- і В-клітини. В умовах спокою експресія VDR демонструє низьку активність як в Т-, так і в В-клітинах, але при інфекційних захворюваннях вони підвищують свою активність, що свідчить про вирішальну роль в адаптивному імунітеті.

Вітамін D може зменшити запалення за рахунок інгібуючої дії на прозапальні цитокіни, такі як інтерлейкін-6, який перетворює моноцити в макрофаги і виробляє більше запальних цитокінів (Koundourakis, 2016). Інтерлейкін-6 може рано підвищуватися при інтенсивних тренуваннях, і, як вважають, це пов'язано з появою пошкодження м'язів під час тренування. З іншого боку, було показано, що вітамін D знижує продукцію інших прозапальних цитокінів, таких як інтерферон, інтерлейкін-2 та фактор некрозу пухлини-6 (Carter, 2009). Низькі рівні вітаміну D у загальній популяції та у спортсменів (особливо після інтенсивних фізичних

навантажень) призводять до збільшення інтерлейкін-6 та TNF α . Таким чином, вітамін D покращує цю запальну відповідь.

Підтверджуючи вищесказане, недостатність вітаміну D у спортсменів асоціюється з більшою частотою захворювань, включаючи звичайні застуди, грип та гастроентерит. У спортсменів захворюваність респіраторними захворюваннями вища (особливо на елітному рівні), що свідчить про те, що низький рівень вітаміну D може сприяти вразливості цих фахівців до інфекцій верхніх дихальних шляхів, тоді як люди з високим рівнем вітаміну D демонструють нижчу схильність їм (Ksiazek, 2016).

4.6. Вплив вітаміну D на нервову систему

Вітамін D впливає на центральну та периферичну нервову систему. Рецептори вітаміну D присутні в усьому мозку, включаючи первинну моторну кору, яка є областю, яка координує рух (Larson-Meyer, 2015).

У свою чергу, вітамін D також впливає на диференціацію, дозрівання і ріст нейронів. Він також надає прямий нейропротекторний ефект через синтез білків, які відіграють життєво важливу роль у нервовій діяльності, включаючи передачу. ГАМКергічна функція є основним «гальмом» у мозку, який впливає на розслаблення м'язів через кортикоспінальні нейрони. Вплив вітаміну D на ГАМКергічний тонус, а також на серотонін і дофамін має вирішальне значення для координації м'язів і для уникнення центральної втоми, стану, пов'язаного із синаптичною концентрацією кількох нейромедіаторів. Висока частка серотоніну та дофаміну впливає на продуктивність вправ через його вплив на загальне відчуття втоми та сприйняття зусиль. Інший механізм, за допомогою якого вітамін D впливає на мозок і спортивні результати, може включати ноцицептори, точніше, сенсорну нервову клітину, яка реагує на шкідливі подразники, посилюючи сигнали в спинний і головний мозок. Ноцицептори сповнені VDR і 1 α -гідроксилази. Коли ці рецептори передають сигнали болю до мозку,

відбувається гальмівна фізична реакція. Актуальність цього механізму та фізичної активності/вітаміну D заснована на останніх результатах досліджень на тваринах, які вказують на те, що виснаження вітаміну D може призвести до гіперіннервації та ноцицептивної гіперчутливості глибокої м'язової тканини та втрати балансу без впливу на силу м'язів або шкірну ноцицептивну реакцію (Bikle, 2014; Norman, 2008; Lips, 2006). Виходячи з цього висновку, ми можемо припустити, що ноцицептивна гіперіннервація та гіперчутливість глибокої м'язової тканини можуть викликати помилкову появу міалгії під час фізичної активності, що може знизити працездатність у людей з дефіцитом вітаміну D.

Висновки до розділу IV

Вітамін D є основним гормоном метаболізму кісток. Однак повсюдна природа рецептора вітаміну D (VDR) свідчить про потенціал для широкого впливу, що призвело до нових досліджень, що вивчають вплив вітаміну D на різноманітні тканини, особливо на скелетні м'язи. Дослідження *in vitro* показали, що активна форма вітаміну D, кальцитріол, діє в міоцитах через геномні ефекти, що включають активацію VDR в ядрі клітини, щоб стимулювати клітинну диференціацію та проліферацію. Передбачуваний трансмембранний рецептор може бути відповідальним за негеномні ефекти, що призводять до швидкого припливу кальцію всередину м'язових клітин. Гіповітаміноз D постійно асоціюється зі зниженням м'язової функції та працездатності та збільшенням інвалідності. Навпаки, було показано, що добавки вітаміну D покращують силу м'язів і ходи в різних умовах, особливо у літніх пацієнтів. Незважаючи на деякі суперечності в інтерпретації мета-аналізу, зниження ризику падінь пояснюється прийомом вітаміну D через прямий вплив на м'язові клітини. Нарешті, низький статус вітаміну D постійно асоціюється з слабким фенотипом. Ось чому багато авторитетів рекомендують приймати вітамін D для слабких пацієнтів.

РОЗДІЛ V.

ХАРЧОВІ ДОБАВКИ ВІТАМІНУ D У РАЦІОНІ СПОРТСМЕНІВ

Незважаючи на особливу увагу до харчування спортсменів, слід мати на увазі, що може виникнути дефіцит деяких мікроелементів. Вважається, що якщо спортсмени дотримуються збалансованої дієти, їм не знадобляться добавки (Hosseini-nezhad, 2013). Однак ця ідея може бути занадто спрощеною. По-перше, визначити дієту у спортсменів може бути складно.

Потреби цих фахівців у мікроелементах можуть змінюватися в залежності від тривалості, інтенсивності та типу тренування (Morton, 2012; Rankinen, 1998). По-друге, для деяких мікроелементів, особливо вітаміну D, може бути недостатньо джерел їжі. Важливість цього питання полягає в тому, що мікроелементний статус спортсмена може впливати на його фізичну працездатність. З іншого боку, активність вітаміну D пов'язана з адекватною наявністю інших факторів харчування, і дуже важливо знати статус інших поживних речовин, таких як магній. Магній відіграє важливу роль у мінералізації кісток, частково завдяки його позитивному впливу на синтез активного вітаміну D. Нові дослідження свідчать про те, що застосування магнію може потенціювати ефективність активності вітаміну D.

Дефіцит вітаміну D призводить до підвищеного ризику захворюваності, що може негативно вплинути на спортивні результати та значно скоротити тривалість життя професійних спортсменів. Хоча деякі дослідники повідомляють про покращення впливу добавок вітаміну D на фізичну працездатність, це питання залишається спірним (Alimoradi, 2019).

Неоптимальні рівні вітаміну D з'являються як у спортсменів, які в основному тренуються в приміщенні і на більш високих широтах, так і у тих, хто тренується на відкритому повітрі в нижчих широтах. Ми повинні пам'ятати, що одним із факторів, який має найбільший вплив на рівень вітаміну D, є вплив сонячного світла. Все, що обмежує кількість або якість перебування на сонці, може поставити під загрозу рівень вітаміну D.

Кілька опублікованих досліджень категорично стверджують, що добавки вітаміну D покращують нервово-м'язову та аеробну роботу. У недавньому рандомізованому плацебо-контрольованому дослідженні оцінювався вплив вітаміну D (5000 МО на добу протягом восьми тижнів) на швидкість і вертикальні стрибки у когорти спортсменів. Група, яка отримувала добавки вітаміну D, зафіксувала значне збільшення висоти вертикальних стрибків від початку до кінця періоду дослідження, тоді як у групі плацебо-контрольованих змін не спостерігалось.

Вайон та ін. виявили покращення нервово-м'язової роботи у елітних артистів балету під час дослідження прийому пероральних добавок вітаміну D3. Спостерігається значне збільшення ізометричної сили (18,7%) та вертикального стрибка (7,1%). У групі втручання відмічено значне зменшення кількості травм порівняно з контрольною групою. Однак інші дослідження не змогли задокументувати будь-які переваги після прийому вітаміну D у спортсменів з достатнім або помірно дефіцитним рівнем вітаміну D до прийому добавок (Wyon, 2018). Клоуз та ін. вивчили вплив добавок вітаміну D3 на концентрацію 25 [ОН] D у сироватці крові та на різні показники виконання фізичних вправ у спортсменів. На початку дослідження у 57% учасників було виявлено дефіцит вітаміну D. Однак, незважаючи на підвищення рівня вітаміну D у сироватці крові, жодна з груп не показала покращення показників фізичних навантажень порівняно з контрольними. Carswell та ін. (Carswell, 2018) у 967 молодих здорових військовослужбовців виявили відсутність впливу статусу вітаміну D на м'язову силу. Хоча добавки відновили достатність вітаміну D, сприятливий вплив на продуктивність фізичних вправ залишається неясним. Проте вони виявили досить позитивний зв'язок між статусом вітаміну D та показниками витривалості.

5.1. Добавка з відповідною дозою вітаміну D

Здається, що добавки вітаміну D серед населення є важливими для запобігання та уникнення його дефіциту. Однак існує багато суперечок щодо відповідних доз добавок. У спортсменів вона ще більш суперечлива.

Було опубліковано кілька рекомендацій та рекомендацій щодо вітаміну D з неоднорідними та частково протилежними думками та рекомендаціями щодо потреб у вітаміні D (Wyon, 2018).

Карлберг та ін. припускають, що порогового рівня вітаміну D недостатньо, щоб оцінити потреби вітаміну D у окремих осіб. Ефективність молекулярної відповіді на вітамін D є критичною для встановлення відповідної дози вітаміну D у кожної людини. Доказ цього дослідника про те, що добавка вітаміну D і його доза пов'язані з «індексом особистої відповіді вітаміну D» (Wyon, 2018).

Як зазначено вище, Інститут медицини (МММ) у консенсусній заяві 2011 року зробив висновок, що рівні 25 (ОН) D 20 нг/мл (50 нмоль/л) задовольняють потреби принаймні 97,5% населення (Північної Америки).

Рекомендована норма харчування (RDA) для задоволення вимог МММ щодо вітаміну D для США та Канади становить 600 МО для дітей та дорослих віком до 70 років і 800 МО для осіб старше 70 років. Хоча рекомендація США вища, ніж рекомендація, встановлена в інших країнах, багато експертів з VITD вважають, що ці рекомендації були створені для підтримки здоров'я кісток, але можуть бути недостатніми для підтримки нескелетних переваг, а також оптимального здоров'я та продуктивності спортсменів.

Ендокринологічне товариство підрахувало, що 600–800 МО було недостатньо для забезпечення належного рівня, і підвищило рекомендоване споживання до 1500–2200 МО/день для людей, які не мають достатнього перебування на сонці для підтримки достатнього рівня вітаміну D . Що стосується спортсменів, то немає доказів того, що їхні вимоги відрізняються від вимог населення в цілому.

Рандомізоване контрольоване клінічне дослідження за участю 70 спортсменів було випадковим чином поділено на дві групи: добавка вітаміну D та контрольна. Вони виявили, що щотижневе споживання 50 000 МО вітаміну D покращило лише певні тести спортсменів, і вони дійшли висновку, що оптимальна доза для спортсменів потребує подальших досліджень.

Крім того, слід враховувати можливі інтоксикації через недостатнє введення вітаміну D. Токсичність вітаміну D може бути наслідком прийому надмірної кількості добавок цього вітаміну. Не повідомлялося про випадки токсичності вітаміну D під час сонячного світла або регулярного споживання їжі. Симптоми токсичності вітаміну D виникають внаслідок гіперкальціємії, яка може призвести до анорексії, частого сечовипускання, надмірної спраги, нудоти, блювоти і, у важких випадках, до зміни психічного стану та ниркової недостатності. Багато випадків інтоксикації вітаміном D є наслідком неправильно виготовлених добавок. Деякі спортсмени та тренери живуть у переконанні, що «якщо трохи добре, то більше – краще», що є небезпечною помилкою. Дуже важливо, щоб добавку здійснювали професіонали, які знають цю тему і знають, що, хоча інтоксикація VITD дуже рідкісна, вона може виникнути. Найчастіші випадки пов'язані з ненавмисним споживанням надзвичайно високих доз, а також у багатьох випадках через промислову помилку (Holick, 2012; Cashman, 2016).

Низький рівень вітаміну D може негативно вплинути на здоров'я та ефективність тренувань спортсменів. Дослідження, проведені на сьогоднішній день, показують, що деякі спортсмени піддаються ризику неоптимального статусу вітаміну D, що може збільшити ризик стресових переломів, гострого захворювання та неоптимальної функції м'язів.

Нові дані про вітамін D і спортивні результати вказують на необхідність визначення концентрації вітаміну D у спортсменів, але необхідні подальші дослідження, щоб охарактеризувати справжній статус

вітаміну D шляхом простого вимірювання вільного вітаміну D, а не загального 25-OHVID.

Що стосується профілактики дефіциту вітаміну D, ми повинні знати, що перебування на сонці є основним джерелом. На жаль, є дані, що стурбовані можливістю того, що безконтрольне перебування на сонці може сприяти раку шкіри. З іншого боку, ми також повинні враховувати харчування спортсменів і вітамін D. Необхідно розробити індивідуальний план харчування. Достатність необхідних мінералів і мікроелементів, таких як магній, має вирішальне значення для посилення активації вітаміну D.

Одна цікава теорія заснована на індивідуальній молекулярній відповіді на вітамін D. Спортсмени з персоналізованими добавками вітаміну D сприятимуть отриманню оптимізованих клінічних переваг. Подальші дослідження можуть визначити оптимальний поріг вітаміну D та визначити рекомендації щодо добавок.

Хоча попередні дослідження, здається, припускають, що добавки вітаміну D у спортсменів можуть мати сприятливий вплив на спортивні результати, ці результати не можна узагальнити. Непотрібні добавки з високими дозами вітаміну D можуть бути відносно поширеною практикою, без доведеної користі і навіть з ризиком шкоди.

Потрібні подальші дослідження, зосереджені на подвійному сліпому прийомі добавок та оптимальних рівнях вітаміну D у спортсменів, а також на дослідженні потенційно позитивного впливу вітаміну D на продуктивність вправ і переваг добавок вітаміну D на спортивні результати.

Дефіцит вітаміну D необхідно лікувати шляхом корекції способу життя для відновлення нормального рівня вітаміну D в крові, що є основоположним для підтримки або відновлення фізичної працездатності та здоров'я опорно-рухового апарату спортсменів. Тому спортивні дієтологи та лікарі повинні регулярно оцінювати рівень вітаміну D у сироватці крові у спортсменів із рекомендованими рівнями $25(\text{OH})\text{D} > 32$ нг/мл і переважно > 40 нг/мл (-1).

Зусилля, необхідні для відновлення нормального рівня вітаміну D, можуть відрізнятися між спортсменами в залежності від їх поточного рівня 25(OH)D. Як правило, рекомендується регулярне та безпечне перебування під сонячними променями та/або харчовими продуктами та добавками, багатими вітаміном D. Синтез вітамінів вимагає приблизно 30 хвилин щоденного перебування на сонці, а також достатнього споживання продуктів, багатих вітаміном D, таких як лосось, сардини, оселедець і червоне м'ясо. Однак впливу сонячних променів і дієтичного споживання може бути недостатньо для синтезу вітаміну D; у таких випадках можуть бути корисні добавки вітаміну D4. Вайон та ін. повідомили, що 2000 МО щоденного прийому вітаміну D протягом 4 місяців у елітних танцюристів класичного балету не тільки покращили їх ізометричну силу та вертикальний стрибок, але й зменшили травми (Cashman, 2016). У більш недавньому дослідженні Michalczyk et al. повідомили, що 6000 МО щоденного прийому вітаміну D протягом 6 тижнів після 10 днів перебування на сонці у професійних футболістів із недостатністю вітаміну D значно підвищили рівень 25(OH)D в крові, що було пов'язано з покращенням фізичної працездатності. у спринтерських тестах на 5 м. Спортсменам також необхідно надавати точну інформацію про добавки вітаміну D. Попередні дослідження запропонували різні діапазони добавок вітаміну D. Зазвичай спортсменам рекомендовано 2000–6000 МО щоденного прийому вітаміну D. Недавні дослідження показали, що спортсменам у деяких випадках може знадобитися додатково понад 10 000 МО вітаміну D; однак необхідні подальші дослідження для оцінки впливу мегадоз вітаміну D на спортсменів (Michalczyk, 2020).

Серед різних типів добавок вітаміну D рекомендується вітамін D3. І вітамін D2, і D3 можуть підвищувати рівень 25(OH)D в сироватці крові; однак вітамін D3 більш ефективний, ніж вітамін D2. Вітамін D має нижчу стабільність, біодоступність і всмоктування, ніж вітамін D3. Чанг та ін. продемонстрували, що добавки вітаміну D2 не впливають на силу м'язів, тоді як вітамін D3 покращує м'язову силу.

Висновки до розділу V

Отже, зазвичай спортсменам рекомендовано 2000–6000 МО щоденного прийому вітаміну D. Недавні дослідження показали, що спортсменам у деяких випадках може знадобитися додатково понад 10 000 МО вітаміну D; однак необхідні подальші дослідження для оцінки впливу мегадоз вітаміну D на спортсменів.

Серед різних типів добавок вітаміну D рекомендується вітамін D3. І вітамін D2, і D3 можуть підвищувати рівень 25(OH)D в сироватці крові; однак вітамін D3 більш ефективний, ніж вітамін D2. Вітамін D має нижчу стабільність, біодоступність і всмоктування, ніж вітамін D3. Чанг та ін. [66] продемонстрували, що добавки вітаміну D2 не впливають на силу м'язів, тоді як вітамін D3 покращує м'язову силу.

ВИСНОВКИ

1. Низький рівень вітаміну D може негативно вплинути на здоров'я та ефективність тренувань спортсменів. Дослідження, проведені на сьогоднішній день, показують, що деякі спортсмени піддаються ризику неоптимального статусу вітаміну D, що може збільшити ризик стресових переломів, гострого захворювання та неоптимального функціонування м'язів.

2. Необхідним є визначення концентрації вітаміну D у спортсменів шляхом простого вимірювання вільного вітаміну D, а не загального 25-OH-VITD.

3. Сонячне проміння, збалансоване харчування, наявність мінералів і мікроелементів, таких як магній є вирішальними чинниками профілактики дефіциту вітаміну D.

4. Поновлення рівня вітаміну D у спортсменів може мати сприятливий вплив на спортивні результати. Однак, високі дози вітаміну D не мають доведеної користі аж до шкоди.

5. Потрібні подальші дослідження, спрямовані на встановлення кореляції між вживанням різних форм вітаміну D спортсменами та продуктивність фізичних вправ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Abrams GD, Feldman D, Safran MR. Effects of vitamin D on skeletal muscle and athletic performance. *J Am Acad Orthop Surg*. 2018;26:278–85.
2. Ammerman BM, Ling D, Callahan LR, Hannafin JA, Goolsby MA. Prevalence of vitamin D insufficiency and deficiency in young, female patients with lower extremity musculoskeletal complaints. *Sports Health*. 2021;13:173–80.
3. Angeline M.E., Gee A.O., Shindle M., Warren R.F., Rodeo S.A. The effects of vitamin D deficiency in athletes. *Am. J. Sports Med*. 2013;41:461–464. doi: 10.1177/0363546513475787.
4. Angeline ME, Gee AO, Shindle M, Warren RF, Rodeo SA. The effects of vitamin D deficiency in athletes. *Am J Sports Med*. 2013;41:461–4.
5. Barker T, Schneider ED, Dixon BM, Henriksen VT, Weaver LK. Supplemental vitamin D enhances the recovery in peak isometric force shortly after intense exercise. *Nutr Metab*. 2013;10:69.
6. Barker T., Henriksen V.T., Martins T.B., Hill H.R., Kjeldsberg C.R., Schneider E.D., Dixon B.M., Weaver L.K. Higher serum 25-hydroxyvitamin D concentrations associate with a faster recovery of skeletal muscle strength after muscular injury. *Nutrients*. 2013;4:1253–1275. doi: 10.3390/nu5041253.
7. Bauer P, Henni S, Dörr O, Bauer T, Hamm CW, Most A. High prevalence of vitamin D insufficiency in professional handball athletes. *Phys Sportsmed*. 2019;47:71–7.
8. Bezuglov E, Tikhonova A, Zueva A, Khaitin V, Waśkiewicz Z, Gerasimuk D, Żebrowska A, Rosemann T, Nikolaidis P, Knechtle B. Prevalence and treatment of vitamin D deficiency in young male Russian soccer players in winter. *Nutrients*. 2019;11:2405.
9. Bikle D., Bouillon R., Thadhani R., Schoenmakers I. Vitamin D metabolites in captivity? Should we measure free or total 25(OH)D to assess

vitamin D status? *J. Steroid Biochem. Mol. Biol.* 2017;173:105–116. doi: 10.1016/j.jsbmb.2017.01.007.

10. Bikle D.D. Vitamin D Metabolism, Mechanism of Action, and Clinical Applications. *Chem. Biol.* 2014;20:319–329.

11. Bischoff-Ferrari H.A., Dietrich T., Orav E.J., Dawson-Hughes B. Positive association between 25-hydroxy vitamin D levels and bone mineral density: A population-based study of younger and older adults. *Am. J. Med.* 2004;116:634–639. doi: 10.1016/j.amjmed.2003.12.029.

12. Burgi A.A., Gorham E.D., Garland C.F., Mohr S.B., Garland F.C., Zeng K., Thompson K., Lappe J.M. High serum 25-hydroxyvitamin D is associated with a low incidence of stress fractures. *J. Bone Miner. Res.* 2011;26:2371–2377. doi: 10.1002/jbmr.451.

13. Bytowski JR. Fueling for performance. *Sports Health.* 2018;10:47–53.

14. Cannell J.J., Hollis B.W., Sorenson M.B., Taft T.N., Anderson J.J. Athletic performance and vitamin D. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2009;41:1102–1110. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181930c2b.

15. Carswell A.T., Oliver S.J., Wentz L.M., Kashi D.S., Roberts R., Tang J.C., Izard R.M., Jackson S., Allan D., Rhodes L.E., et al. Influence of Vitamin D supplementation by sunlight or oral D3 on exercise performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2018;50:2555–2564. doi: 10.1249/MSS.0000000000001721.

16. Carswell AT, Oliver SJ, Wentz LM, Kashi DS, Roberts R, Tang JCY, Izard RM, Jackson S, Allan D, Rhodes LE, Fraser WD, Greeves JP, Walsh NP. Influence of vitamin D supplementation by sunlight or oral D3 on exercise performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2018;50:2555–64.

17. Carter G.D. 25-hydroxyvitamin D assays: The quest for accuracy. *Clin. Chem.* 2009;55:1300–1302. doi: 10.1373/clinchem.2009.125906.

18. Cashman K.D., Dowling K.G., Škrabáková Z., Gonzalez-Gross M., Valtuena J., De Henauw S., Moreno L., Damsgaard C.T., Michaelsen K.F.,

Mølgaard C., et al. Vitamin D deficiency in Europe: pandemic? *Am. J. Clin. Nutr.* 2016;103:1033–1044. doi: 10.3945/ajcn.115.120873.

19. Christakos S., Ajibade D.V., Dhawan P., Fechner A.J., Mady L.J. Vitamin D: Metabolism. *Endocrinol. Metab. Clin. N. Am.* 2010;39:243–253. doi: 10.1016/j.ecl.2010.02.002.

20. Chun R.F., Peercy B.E., Orwoll E.S., Nielson C.M., Adams J.S., Hewison M. Vitamin D and DBP: The free hormone hypothesis revisited. *J. Steroid Biochem. Mol. Biol.* 2014;144:132–137. doi: 10.1016/j.jsbmb.2013.09.012.

21. Close G.L., Russell J., Cobley J.N., Owens D.J., Wilson G., Gregson W., Fraser W.D., Morton J.P. Assessment of vitamin D concentration in non-supplemented professional athletes and healthy adults during the winter months in the UK: Implications for skeletal muscle function. *J. Sports Sci.* 2013;31:344–353. doi: 10.1080/02640414.2012.733822.

22. Constantini NW, Arieli R, Chodick G, Dubnov-Raz G. High prevalence of vitamin D insufficiency in athletes and dancers. *Clin J Sport Med.* 2010;20:368–71.

23. de la Puente Yagüe M, Collado Yurrita L, Ciudad Cabañas MJ, Cuadrado Cenzual MA. Role of vitamin D in athletes and their performance: current concepts and new trends. *Nutrients.* 2020;12:579.

24. Dubnov-Raz G., Livne N., Raz R., Rogel D., Constantini W. Vitamin D concentrations and physical performance in competitive adolescent swimmers. *Pediatr. Exerc. Sci.* 2014;26:64–70. doi: 10.1123/pes.2013-0034.

25. Farrokhyar F, Tabasinejad R, Dao D, Peterson D, Ayeni OR, Hadioonzadeh R, Bhandari M. Prevalence of vitamin D inadequacy in athletes: a systematic-review and meta-analysis. *Sports Med.* 2015;45:365–78.

26. Farrokhyar F., Sivakumar G., Savage K., Koziarz A., Jamshidi S., Olufemi R., Ayeni D.P., Bhandari M. Prevalence of Vitamin D inadequacy in athletes: Effects of Vitamin D supplementation on serum 15-OH Hydroxyvitamin D concentration and physical performance in athletes. A systematic review and

meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *Sports Med.* 2017;47:2323–2339. doi: 10.1007/s40279-017-0749-4.

27. Farrokhyar F., Tabasinejad R., Dao D., Peterson D., Ayeni O.R., Hadioonzadeh R., Bhandari M. Prevalence of vitamin D inadequacy in athletes: A systematic-review and meta-analysis. *Sports Med.* 2015;45:365–378. doi: 10.1007/s40279-014-0267-6.

28. Fishman M, Lombardo S, Kharrazi Vitamin D deficiency among players in the National Basketball Association. *Orthop J Sports Med.* 2016;4(7):2325967116655742.

29. Forrest K.Y., Stuhldreher W.L. Prevalence and correlates of vitamin D deficiency in US adults. *Nutr. Res.* 2011;31:48–54. doi: 10.1016/j.nutres.2010.12.001.

30. Galan F, Ribas J, Sánchez-Martinez PM, Calero T, Sánchez AB, Muñoz A. Serum 25-hydroxyvitamin D in early autumn to ensure vitamin D sufficiency in mid-winter in professional football players. *Clin Nutr.* 2012;31:132–6.

31. Gallagher J.C., Sai A.J. Vitamin D insufficiency, deficiency, and bone health. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 2010;95:2630–2633. doi: 10.1210/jc.2010-0918.

32. Geiker NRW, Hansen M, Jakobsen J, Kristensen M, Larsen R, Jørgensen NR, Hansen BS, Bügel S. Vitamin D status and muscle function among adolescent and young swimmers. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2017;27:399–407.

33. Ginde A.A., Liu M.C., Camargo C.A., Jr. Demographic differences and trends of vitamin D insufficiency in the US population, 1988–2004. *Arch. Intern. Med.* 2009;23:626–632. doi: 10.1001/archinternmed.2008.604.

34. Girgis C.M., Mokbel N., Cha K.M., Houweling P.J., Abboud M., Fraser D.R., Mason R.S., Clifton-Bligh R.J., Gunton J.E. The vitamin D receptor (VDR) is expressed in skeletal muscle of male mice and modulates 25-hydroxyvitamin D (25OHD) uptake in myofibers. *Endocrinology.* 2014;155:3227–3237. doi: 10.1210/en.2014-1016.

35. Grieshaber JA, Mehran N, Photopolous C, Fishman M, Lombardo SJ, Kharrazi FD. Vitamin D insufficiency among professional basketball players: a relationship to fracture risk and athletic performance. *Orthop J Sports Med.* 2018;6:2325967118774329.
36. Halliday T.M., Peterson N.J., Thomas J.J., Kleppinger K., Hollis B.W., Larson-Meyer D.E. Vitamin D status relative to diet, lifestyle, injury, and illness in college athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2011;43:335–343. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181eb9d4d.
37. Hamilton B, Whiteley R, Farooq A, Chalabi H. Vitamin D concentration in 342 professional football players and association with lower limb isokinetic function. *J Sci Med Sport.* 2014;17:139–43.
38. Hamilton B., Grantham J., Racinais S., Chalabi H. Vitamin D deficiency is endemic in Middle Eastern sportsmen. *Public Health Nutr.* 2010;13:1528–1534. doi: 10.1017/S136898000999320X.
39. Heures N. Vitamin D testing-where are we and what is on the horizon? *Adv. Clin. Chem.* 2017;78:59–101.
40. Heures N., Lindhout E., Swinkels L. A direct assay for measuring free 25-hydroxyvitamin D. *JAOAC Int.* 2017;100:1318–1322. doi: 10.5740/jaoacint.17-0084.
41. Holick M.F. The Vitamin D deficiency pandemic: Approaches for diagnosis, treatment and prevention. *Rev. Endocr. Metab. Disord.* 2017;18:153–165. doi: 10.1007/s11154-017-9424-1.
42. Holick M.F. Vitamin D. In: Shils M.E., Shike M., Ross A.C., Caballero B., Cousins R.J., editors. *Modern Nutrition in Health and Disease*. 10th ed. Lippincott Williams & Wilkins; Philadelphia, PA, USA: 2006.
43. Holick M.F. Vitamin D: Extraskelatal health. *Endocrinol. Metab. Clin. N. Am.* 2010;39:381–400. doi: 10.1016/j.ecl.2010.02.016.
44. Holick M.F., Binkley N.C., Bischoff-Ferrari H.A., Gordon C.M., Hanley D.A., Heaney R.P., Murad M.H., Weaver C.M. Guidelines for preventing

and treating vitamin D deficiency and insufficiency revisited. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 2012;97:1153–1158. doi: 10.1210/jc.2011-2601.

45. Holick M.F., Garabedian M. Vitamin D: Photobiology, metabolism, mechanism of action, and clinical applications. In: Favus M.J., editor. *Primer on the Metabolic Bone Diseases and Disorders of Mineral Metabolism*. 6th ed. American Society for Bone and Mineral Research; Washington, DC, USA: 2006. pp. 129–137.

46. Hollis B.W. Circulating 25-hydroxyvitamin D levels indicative of vitamin D sufficiency: Implications for establishing a new effective dietary intake recommendation for vitamin D. *J. Nutr.* 2005;135:317–322. doi: 10.1093/jn/135.2.317.

47. Hossein-nezhad A., Holick M.F. Vitamin D for health: A global perspective. *Mayo Clin. Proc.* 2013;88:720–755. doi: 10.1016/j.mayocp.2013.05.011.

48. Institute of Medicine. Food and Nutrition Board. *Dietary Reference Intakes for Calcium and Vitamin D*. National Academy Press; Washington, DC, USA: 2010.

49. Iwamoto J., Sato Y., Takeda T., Matsumoto H. Analysis of stress fractures in athletes based on our clinical experience. *World J. Orthop.* 2011;2:7–12. doi: 10.5312/wjo.v2.i1.7.

50. Jastrzębska M, Kaczmarczyk M, Michalczyk M, Radzimiński Ł, Stępień P, Jastrzębska J, Wakuluk D, Suárez AD, López Sánchez GF, Ciężczyk P, Godlewski P, Król P, Jastrzębski Z. Can supplementation of vitamin D improve aerobic capacity in well trained youth soccer players? *J Hum Kinet.* 2018;61:63–72.

51. Johnsen M.S., Grimnes G., Figenschau Y., Torjesen P.A., Almås B., Jorde R. Serum free and bio-available 25-hydroxyvitamin D correlate better with bone density than serum total 25-hydroxyvitamin D. *Scand. J Clin. Lab. Investig.* 2014;74:77–83. doi: 10.3109/00365513.2013.869701.

52. Knechtle B, Jastrzębski Z, Hill L, Nikolaidis PT. Vitamin D and stress fractures in sport: preventive and therapeutic measures - a narrative review. *Medicina*. 2021;57:223.
53. Kopeć A., Solarz K., Majda F., Słowińska-Lisowska M., Mędraś M. An evaluation of the levels of vitamin D and bone turnover markers after the summer and winter periods in polish professional soccer players. *J. Hum. Kinet*. 2013;38:135–140. doi: 10.2478/hukin-2013-0053.
54. Koundourakis N.E., Androulakis N.E., Malliaraki N., Margioris A.N. Vitamin D and exercise performance in professional soccer players. *PLoS ONE*. 2014;9:e101659. doi: 10.1371/journal.pone.0101659.
55. Koundourakis N.E., Androulakis N.E., Malliaraki N., Tsatsanis C., Venihaki M., Margioris A.N. Discrepancy between exercise performance, body composition, and sex steroid response after a six-week detraining period in professional soccer players. *PLoS ONE*. 2014;9:e87803. doi: 10.1371/journal.pone.0087803.
56. Koundourakis N.E., Avgoustinaki P.D., Malliaraki N., Margioris A.N. Muscular effects of vitamin D in young athletes and non-athletes and in the elderly. *Hormones*. 2016;15:471–488. doi: 10.14310/horm.2002.1705.
57. Koundourakis NE, Androulakis NE, Malliaraki N, Margioris AN. Vitamin D and exercise performance in professional soccer players. *PLoS One*. 2014;9:e101659.
58. Książek A, Dziubek W, Pietraszewska J, Słowińska-Lisowska M. Relationship between 25(OH)D levels and athletic performance in elite Polish judoists. *Biol Sport*. 2018;35:191–6.
59. Książek A., Zagrodna A., Dziubek W., Pietraszewski B., Ochmann B., Słowińska-Lisowska M. 25(OH)D₃ Levels Relative to Muscle Strength and Maximum Oxygen Uptake in Athletes. *J. Hum. Kinet*. 2016;50:71–779. doi: 10.1515/hukin-2015-0144.
60. Larson-Meyer D.E. The importance of Vitamin D for Athletes. *Sports Sci. Exch*. 2015;28:1–6.

61. Larson-Meyer D.E., Willis K.S. Vitamin D and athletes. *Curr. Sports Med. Rep.* 2010;9:220–226. doi: 10.1249/JSR.0b013e3181e7dd45.
62. Larson-Meyer E. Vitamin D supplementation in athletes. *Nestle Nutr Inst Workshop Ser.* 2013;75:109–21.
63. Last J. *A Dictionary of Epidemiology*. 4th ed. Oxford University Press; Oxford, UK: 2001.
64. Lavie C.J., Dinicolantonio J.J., Milani R.V., O’Keefe J.H. Vitamin D and cardiovascular health. *Circulation.* 2013;128:2404–2406. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.113.002902.
65. Li Y.C. Vitamin D, renin, and blood pressure. In: Ho-Lick M.F., editor. *Vitamin D Physiology, Molecular Biology, and Clinical Applications*. 2nd ed. Humana Press; Boston, MA, USA: 2010. pp. 937–953.
66. Lips P. Vitamin D physiology. *Prog. Biophys Mol. Biol.* 2006;92:4–8. doi: 10.1016/j.pbiomolbio.2006.02.016.
67. Maimoun L., Manetta J., Couret I., Dupuy A.M., Mariano-Goulart D., Micallef J.P., Peruchon E., Rossi M. The intensity level of physical exercise and the bone metabolism response. *Int. J. Sports Med.* 2006;27:105–111. doi: 10.1055/s-2005-837621.
68. Manson A.E., Brannon P.M., Rosen C.J., Taylor C.L. Vitamin D Deficiency-Is there Really a Pandemic? *N. Engl. J. Med.* 2016;375:1817–1820. doi: 10.1056/NEJMp1608005.
69. Maroon J.C., Mathyssek C.M., Bost J.W., Amos A., Winkelman R., Yates A.P., Duca M.A., Norwig J.A. Vitamin D profile in National Football League players. *Am. J. Sports Med.* 2015;43:1241–1245. doi: 10.1177/0363546514567297.
70. Mehran N., Schulz B.M., Neri B.R., Robertson W.J., Limpisvasti O. Prevalence of vitamin D insufficiency in professional hockey players. *Orthop. J. Sports Med.* 2016;4:1–4. doi: 10.1177/2325967116677512.

71. Michalczyk MM, Gołaś A, Maszczyk A, Kaczka P, Zając A. Influence of sunlight and oral D3 supplementation on serum 25(OH) D concentration and exercise performance in elite soccer players. *Nutrients*. 2020;12:1311.
72. Millward D, Root AD, Dubois J, Cohen RP, Valdivia L, Helming B, Kokoskie J, Waterbrook AL, Paul S. Association of serum vitamin D levels and stress fractures in collegiate athletes. *Orthop J Sports Med*. 2020;8:2325967120966967.
73. Morris H.A., Anderson P.H. Autocrine and paracrine actions of vitamin d. *Clin. Biochem. Rev*. 2010;31:129–138.
74. Morton J.P., Iqbal Z., Drust B., Burgess D., Close G.L., Brukner P.D. Seasonal variation in vitamin D status in professional soccer players of the English Premier League. *Appl. Physiol. Nutr. Metab*. 2012;37:798–802. doi: 10.1139/h2012-037.
75. Mpandzou G., Aït Ben Haddou E., Regragui W., Benomar A., Yahyaoui M. Vitamin D deficiency and its role in neurological conditions: A review. *Rev. Neurol*. 2016;172:109–122. doi: 10.1016/j.neurol.2015.11.005.
76. Nielson C.M., Jones K.S., Bouillon R. Osteoporotic Fractures in Men (MrOS) Research Group. Role of assay type in determining free 25-hydro- vitamin D levels in diverse populations. *N. Engl. J. Med*. 2016;374:1695. doi: 10.1056/NEJMc1513502.
77. Norman A.W. From vitamin D to hormone D: Fundamentals of the vitamin D endocrine system essential for good health. *Am. J. Clin. Nutr*. 2008;88:491S–499S. doi: 10.1093/ajcn/88.2.491S.
78. Ovesen L., Andersen R., Jakobsen J. Geographical differences in vitamin D status, with particular reference to European countries. *Proc. Nutr. Soc*. 2003;62:813–821. doi: 10.1079/PNS2003297.
79. Owens D.J., Allison R., Close G.L. Vitamin D and the Athlete: Current Perspective and new challenges. *Sports Med*. 2018;48(Suppl. 1):S3–S16. doi: 10.1007/s40279-017-0841-9.

80. Owens DJ, Allison R, Close GL. Vitamin D and the athlete: current perspectives and new challenges. *Sports Med.* 2018;48:3–16.
81. Peter N., Black M.B., Scragg R. Relationship between serum 25-Hydroxyvitamin D and pulmonary function in the Third National Health and Nutrition Examination Survey. *Chest.* 2005;128:3792–3798.
82. Pilch W, Kita B, Piotrowska A, Tota Ł, Maciejczyk M, Czerwińska-Ledwig O, Sadowska-Krepa E, Kita S, Pałka T. The effect of vitamin D supplementation on the muscle damage after eccentric exercise in young men: a randomized, control trial. *J Int Soc Sports Nutr.* 2020;17:53.
83. Plum L., De Luca H. The Functional Metabolism and Molecular Biology of Vitamin D Action. *Clin. Rev. Bone Miner. Metab.* 2009;7:20–41. doi: 10.1007/s12018-009-9040-z.
84. Rankinen T.S., Lyytikainen E., Vanninen I., Penttila R., Uusitupa M. Nutritional status of the Finnish elite ski jumpers. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1998;30:1592–1597. doi: 10.1097/00005768-199811000-00006.
85. Rawson ES, Miles MP, Larson-Meyer DE. Dietary supplements for health, adaptation, and recovery in athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2018;28:188–99.
86. Rebolledo BJ, Bernard JA, Werner BC, Finlay AK, Nwachukwu BU, Dare DM, Warren RF, Rodeo SA. The association of vitamin D status in lower extremity muscle strains and core muscle injuries at the national football league combine. *Arthroscopy.* 2018;34:1280–5.
87. Seo MW, Song JK, Jung HC, Kim SW, Kim JH, Lee JM. The associations of vitamin D status with athletic performance and bloodborne markers in adolescent athletes: a cross-sectional study. *Int J Environ Res Public Health.* 2019;16:3422.
88. Shimasaki Y, Nagao M, Miyamori T, Aoba Y, Fukushi N, Saita Y, Ikeda H, Kim SG, Nozawa M, Kaneko K, Yoshimura M. Evaluating the risk of a fifth metatarsal stress fracture by measuring the serum 25-hydroxyvitamin D levels. *Foot Ankle Int.* 2016;37:307–11.

89. Smith JT, Halim K, Palms DA, Okike K, Bluman EM, Chiodo CP. Prevalence of vitamin D deficiency in patients with foot and ankle injuries. *Foot Ankle Int.* 2014;35:8–13.
90. Stachowicz M, Lebedzińska A. The role of vitamin D in health preservation and exertional capacity of athletes. *Postepy Hig Med Dosw.* 2016;70:637–43.
91. Teixeira P, Santos AC, Casalta-Lopes J, Almeida M, Loureiro J, Ermida V, Caldas J, Fontes-Ribeiro C. Prevalence of vitamin D deficiency amongst soccer athletes and effects of 8 weeks supplementation. *J Sports Med Phys Fitness.* 2019;59:693–9.
92. Todd J.J., Pourshahidi L.K., McSorley E.M., Madigan S.M., Magee P.J. Vitamin D: Recent advances and implications for athletes. *Sport Med.* 2015;45:213–229. doi: 10.1007/s40279-014-0266-7.
93. Todd JJ, Pourshahidi LK, McSorley EM, Madigan SM, Magee PJ. Vitamin D: recent advances and implications for athletes. *Sports Med.* 2015;45:213–29.
94. Valtueña J, Dominguez D, Til L, González-Gross M, Drobnic F. High prevalence of vitamin D insufficiency among elite Spanish athletes the importance of outdoor training adaptation. *Nutr Hosp.* 2014;30:124–31.
95. Verstuyf A., Carmeliet G., Bouillon R., Mathieu C. Vitamin D: A pleiotropic hormone. *Kidney Int.* 2010;78:140–145. doi: 10.1038/ki.2010.17.
96. Villacis D, Yi A, Jahn R, Kephart CJ, Charlton T, Gamradt SC, Romano R, Tibone JE, Hatch GF., 3rd Prevalence of abnormal vitamin D levels among division I NCAA athletes. *Sports Health.* 2014;6:340–7.
97. Vitale JA, Lombardi G, Cavaleri L, Graziani R, Schoenhuber H, Torre A, Banfi G. Rates of insufficiency and deficiency of vitamin D levels in elite professional male and female skiers: a chronobiologic approach. *Chronobiol Int.* 2018;35:441–9.

98. Wacker M., Holick M.F. VitaminD—Effects on skeletal and extraskeletal health and the need for supplementation. *Nutrients*. 2013;5:111–148. doi: 10.3390/nu5010111.
99. Wang Y., Zhu J., De Luca H.F. Where is the vitamin D receptor? *Arch. Biochem. Biophys.* 2012;523:123–133. doi: 10.1016/j.abb.2012.04.001.
100. Williams K, Askew C, Mazoue C, Guy J, Torres-McGehee TM, Jackson Iii JB. Vitamin D3 supplementation and stress fractures in high-risk collegiate athletes - a pilot study. *Orthop Res Rev.* 2020;12:9–17.
101. Wyon M.A., Wolman R., Kolokythas N., Sheriff K., Galloway S., Mattiussi A. The effect of Vitamin D supplementation in elite adolescent dancers on muscle function and injury incidence. A randomized double-Blind study. *Int. J. Sports. Physiol.* 2018;12:1–15.
102. Yang S, Lhee S. Do young athletes need vitamin D supplement? vitamin D status and deficiency related factor on sports type (indoor vs. outdoor), age, sex, body mass index, seasonal variations in Korean young athletes. *Korean J Sports Med.* 2018;36:71–6.
103. Żebrowska A, Sadowska-Krępa E, Stanula A, Waśkiewicz Z, Łakomy O, Bezuglov E, Nikolaidis PT, Rosemann T, Knechtle B. The effect of vitamin D supplementation on serum total 25(OH) levels and biochemical markers of skeletal muscles in runners. *J Int Soc Sports Nutr.* 2020;17:18.
104. Zeitler C, Fritz R, Smekal G, Ekmekcioglu C. Association between the 25-hydroxyvitamin D status and physical performance in healthy recreational athletes. *Int J Environ Res Public Health.* 2018;15:2724.
105. Zhang R., Naughton D.P. Vitamin D in health and disease: Current perspectives. *Nutr. J.* 2010;9:65–71. doi: 10.1186/1475-2891-9-65.