

Витамин D: роль в спорте и спортивной медицине (обзор литературы)

Александр Дмитриев¹, Алексей Калинин²

АННОТАЦИЯ

В обзорной работе приведены систематизированные данные относительно методологии оценки содержания и критериев недостаточности и дефицита витамина D у представителей разных видов спорта, проживающих в разных климатических зонах. Сформулировано, что эффекты витамина D можно условно разделить на специальные, определяющие прямое и опосредованное влияние на показатели физической подготовленности и работоспособности спортсменов, и защитные, заключающиеся в повышении устойчивости к инфекционным болезням, в нормализации обменных процессов и предупреждении различных обменных заболеваний спортсменов. Постулировано, что у представителей России, Украины, Беларуси, а также западных стран наблюдаются частые признаки дефицита этого витамина, что сопровождается не только снижением эффективности тренировочной деятельности, но и приводит к развитию вторичных дизиммунных реакций, снижению минерализации костной ткани и росту травматизма. Описаны препараты и диетические добавки витамина D, а также их дозировки, рекомендованные мировыми ведущими спортивными институтами для применения у спортсменов на разных этапах годового макроцикла. Обсуждены также механизмы влияния дефицита витамина D на образование в организме эндогенного тестостерона.

Ключевые слова: спорт, физические нагрузки, витамин D, дефицит, недостаточность, нутритивно-метаболическая поддержка.

ABSTRACT

The review provides systematic information on the methodology for assessing content of and criteria of deficiency of vitamin D in athletes of different sports living in different climatic zones. It is suggested that the effects of vitamin D can be divided into specific ones that determine direct and indirect influence on the indicators of physical fitness and performance of athletes, and protective ones that increase resistance to infectious diseases, normalize metabolic processes, and prevent various metabolic diseases in athletes. It is postulated that among the inhabitants of Russia, Ukraine, Belarus, and Western Europe countries, the symptoms of vitamin D deficiency are frequently observed, which are not only accompanied by decreased effectiveness of training activity, but also lead to the development of secondary dysimmune reactions, reduced bone mineralization, and increased injuries. Vitamin D medications and dietary supplements are described along with the dosage guidelines recommended by the world's leading sport science institutes for use in athletes at different stages of the annual macrocycle. The mechanisms of the impact of vitamin D deficiency on the production of endogenous testosterone in the body are discussed.

Keywords: sport, physical loads, vitamin D, deficiency, insufficiency, nutrition and metabolic support.

III

Постановка проблемы. Витамин D классифицируется как жирорастворимый и в функциональном плане действует как гормон. Его структура схожа со структурой стероидных гормонов. Существуют две изоформы витамина D: D₃ (холекальциферол) – наиболее важный изомер, образующийся в коже человека; D₂ (эргокальциферол), имеющий растительное происхождение. D₂ был первой изоформой витамина D, описанной в литературе и примененной в качестве пищевой добавки и в составе функционального питания. В настоящее время предпочтительной формой является витамин D₃, который биологически инертен до тех пор, пока в печени не превратится в 25(OH)D, а в почках – в 1,25(OH)D.

Витамин D играет важную роль в фосфорно-кальциевом обмене (состояние костной системы), экспрессии генов и клеточном росте. Нахождение в большинстве тканей организма рецепторов витамина D указывает на его универсальную роль в обменных процессах. В спорте и спортивной медицине важна его регулирующая функция в скелетных мышцах.

Эффекты витамина D можно условно разделить на специальные (прямое и опосредованное эргогенное влияние на показатели физической готовности спортсменов) и защитные (повышение устойчивости к инфекционным болезням, нормализация липидного и углеводного обмена – снижение риска сердечно-сосудистых заболеваний, ожирения, диабета II типа, аутоиммунных болезней) [77].

В соответствии с международными и национальными классификациями витамин D и его препараты относятся к категории «А» (высшая степень доказательности и целесообразности применения в спортивной медицине) со следующим определением: «медицинские добавки – используются по врачебным показаниям, включая установленный с помощью методов доказательной медицины дефицит данного нутриента (фармаконутриента)». Применение витамина D требует индивидуального дозирования и контроля специалиста в области спортивной

медицины (спортивный врач, спортивный нутрициолог, спортивный диетолог). Как отмечено в обобщающем обзоре Научно-исследовательского института спорта и физической культуры «Gatorade» (Ливерпуль, Великобритания), «...последнее десятилетие можно назвать «ренессансом» интереса к научным исследованиям витамина D». Простой поиск в базе данных PubMed по директории «витамин D» дает цифру в 3500 статей за 2013 г. по сравнению, например, с 1000 публикаций в 1993 г.

Частично такой возросший интерес к этой теме обусловлен важной ролью витамина D в предотвращении заболеваний костной системы. Сформировалось лучшее понимание метаболизма и функций витамина D, множественности биологической роли в активности стероидных гормонов [20]. С момента идентификации рецепторов витамина D в разных тканях, воздействуя на которые, он оказывает свое биологическое действие [23, 24], за последние 10 лет произошло колоссальное расширение наших знаний о спектре фармакологической активности витамина D. В настоящее время спектр клинического влияния витамина D дополнительно включает сердечно-сосудистые эффекты, изменение иммунитета, функций скелетной мускулатуры и многие другие. Несмотря на такой огромный спектр новых знаний и расширение представлений о важности витамина D, о негативной роли его дефицита в организме, распространенности этого дефицита среди всех слоев населения планеты, в практическом плане нет действующего алгоритма применения этого витамина.

Точно так же обстоят дела и в спортивной медицине, где дефицит или недостаточность витамина D у атлетов носят на сегодня, к сожалению, характер эпидемии. Надо помнить, что в связи с колоссальными физическими и психологическими нагрузками, особенно в спорте высших достижений, стрессорные воздействия на костно-мышечную систему, иммунитет, центральную и периферическую нервную систему имеют предельный характер. Дополнительно требуется максимальная скорость восстановле-

ТАБЛИЦА 1 – Содержание в сыворотке крови общего сывороточного 25(OH)D, необходимое для поддержания оптимального уровня витамина D в организме спортсменов разных видов спорта, квалификации и регионов проживания [цит. по: 25, 36, 60, 84]

Общий сывороточный 25(OH)D, нмоль·л ⁻¹	Оценка статуса витамина D в организме
<12	Выраженный дефицит
>12<30	Дефицит
30–50	Недостаточность
>50	Адекватный уровень
>100–250	Оптимальный

ния функций после прекращения нагрузок. Поэтому ликвидация дефицита витамина D является не временной, а постоянной мерой, что диктует необходимость подробного рассмотрения всех клинико-фармакологических аспектов действия и применения витамина D и его препаратов. Совокупность фармакологических эффектов и спектр действия, наличие дозозависимости во влиянии на показатели физической готовности спортсменов позволяют отнести витамин D и его препараты к фармаконутриентам [9].

Цель работы – изучение и систематизация данных современной научной и научно-методической литературы относительно изменений содержания в организме и роли витамина D в практике подготовки спортсменов и спортивной медицине.

Методы определения содержания витамина D в организме и оценка полученных результатов. Оценка уровня витамина D производится с помощью рутинных методов в венозной (в сыворотке) или капиллярной (цельной) крови. Концентрацию метаболитов 25(OH)D определяют следующими методами:

- масс-спектрометрия (жидкостная хроматография высокого давления) (LC-MS/MS);
- радиоиммунологический анализ (RIA);
- ферментный иммуноанализ (EIA);
- конкурентный анализ связывания с белками (СРВА);
- автоматизированный хемолюминисцентный анализ связывания с белками (СЛРВА);
- хемолюминисцентный иммуноанализ (СЛИА).

Полученные результаты, в зависимости от страны, где проводится исследование, дают значения концентрации метаболитов витамина D в крови либо в нг·мл⁻¹ (ng·mL⁻¹),

либо в нмоль·л⁻¹ (nmol·L⁻¹), где 1 нг·мл⁻¹ = = 2,496 нмоль·л⁻¹. При этом чаще всего метаболиты витамина D₂ (25(OH)D₂) и D₃ (25(OH)D₃) не разделяются и анализируются вместе под общим названием «общий сывороточный 25(OH)D». Институт медицины США (U.S. IOM) представил рекомендации по оценке результатов анализа уровня общего сывороточного 25(OH)D у спортсменов (табл. 1).

Данные Австралийского института спорта указывают [54], что хотя в настоящее время нет универсального определения дефицита витамина D, наиболее часто используются следующие определения в научной и клинической литературе, базирующиеся на концентрации в плазме крови метаболита 25(OH)D:

- дефицит:
< 20 нг·мл⁻¹ (50 нмоль·л⁻¹);
- недостаточность:
< 30 нг·мл⁻¹ (меньше 75 нмоль·л⁻¹);
- удовлетворительный уровень:
> 30 нг·мл⁻¹ (75 нмоль·л⁻¹ и выше);
- идеальный интервал:
75–120 нмоль·л⁻¹;
- токсический уровень:
>375 нмоль·л⁻¹ при сочетании с повышением концентрации ионизированного кальция в сыворотке крови.

При этом верхние границы указанного интервала предпочтительны для сохранения высокой физической готовности у элитных спортсменов и безопасны.

В то же время многие научные спортивные организации, в частности НИИ спорта и физической культуры «Gatorade», считают, что данные рекомендации в силу вариабель-

ности показателей содержания в организме витамина D в разных странах и регионах не могут быть универсальными, и в зависимости от этого каждая страна должна выработать свои рекомендации, как, например, это было сделано Австралийским институтом спорта (AIS). Причем этот дифференцированный подход должен учитывать не только страну, но и ее отдельные регионы, время года, пол и возраст спортсменов и другие факторы, что даст возможность правильной коррекции дефицита или недостаточности (доза, длительность курсового назначения). Полученные результаты должны внедряться в широкую практику спортивной медицины в качестве составной части общей Национальной программы нутритивно-метаболической поддержки (НМП). В Российской Федерации оценка витамин D-статуса взрослых лиц базируется на клинических рекомендациях «Дефицит витамина D у взрослых. Диагностика, лечение и профилактика», разработанных Российской ассоциацией эндокринологов ФГБУ «Эндокринологический научный центр МЗ РФ» [3] (табл. 2 и 3).

Критерии оценки дефицита витамина D, принятые Министерством здравоохранения РФ, представлены в материале «Клинические рекомендации «Дефицит витамина D у взрослых. Диагностика, лечение и профилактика» [3]. Оценка статуса витамина D должна проводиться путем определения уровня 25(OH)D в сыворотке крови сертифицированным методом; рекомендуется проверка надежности используемого в клинической практике метода оценки 25(OH)D относительно международных стандартов

ТАБЛИЦА 2 – Классификация дефицита, недостаточного и достаточного содержания витамина D (по мнению различных международных профессиональных организаций)

Профессиональная организация	Дефицит витамина D	Недостаточное содержание	Достаточное содержание
Институт медицины США	<12 нг·мл ⁻¹ (<30 нмоль·л ⁻¹)	12–20 нг·мл ⁻¹ (30–50 нмоль·л ⁻¹)	≥20 нг·мл ⁻¹ (≥50 нмоль·л ⁻¹)
Международное эндокринологическое общество	<20 нг·мл ⁻¹ (<50 нмоль·л ⁻¹)	21–29 нг·мл ⁻¹ (51–74 нмоль·л ⁻¹)	≥30 нг·мл ⁻¹ (≥75 нмоль·л ⁻¹)
Федеральная комиссия Швейцарии по питанию	<20 нг·мл ⁻¹ (<50 нмоль·л ⁻¹)	21–29 нг·мл ⁻¹ (51–74 нмоль·л ⁻¹)	≥30 нг·мл ⁻¹ (≥75 нмоль·л ⁻¹)
Испанское общество исследования костей и минерального обмена	<20 нг·мл ⁻¹ (<50 нмоль·л ⁻¹)	21–29 нг·мл ⁻¹ (51–74 нмоль·л ⁻¹)	≥30 нг·мл ⁻¹ (≥75 нмоль·л ⁻¹)
Европейское общество клинических и экономических аспектов остеопороза	<10 нг·мл ⁻¹ (<25 нмоль·л ⁻¹)	<20 нг·мл ⁻¹ (<50 нмоль·л ⁻¹)	20–30 нг·мл ⁻¹ (50–75 нмоль·л ⁻¹)
Национальное общество остеопороза Великобритании	<12 нг·мл ⁻¹ (<30 нмоль·л ⁻¹)	12–20 нг·мл ⁻¹ (30–50 нмоль·л ⁻¹)	>20 нг·мл ⁻¹ (>50 нмоль·л ⁻¹)

ТАБЛИЦА 3 – Интерпретация концентраций 25(OH)D, принимаемая Российской ассоциацией эндокринологов

Классификация	Уровни 25(OH)D в крови		Клинические проявления
	нг·мл ⁻¹	нмоль·л ⁻¹	
Выраженный дефицит витамина D	<10	<25	Повышенный риск рахита, остеомалации, вторичного гиперпаратиреоза, миопатии, падений и переломов
Дефицит витамина D	<20	<50	Повышенный риск потери костной ткани, вторичного гиперпаратиреоза, падений и переломов
Недостаточность витамина D	≥20 и <30	≥50 и <75	Низкий риск потери костной ткани, вторичного гиперпаратиреоза, переломов при падении
Адекватные уровни витамина D	≥30	≥75	Оптимальное подавление паратиреоидного гормона, низкий риск потери костной ткани и переломов
Уровни с возможным проявлением токсичности витамина D	>150	>375	Гиперкальциемия, гиперкальциурия, нефрокальциноз, кальцифилаксия

Примечание. Рекомендуемый референсный интервал для лабораторий составляет 30–100 нг·мл⁻¹ (75–250 нмоль·л⁻¹).

(DEQAS, NIST). При определении уровня 25(OH)D в динамике рационально использование одного и того же метода (табл. 3).

Определение уровня 25(OH)D после применения в лечебных дозах препаратов природного витамина D рекомендуется проводить минимум через три дня с момента последнего приема (уровень доказательности А II). Дефицит витамина D определяется как концентрация 25(OH)D < 20 нг·мл⁻¹ (50 нмоль·л⁻¹); витаминная недостаточность – концентрация 25(OH)D от 20 до 30 нг·мл⁻¹ (от 50 до 75 нмоль·л⁻¹), адекватный уровень – более 30 нг·мл⁻¹ (75 нмоль·л⁻¹). Рекомендуемые (уровень доказательности А I) целевые значения 25(OH)D при коррекции дефицита витамина D следующие: 30–60 нг·мл⁻¹ (75–150 нмоль·л⁻¹) (см. табл. 2).

Метаболизм витамина D в организме. Существуют две природные формы витамина D: эргокальциферол (витамин D₂) и холекальциферол (витамин D₃). Витамин D₂ доступен в ограниченном количестве из растительных источников и в виде некоторых пищевых (диетических) добавок и препаратов, в то время как витамин D₃ поступает с пищей в виде жиров рыбы и молочных продуктов. Однако основным источником витамина D₃, составляющем 90 % всего поступающего количества, является образование его в реакции фотосинтеза в коже при условии достаточного пребывания человека на солнце. Независимо от пути поступления, 99 % витамина D связывается со специфическими белками (витамин-D-связывающий протеин – DBP), в то время как 1 % – с альбумином. Обе формы витамина D подвергаются

гидроксированию сначала в печени (катализируется 25-гидроксилазой до метаболита 25-гидроксивитамин D (25(OH)D), а затем – в почках (катализируется 1-α-гидроксилазой до биологически активной формы витамина D – 1-α-дигидроксивитамин-2D₃ (1-α,25(OH)D) (рис. 1).

Эта последняя форма и взаимодействует с рецепторами витамина D в клетках (VDR), которые локализируются во всех тканях организма, а затем расшифровывается внутри клетки и связывается с витамин-D-ответственными элементами (VDREs), которые располагаются в ДНК. При отсутствии такого взаимодействия VDREs подвергается деградации с образованием неактивной формы.

Фармакодинамика витамина D в организме под влиянием физических нагрузок разной интенсивности. Витамин D у спортсменов и лиц, ведущих активный образ жизни, участвует в значительном количестве метаболических реакций и оказывает многогранное физиологическое действие. Рассмотрим некоторые аспекты влияния этого витамина на организм при физических нагрузках.

Влияние на функцию мышечной ткани и потребление кислорода. 1,25-дигидроксивитамин D оказывает прямое влияние на активность скелетных мышц за счет взаимодействия с витамин-D₃ рецепторами мышечных клеток [11]. Результаты исследования мышечных эффектов витамина D₃ ограничены, к сожалению, данными у здоровых нетренированных лиц [71] или у пациентов с различной патологией [61, 64]. В нескольких обзорах и мета-анализах показано, что воз-

растание в сыворотке концентрации 25(OH)D позитивно влияет на мышечную силу, мощность и массу тела [8, 64, 71, 76], но только данные работы П. Р. Ван Хаста и К. Л. Бека имеют отношение к спортсменам [76].

Рецепторы витамина D представлены в сердечной мышце и ткани сосудов [59], что косвенно свидетельствует о возможном влиянии 1,25-дигидроксивитамин D на максимальное потребление $\dot{V}O_2$ за счет изменения транспорта и утилизации кислорода внутри сосудистого русла в разных тканях. Большинство исследований показали положительную корреляционную связь между $\dot{V}O_{2max}$ и сывороточной концентрацией 25(OH)D у лиц, не имеющих отношения к спорту (табл. 4).

Однако при этом не учитывалось влияние ряда привходящих факторов (другие добавки), например, наличие мультивитаминов и других компонентов в пищевых добавках [5, 32, 53]. Исследования у спортсменов дали разноречивые результаты. Так, в работе Н. Е. Каундауракиса с соавт. [44] выявлена значимая корреляция между уровнем 25(OH)D и уровнем физической готовности у 67 профессиональных игроков в футбол (возраст 25,6±6,2 года). Была отслежена линейная связь между пре- и постсезонными показателями уровня 25(OH)D и мышечной силой, оцениваемой по прыжкам со сгибанием ног (SJ), прыжками в противоход (CMJ), спринту (10 и 20-метровый спринт), а также $\dot{V}O_{2max}$. По результатам исследования, проведенного Дж. Фитджеральдом с соавт., сделан вывод об отсутствии ассоциации между уровнями 25(OH)D и $\dot{V}O_{2max}$ у 52 игроков в хоккей на льду [28].

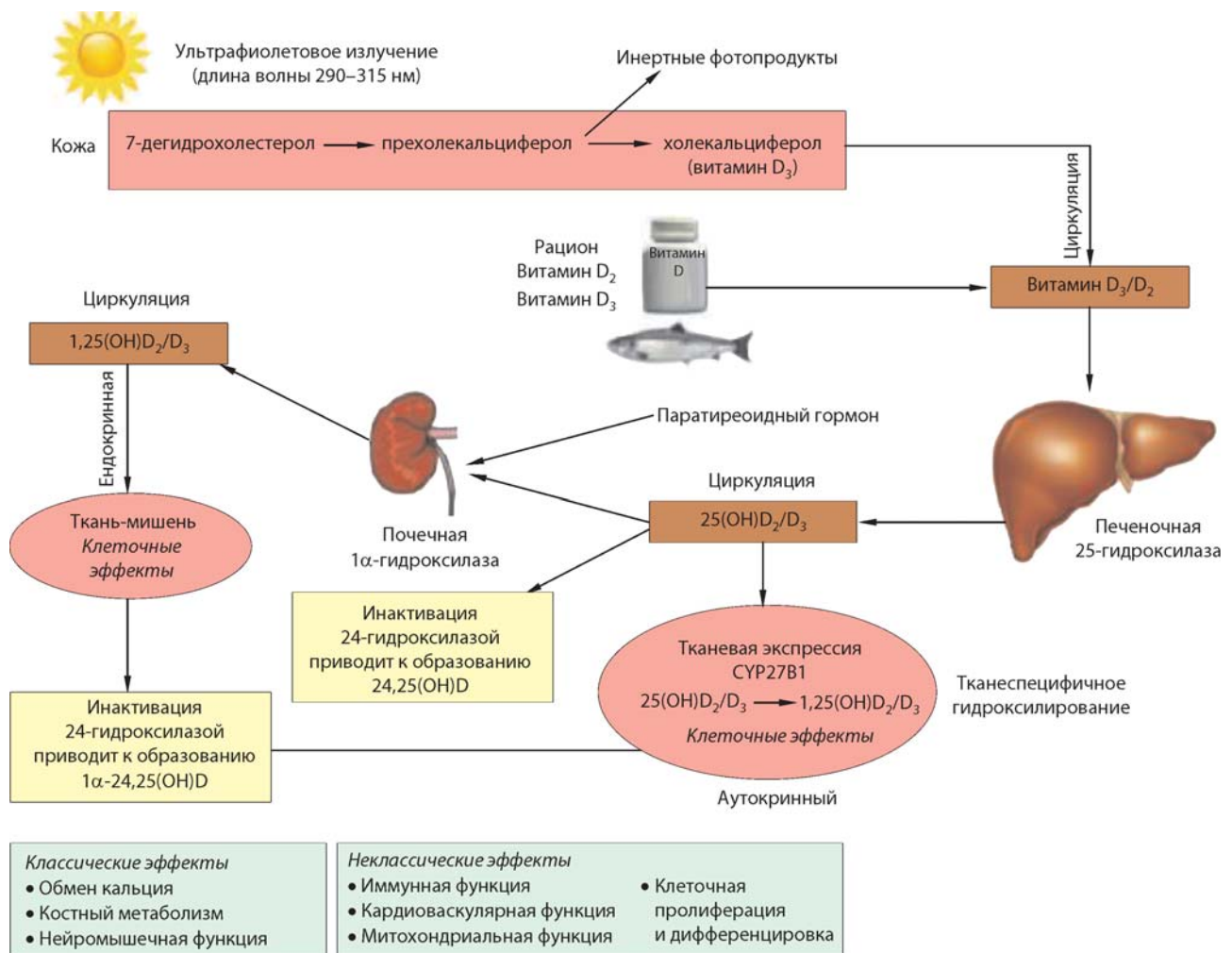


РИСУНОК 1 – Метаболизм витамина D в организме [цит. по: 20]. В кожных покровах под влиянием ультрафиолетового облучения 7-дегидрохолестерол переходит в прехолекальциферол и, далее, в холекальциферол (витамин D₃). С пищей поступают витамины D₂ и D₃, которые затем в печени и почках образуют два основных метаболита 25(OH)D₂/D₃ и 1,25(OH)D₂/D₃

Кроме того, отмечено, что инверсия обычной корреляционной зависимости между сывороточными показателями 25(OH)D и $\dot{V}O_2\max$ увеличивает двигательную активность и тренировочный статус [5]. Л. Форней с соавт. провели исследование взаимосвязи между уровнями сывороточного 25(OH)D, $\dot{V}O_2\max$ и тренировочного статуса у 39 (20 мужчин, 19 женщин) студентов-спортсменов [29]. Установлено, что участники с исходно повышенным ($> 35 \text{ нг}\cdot\text{мл}^{-1}$) уровнем сывороточного 25(OH)D имеют более высокие показатели $\dot{V}O_2\max$ (+20 %) по сравнению с участниками с исходно низкими значениями ($< 35 \text{ нг}\cdot\text{мл}^{-1}$) 25(OH)D; однако такая связь была характерна только для мужчин. К сожалению, интервенционных исследований на эту тему крайне недостаточно, и только в одной работе изучались эффекты пищевых добавок витамина D на изменения $\dot{V}O_2\max$.

В этом одиночном слепом исследовании Э. Ястребски с соавт. [41] изучали влияние добавки витамина D₃ в суточной дозе 6000 МЕ в течение 8-недельного тренировочного мезоцикла у 14 элитных гребцов с исходно удовлетворительным уровнем 25(OH)D ($> 30 \text{ нг}\cdot\text{мл}^{-1}$) и установили возрастание $\dot{V}O_2\max$ (12,1 %) и концентрации 25(OH)D на 400 % ($\sim 120 \text{ нг}\cdot\text{мл}^{-1}$). Это позволило авторам сделать заключение, что добавление витамина D₃ на протяжении восьми недель в динамике тренировочного процесса улучшает аэробный метаболизм у элитных гребцов. В то же время наметившаяся тенденция большей эффективности высоких доз витамина D₃ требует дальнейшей экспериментальной проверки в других спортивных дисциплинах. Специфические механизмы, лежащие в основе положительных изменений, также нуждаются в дополнительном исследова-

нии. Существует гипотеза, что витамин D может опосредованно повышать аффинитет (сродство) гемоглибиновых рецепторов к кислороду [67].

Восстановление. В процессе восстановления метаболит 1,25-дигидроксивитамин D увеличивает миогенную дифференциацию и пролиферацию [30] и подавляет активность миостатина – тормозного регулятора мышечного синтеза [31]. В экспериментах на крысах показано значительное увеличение регенерации скелетной мускулатуры при повреждениях камбаловидной мышцы после применения сверхфизиологических доз ($\sim 100\,000 \text{ МЕ}$) витамина D [66]. Авторы разделили животных на две группы: с потреблением высокой ($332\,000 \text{ МЕ}\cdot\text{кг}^{-1}$) и низкой ($33\,200 \text{ МЕ}\cdot\text{кг}^{-1}$) доз, а затем исследовали время восстановления камбаловидной мышцы. В группе с высокой дозой витамина D отмече-

ТАБЛИЦА 4 – Корреляция уровней метаболитов витамина D в плазме крови [25(OH)D], максимального потребления кислорода ($\dot{V}O_2\max$) и физической подготовленности при физических нагрузках [цит. по: 22]

Источник; популяция	Характеристика группы	Тип исследования	Описание показателей	T _{иссл./нед.}	Результаты
Gregory, 2013; здоровые взрослые	М (n = 213) Ж (n = 104)	Корреляционное	3 группы: < 50 нмоль·л ⁻¹ (n = 16); 50–75 нмоль·л ⁻¹ (n = 57); >75 нмоль·л ⁻¹ (n = 140)	24	Нет взаимосвязи уровней 25(OH)D и показателей в аэробном фитнесе
Mowry, Costello, Heelan 2007; женщины	Ж (n = 59) B = 16–24 $\dot{V}O_2 = 39 \pm 7$	Корреляционное	25(OH)D 46,2 ± 20,2 нг·мл ⁻¹	–	Положительная связь между $\dot{V}O_2$ и 25(OH)D Обратная связь между ЖМТ, $\dot{V}O_2$ и 25(OH)D
Ardestani, 2011; здоровые взрослые	М (n = 92) $\dot{V}O_2 = 40 \pm 9$ Ж (n = 108) $\dot{V}O_2 = 30 \pm 8$ B = 40 ± 14	Корреляционное	25(OH)D 34,0 ± 13,3 нг·мл ⁻¹	–	Положительная связь между $\dot{V}O_2$ и 25(OH)D; чем выше 25(OH)D, тем выше активность
Koundourakis, 2014; спортсмены	М (n = 67) Футбол B = 26 ± 6	Корреляционное	Тесты ФП (приседания, прыжки, 10- и 20-метровый спринт, $\dot{V}O_2$) антропометрия	6	Положительная связь между 25(OH)D и всеми показателями ФП
Fitzgerald, 2014; спортсмены	М (n = 52) Хоккей на льду $\dot{V}O_2 = 55 \pm 4$ B=20±2	Кросс-секционное	Тесты ФП ($\dot{V}O_2$, ЧСС, общее время поддержания ТН)	4	У всех 25(OH)D < 65,0 нг·мл ⁻¹ 37,7 % 25(OH)D < 32 нг·мл ⁻¹ 25(OH)D-статус не влиял на тесты ФП
Forney, 2014; спортсмены	М (n = 20) Ж (n = 19)	Корреляционное	25(OH)D = 21 ± 2 (n = 20) или 44 ± 2 нмоль·л ⁻¹ (n = 19) Тесты ФП (ИМТ, % ЖМТ, УМП, $\dot{V}O_2$, мышечная сила и мощность)	–	Положительная связь между $\dot{V}O_2$ и 25(OH)D Отрицательная связь между ИМТ и 25(OH)D-статусом
Jastrzebski, 2014; спортсмены	М (n = 14) гребля	Интервенционное	D ₃ 6000 МЕ в день спортсменам с 25(OH)D >30 нг·мл ⁻¹	8	Увеличение $\dot{V}O_2$ на 12 % и 25(OH)D на 400 % (~120 нг·мл ⁻¹)

Примечания: М – мужчины; Ж – женщины; 25(OH)D – концентрация метаболитов витамина D в сыворотке крови; B – возраст, лет; T_{иссл.} – время исследования; ЖМТ – жировая масса тела; ФП – физическая подготовленность; ТН – тренировочная нагрузка; УМП – уровень метаболизма в покое.

но значительное ослабление апоптоза клеток через 4 дня после повреждения и возрастание клеточной протеиновой матрицы, которая играет критическую роль в процессе регенерации [48]. Такое улучшение клеточного обмена ведет к ускорению восстановления, повышению способности к тетаническому напряжению (всего на 10 % ниже, чем в неповрежденной конечности) и росту поворотной силы по сравнению с контрольной группой. После интенсивных тренировок прием добавок витамина D улучшает такой показатель восстановления скелетных мышц, как пик изометрической силы. В рандомизированном двойном слепом плацебо-контролируемом исследовании было показано, что пищевые добавки, содержащие витамин D в суточной дозе 4000 МЕ, в течение 35 дней у здоровых взрослых людей со средним уровнем двигательной активности ослабляют уровень воспалительной реакции (оцениваемый по биомаркерам воспаления – аланину и аспартату) в ответ на сложный комбинированный тест физической нагрузки (10 сетов по 10 повторов,

пик изометрического напряжения при выполнении эксцентрическо-концентрических прыжков сразу после нагрузки) [7]. Хотя пик мощности снижался сразу после тренировки как в контрольной, так и в основной группах, в группе спортсменов, принимавших витамин D, снижение составило только 6 %, в то время как в плацебо-группе – 32 % (табл. 5).

В таблице 6 приведены данные относительно взаимосвязи дозировок витамина D с различными физическими качествами.

Влияние на силу и мощность. В 2013 г. Д. Оган и К. Притчетт было показано, что витамин D увеличивает силу и мощность скелетной мышечной ткани, возможно, за счет повышения чувствительности (сенситизации) мест связывания кальция в саркоплазматическом ретикулуме, что приводит к усилению мышечного сокращения [55]. Получены также доказательства, что витамин D увеличивает размер и количество мышечных волокон II типа [16, 61, 69, 70]. В рандомизированном плацебо-контролируемом исследовании у футболистов получены данные об увеличении силы и мощ-

ности [18]: продолжительная 8-недельная интервенция витамина D₃ в дозе 5000 МЕ в день приводит не только к повышению концентрации 25(OH)D в сыворотке крови, но и к параллельному улучшению показателей 10-метрового спринта и вертикальных прыжков. Однако не во всех исследованиях получены положительные результаты, и в основном отсутствие положительных сдвигов касалось спортсменов с исходно незначительным уровнем дефицита витамина D или отсутствием дефицита [19, 28, 29]. Таким образом, основанием для пищевых интервенций витамина D₃ у спортсменов является установленное наличие его дефицита в организме.

Дефицит витамина D у представителей разных видов спорта. Во многих странах регулярно проводятся эпидемиологические исследования спортсменов высшего и среднего дивизионов на предмет выявления дефицита или недостаточности витамина D для последующей их коррекции. Уже упоминавшиеся американские авторы Д. Оган и К. Притчетт [55] в своей обзорной

ТАБЛИЦА 5 – Витамин D *in vitro*, *in vivo* и интервенционные исследования по восстановлению [цит. по: 22]

Источник; популяция	Субъект/ образец	Тип исследования	Интервенция	T _{иссл.} , дни	Результаты
García, 2013; человек <i>ex vivo</i>	Миобласты	<i>in vitro</i>	Миобласты C2C12 под воздействием 100 нМ 1,25-D ₃	1, 4 и 10	↑ Миогенная дифференциация и пролиферация
García, 2011; человек <i>ex vivo</i>	Миобласты	<i>in vitro</i>	Миобласты C2C12 под воздействием 100 нМ 1,25-D ₃	1, 3, 4, 7 и 10	↓ Тормозящая функция миостатина
Stratos, 2013; экспериментальные животные	Крысы-самцы (n=56)	<i>in vivo</i>	ВДГ и НДГ: регенерация камбаловидной мышцы	42	ВДГ и НДГ: ↓ Апоптоз ↑ Клеточная протеиновая матрица ↑ Сила, улучшение восстановления
Barker, 2013; мужчины	30-минутный тренинг 3 нед. (n=14)	Рандомизированное двойное слепое плацебо-контролируемое исследование	Прыжковый тест на изометрическую силу; 4000 МЕ D ₃ или плацебо	28	Витамин D и плацебо: ↓ ALT и AST, меньшее снижение пика мощности

Примечания: T_{иссл.} – время исследования; ВДГ – группа с высокой дозой витамина D (332 000 МЕ·кг⁻¹); НДГ – группа с низкой дозой витамина D (32 200 МЕ·кг⁻¹).

ТАБЛИЦА 6 – Корреляция содержания витамина D с изменением силы и мощности [цит. по: 22]

Источник; популяция	Субъект/ образец	Тип исследования	Интервенция	T _{иссл.}	Результаты
Ceglia, 2013; лица пожилого возраста	Женщины с ограничением подвижности (n = 21) 25(OH)D = 60–225 нмоль·л ⁻¹	Рандомизированное двойное слепое плацебо-контролируемое исследование	4000 МЕ в день витамина D и плацебо	4 мес.	↑ количества интрамионкулеарных VDR на 30 %, размера MB – на 10 % у пожилых лиц с ограниченной подвижностью, у женщин с дефицитом
Close, 2013; спортсмены	Профессиональные футболисты-мужчины (n = 10)	РКИ корреляция +интервенционное	5000 МЕ в день витамина D и плацебо	8 нед.	↑25(OH)D ↑Высота вертикальных прыжков, ускорение в спринте
Close, 2013; спортсмены	Спортсмены клубного уровня (n = 30)	РКИ +интервенционное	3 группы (плацебо, 20 000 МЕ/нед. и 40 000 МЕ/нед. приема D ₃) Тесты ФП (жим руками и ногами, вертикальные прыжки)	12 нед.	Обе дозы D ₃ : ↑25(OH)D > 50 нмоль·л ⁻¹ без изменения ФП
Fitzgerald, 2014; спортсмены	Хоккеисты на льду 20,1 ± 1,5 года (n = 52) (V̇O _{2max} 54,6 ± 4,3)	Кросс-секционное	Тесты ФП (пик V̇O ₂ , ЧСС _{max} , Peak RER), ОБТ	1 мес.	Нет связи между 25(OH)D и параметрами ФП
Forney, 2014; студенты-спортсмены	Мужчины (n = 20) и женщины (n = 19)	Корреляционное	25(OH)D 21 ± 2 нг·мл ⁻¹ (n=20) или 44 ± 2 нг·мл ⁻¹ (n=19) Тесты ФП (ИМТ, % ЖМТ, УМП, V̇O _{2max} , мышечная сила и мощность)	14 дней	Значительная положительная связь между 25(OH)D и V̇O _{2max} Отрицательная связь между 25(OH)D и ИМТ

Примечания: T_{иссл.} – время исследования; РКИ – рандомизированное контролируемое исследование; ФП – физическая подготовленность; V̇O_{2max} – максимальное потребление кислорода (мл·кг⁻¹·мин⁻¹); ЧСС_{max} – максимальная частота сердечных сокращений; Peak RER – дыхательный коэффициент на пике нагрузки; ОБТ – общее время тренировки; ИМТ – индекс массы тела; ЖМТ – жировая масса тела; УМП – уровень метаболизма в покое; MB – мышечные волокна.

работе провели ряд сопоставлений и обоснования роли таких факторов, как сезонность, возраст, пол, близость к экватору, время дня, доступность солнечного излучения и др. в развитии дефицита витамина D у спортсменов. В течение летних месяцев ультрафиоле-

товое излучение может быть достаточным для синтеза витамина D в коже [38], однако в зимнее время синтез витамина D этим путем практически прекращается. В силу этого и возникает дефицит или недостаточность витамина D в организме. Даже спортсмены,

тренирующиеся на открытом воздухе постоянно, не получают достаточной экспозиции солнечного света и имеют соответственно дефицит витамина D. За последние годы выполнен ряд работ по оценке недостаточности витамина D в организме спортсменов

ТАБЛИЦА 7 – Превалирование дефицита (< 20 нг-мл⁻¹) и недостаточности (< 32 нг-мл⁻¹) витамина D у представителей разных видов спорта разных стран [цит. по: 55]

Страна, вид спорта	Условия тренировки	Пол	Статус витамина D	Источник
Военные рекруты, Финляндия	З/О	М	Д 39 %	Valmaki, 2004
Профессиональные атлеты (регби, футбол, конный спорт), Великобритания	З/О	М	Д 62 %	Close, 2013a
Профессиональные атлеты (регби, американский футбол), Великобритания	З/О	М	Д 57 %, НД 32 %	Close, 2013b
Спортсмены, Ближний Восток	З/О	М	Д 58 %	Hamilton, 2009
Гимнасты, Австралия	З	Ж	НД 33 %	Lovell, 2008
Спортсмены, Израиль	З	МЖ	НД 73 %	Constantini, 2010
Спортсмены, США	З/О	МЖ	НД 12 %	Halliday, 2010
Легкоатлеты (бег), США	О	МЖ	Д 11 %, НД 42 %	Willis, 2008
Спортсмены (регби, американский футбол, гонки по пересеченной местности, бег), США	З/О	М	НД 25 %	Storlie, 2011

Примечания: М – мужчины; Ж – женщины; З – в зале; О – на открытом воздухе; З/О – комбинированное пребывание в зале и на открытом воздухе; Д – дефицит витамина D; НД – недостаточность витамина D.

(табл. 7). Исследования Дж. Л. Клоуза с соавт. [19] показали наличие недостаточности витамина D у большинства спортсменов Великобритании, специализирующихся в разных видах спорта (рис. 2, см. табл. 7).

В 2009 г. Б. Хамилтон с соавт. установили, что 90 % спортсменов из стран Ближнего Востока в период сезона «апрель–октябрь» имеют дефицит витамина D [34]. Несмотря на то что они тренировались в условиях избытка солнца на улице, постоянное нахождение в помещении привело к недостатку синтеза витамина D в коже. В другом исследовании, проведенном в Израиле, выявлен

дефицит витамина D у 73 % спортсменов независимо от их специализации [21].

В Австралии наибольший процент дефицита витамина D выявлен у женщин (83 %) [47]. Что интересно, на менее «комфортной широте» (Laramie, WYN 41.3°), недостаточность витамина D наблюдалась в 63 % случаев в течение зимних месяцев, и резко снижалась (до 12 %) с наступлением весны. Важно, что даже у атлетов, постоянно тренирующихся на открытом воздухе в регионах с достаточно высокой солнечной активностью, в 25–30 % случаев отмечается недостаточность витамина D в течение зимнего периода [65]. Эти авторы показали, что 1000 МЕ витамина D в сутки недостаточно для предотвращения сезонного падения статуса этого витамина у спортсменов.

Подробный анализ витамин-D-статуса польских элитных спортсменов в рамках реализации Национальной программы подготовки спортсменов сделан в работе Дж. Крживански с соавт. [45]. Целью работы была сезонная оценка уровня метаболитов витамина D в сыворотке крови у элитных польских спортсменов в зависимости от экспозиции на солнце и приема пищевых добавок. Концентрацию 25(OH)D регистрировали в период 2010–2014 гг. у 409 спортсменов, которые были разделены на группы: OUTD – виды спорта вне спортивных залов (на открытых площадках) без достаточной экспозиции на солнце; IND – тяжелоатлеты, гандболисты и волейболисты, тренировавшиеся в залах; SUN – виды спорта вне спортивных залов в условиях высокой

экспозиции на солнце; SUPL – спортсмены, тренирующиеся вне спортивных залов, имеющие неадекватный уровень 25(OH)D (< 30 нг-мл⁻¹) и принимающие пероральные добавки витамина D.

Неадекватный уровень витамина D отмечен у 80 % спортсменов в группе OUTD и 84 % – в группе IND в зимнее время, в то время как эти же показатели летом составили 42 и 83 % соответственно. Спортсмены, которые тренировались зимой на солнце, имели существенно более высокие показатели 25(OH)D в крови, чем в группе OUTD. При этом прием препаратов витамина D повышал исходные концентрации 25(OH)D на 45 %, в то время как солнечная экспозиция – на 85 %. В летнее время паттерн дефицита витамина D у всех групп спортсменов был схож с паттерном дефицита этого витамина у популяции обычных нетренированных людей. Наиболее серьезный дефицит отмечен у спортсменов, тренирующихся в залах. Целевая ликвидация дефицита может быть достигнута сочетанием дополнительной солнечной экспозиции и приема добавок витамина D. Спортивные врачи и тренеры должны обеспечивать рутинный доступ к этим процедурам и препаратам на постоянной основе, учитывать при составлении плана тренировок и специализированных рационов и схем фармакологического обеспечения. Суммарные данные польских исследований представлены на рисунке 3 и в таблице 8, данные которых указывают на наличие дефицита витамина D, наблюдаемого у спортсменов, проживающих в этой климатической зоне, во все времена года, исключая летний период.

Подробный анализ витамин-D-статуса ирландских элитных спортсменов в рамках реализации Национальной программы подготовки спортсменов сделан в работе Дж. Тодда с соавт., поскольку дефицит витамина D широко распространен в Ирландии [70]. Первичный анализ был выполнен еще в 2010–2011 гг., а затем дополнен более поздними данными. Образцы крови (n = 92) получены у игроков в крикет (n = 28), боксеров (n = 21) и женщин-регбисток (n = 43) в период ноября 2013 – апреля 2015 г. Оценивали концентрацию 25(OH)D, паратиреоидного гормона и кальция. Спортсмены также заполняли специальный опросник об образе жизни и использовании пищевых добавок. Удовлетворительный статус по витамину D (25(OH)D > 50 нмоль-л⁻¹) был обнаружен у 86 % ат-

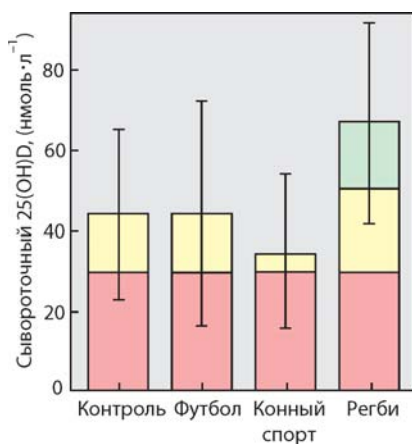


РИСУНОК 2 – Концентрация 25(OH)D в сыворотке крови у спортсменов Великобритании, специализирующихся в разных видах спорта (футбол, конный спорт, регби), и ее соответствие текущим рекомендациям: розовая зона – дефицит (< 30 нмоль-л⁻¹), бежевая зона – недостаточность (< 50 нмоль-л⁻¹), салатная зона – удовлетворительный (достаточный) уровень (> 50 нмоль-л⁻¹) [цит. по: 19].

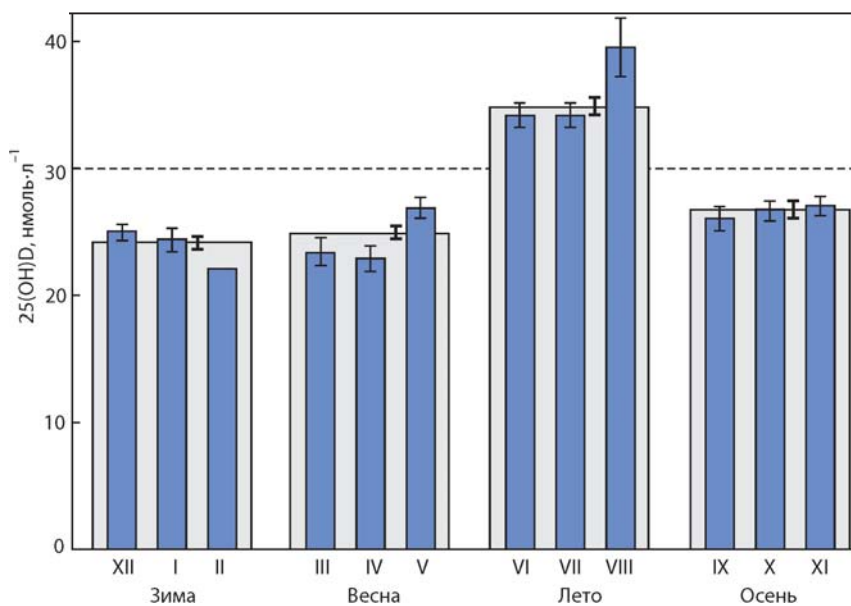


РИСУНОК 3 – Динамика изменений концентрации метаболитов витамина D [25(OH)D] в плазме крови у польских элитных спортсменов во всей группе (n = 409) по месяцам в течение года [цит. по: 45]

летов. Недостаточность (31–49 нмоль·л⁻¹) и дефицит (< 30 нмоль·л⁻¹) витамина D отмечены только у 12 и 2 % спортсменов соответственно. Эта тенденция касалась всех спортивных дисциплин, при этом 25 % спортсменов сообщили о постоянном приеме препаратов витамина D. Кроме того, многие атлеты проводили отпуск в южных странах (47 %) и периодически принимали специальные солнечные ванны (16 %), однако анализ не подтвердил связь этих мероприятий с уровнем витамина D в организме. Очень важно, что, если в 2010–2011 гг. во всей популяции спортсменов дефицит/недостаточность витамина D составляли 55 %, то в 2013–2015 гг. этот показатель снизился до 14 %. Таким образом, внедрение в Ирландии целевой программы по ликвидации дефицита витамина D у спортсменов путем регулярного приема препаратов витамина D дало прекрасные результаты [70].

В 2015 г. Ф. Фаррохайер с соавт. выполнили еще один систематический обзор и мета-анализ дефицита и недостаточности витамина D у спортсменов [27]. Проведен глобальный поиск основных баз данных по направлениям: «витамин D», «дефицит витамина D», «сывороточный 25-гидроксивитамин D [25(OH)D] у спортсменов» и др. Основным критерием был сывороточный 25(OH)D. Для анализа было отобрано 23 исследования суммарно у 2313 спортсменов (средний возраст обследованных 22,5 года,

среди них – 76 % мужчин). Среди всех спортсменов в среднем 56 % (от 44 до 67 %) имели неудовлетворительный (неадекватный) уровень витамина D, который значительно варьировал в зависимости от географической локализации (p < 0,001). Частота встречаемости недостаточности витамина D была выше в Великобритании и на Ближнем Востоке. Зимой и весной этот показатель возрастал. Также он был выше у спортсменов, занимающихся в залах и в смешанных видах спорта. В семи работах исследованы спортсмены с травмами костно-мышечной системы (n = 359, 43 %). Основные выводы этого мета-анализа следующие: высокий уровень дефицита витамина D у спортсменов разных стран (56 %), усиливающийся в зимнее и раннее весеннее время; преобладание дефицита у спортсменов, тренирующихся в залах; примерно одинаковый паттерн дефицита у травмированных и нетравмированных спортсменов; не вызывает сомнения

необходимость регулярного курсового назначения препаратов и добавок витамина D; связь между превалированием дефицита витамина D и частотой возникновения травм не установлена, что требует дополнительного изучения [27].

Что касается Российской Федерации, то удивительно, но в этой стране спортсмены даже не включены в группы риска развития дефицита витамина D в соответствии с рекомендациями [3]. Почему-то считается, что эти «здоровые спортсмены» по определению не могут иметь дефицита каких-либо нутриентов. Однако высокие физические и психологические нагрузки автоматически вводят атлетов в группу риска, что мы видим по результатам обследования спортсменов в других странах (относительная недостаточность как несоответствие поступления и потребности). Нет и масштабных доказательных работ, что обусловлено многими объективными и субъективными причинами. Если ориентироваться на данные популяций обычных людей, то при обследовании жителей Санкт-Петербурга и Петрозаводска выявлена высокая частота дефицита витамина D [2]. Установлено, что, согласно критериям Международного общества эндокринологов, принятым в 2011 г., нормальный уровень обеспеченности витамином D имели лишь 16,8 % жителей северо-западного региона РФ, в то время как недостаток витамина D встречался у 37,5 %, а его дефицит – у 45,7 %. При пересмотре результатов с использованием критериев, предложенных Институтом медицины США (2011 г.) [60], нормальные значения 25(OH)D в сыворотке крови были выявлены у 49,6 %, снижение его уровня в рамках недостатка – у 40,0 % и дефицита – у 10,4 %. Было установлено, что снижение уровня витамина D не зависело от возраста обследованных и чаще встречалось у женщин и лиц с избыточной массой тела. Некоторая определенность в отношении тренированных мужчин

ТАБЛИЦА 8 – Сезонные колебания уровней 25(OH)D у элитных польских спортсменов, тренировавшихся в залах (IND) и вне залов (OUTD)

Группа	Зима	Весна	Лето	Осень
OUTD, в т.ч.:	25 ± 1 нг·мл ⁻¹	26 ± 1 нг·мл ⁻¹	3 ± 1 нг·мл ⁻¹	28 ± 1 нг·мл ⁻¹
дефицит, %	20,7	17,2	2,5	21,4
недостаточность, %	59,2	59,8	28,6	45,2
IND, в т.ч.:	22 ± 1 нг·мл ⁻¹	24 ± 1 нг·мл ⁻¹	27 ± 1 нг·мл ⁻¹	25 ± 1 нг·мл ⁻¹
дефицит, %	42,7	38,2	5,7	22,4
недостаточность, %	41,7	39,4	51,4	57,2

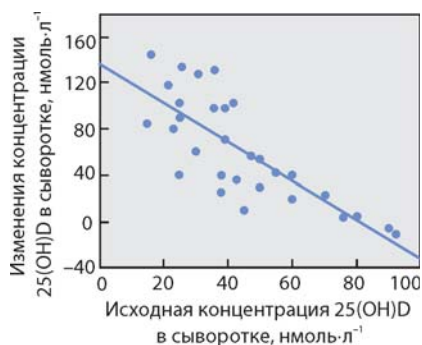


РИСУНОК 4 – Взаимосвязь между исходными значениями концентрации 25(OH)D в сыворотке крови спортсменов и величиной изменений этой концентрации в ответ на дополнительное экзогенное введение витамина D₃; пероральные дозы витамина D₃ составляли 2000 и 10 000 МЕ в сутки [цит. по: 19]

в РФ получена лишь в работе Л. Б. Дрыгиной с соавт. [1]. Авторы сделали заключение о необходимости обратить внимание на наличие гиповитаминоза D у лиц, занятых тяжелым физическим трудом с высоким вкладом психоэмоционального компонента. Полученные данные подтверждают ассоциативную связь низкого уровня витамина D с развитием остеопороза среди мужчин молодого возраста, а также указывают на необходимость контроля и коррекции статуса витамина D, особенно в зимний период, и могут быть использованы для прогнозирования развития патологии костной ткани, включая патологию твердых тканей зубов, и подбора комплекса лечебно-профилактических мероприятий. При обследовании у студентов изучен статус витамина D и выявлено, что удовлетворительный уровень 25(OH)D в сыворотке крови имеют всего 6,4 % обследованных лиц (мужчины и женщины) в возрасте от 18 до 27 лет. При этом недостаточность поступления в организм витамина D и кальция наблюдается примерно в 88–92 % случаев [4].

Влияние дефицита витамина D на физическую подготовленность спортсменов. Одной констатации факта дефицита или недостаточности витамина D в организме спортсменов мало для подтверждения постулата об отрицательном влиянии этой недостаточности на физическую форму атлетов. Необходимо установить связь между дефицитом (недостаточностью) витамина D и снижением показателей, характеризующих физическую форму. Первые оригинальные статьи в этом направлении датированы началом XX в., но количество текущих работ

весьма ограничено. Убедительные данные о положительном влиянии ультрафиолетового облучения на физическую форму спортсменов и снижении хронических болевых синдромов у атлетов первыми сообщили исследователи из Германии [15]. Ультрафиолетовое облучение, повышающее уровень метаболитов витамина D в организме, улучшало показатели двигательной активности, мышечную силу, выполнение упражнений кардиофитнеса. Национальный олимпийский комитет Германии озвучил официальную позицию, что эффекты влияния солнечного света на физиологические функции спортсменов, опосредованные витамином D, могут быть расценены как эргогенные. Подтверждением этой концепции является тот факт, что пик спортивных достижений многих спортсменов приходится на время года, когда уровень витамина D в организме максимальный (лето). К сожалению, имеется весьма ограниченное количество экспериментальных исследований, доказывающих прямую связь между уровнем витамина D и физической формой. В то же время получены убедительные доказательства отрицательного влияния дефицита витамина D на время реакции, водно-солевой обмен, состояние костно-мышечной ткани и др. [14].

Из имеющихся современных исследований, прямо свидетельствующих о преимуществах высокого базового уровня витамина D в плазме крови на показатели работоспособности, можно отметить исследование Л. Форнея [29], в котором приведены данные относительно корреляции высокого уровня 25(OH)D с увеличением $\dot{V}O_{2max}$ во время аэробной физической нагрузки у студентов, регулярно занимающихся спортом ($n = 39$, мужчины). Остальные, достаточно многочисленные работы, касаются использования пищевых добавок витамина D в спорте, и рассматриваются в другом разделе данного обзора.

Потенциальные эргогенные эффекты витамина D в спортивной практике. Перед тем, как обсуждать механизмы и пути улучшения витамин-D-статуса спортсменов, влияние на физическую форму и восстановление после физических нагрузок (важнейшие показатели эргогенного эффекта препаратов и биологически активных добавок), необходимо понимать разницу между дозировками в международных единицах (МЕ – IU) и нанограммах (ng): 100 МЕ = 2,5 нг вита-

мина D₂/D₃ [20]. В случае ошибки дозы могут получиться либо экстремально большими, либо маленькими и неэффективными. Следующее соображение касается соотношения эффективности D₂ и D₃: витамин D₃ примерно на 87 % более эффективен в поддержании уровня 25(OH)D в плазме крови и продуцирует в 2–3 раза больший запас витамина D в организме, чем эквимолярное количество витамина D₂. Еще один важнейший фактор – исходные (базовые) значения уровня 25(OH)D в сыворотке крови у спортсменов. Как показали исследования, исходные значения этого показателя во многом определяют ответ на экзогенное введение пищевых добавок и препаратов витамина D (рис. 4).

Отмечена обратная корреляционная зависимость между исходным уровнем 25(OH)D в сыворотке крови и эффектом экзогенного введения витамина D. При исходно высоких (удовлетворительных) значениях витамина D в плазме (в диапазоне 80–100 нмоль·л⁻¹) его дополнительное применение (с пищевыми продуктами) не вызывает практически никакого эффекта. Наоборот, при исходно низких (дефицит, недостаточность) значениях 25(OH)D в сыворотке, эффект дополнительного приема витамина D очень существенный.

Таким образом, при назначении добавок или препаратов витамина D необходимо принять во внимание и выполнить ряд условий, чтобы обеспечить максимальную эффективность: во-первых, исходные концентрации общего циркулирующего 25(OH)D должны быть измерены; во-вторых, измерение должно быть точным с использованием валидированного метода, желательно LC-MS/MS; в-третьих, назначаемые перорально пищевые добавки витамина D должны быть индивидуально адаптированы к полученным исходным показателям, а именно: при концентрации < 75 нмоль·л⁻¹ назначается доза 5000 МЕ для достижения значения показателя более 75 нмоль·л⁻¹. Если у спортсмена имеется выраженный дефицит (< 30 нмоль·л⁻¹) и, особенно, глубокий дефицит (< 12,5 нмоль·л⁻¹), необходимо назначить дозу витамина D 10 000 МЕ в день на протяжении не менее четырех недель, с дальнейшим переходом на дозу 5000 МЕ в день; в-четвертых, в течение всего года (особенно в зимний период) следует регулярно брать образцы крови спортсменов для контроля уровня 25(OH)D и оценки эффективности лечения; в-пятых, в течение летнего

периода целесообразно дополнительное солнечное облучение (до минимальной эритемы) ежедневно в пределах 30 мин.

В работе английских авторов Дж. Л. Клоуса с соавт. [18] у 30 спортсменов исследовано влияние добавок витамина D (20 000–40 000 МЕ в неделю в течение 12 нед.) на показатели функционального состояния мышц (1 ПМ жим лежа, жим ногами и высота вертикальных прыжков). Спортсмены были рандомизированы в три группы: плацебо, прием витамина D в дозе 20 000 МЕ в неделю и 40 000 МЕ в неделю в течение 12 нед. Показатели состояния мышц и уровень 25(OH)D в плазме крови тестировались через 6 и 12 нед. исследования, поскольку оказалось, что 6 нед. приема добавок витамина D достаточно для коррекции дефицита витамина в крови, но недостаточно для достижения оптимального его уровня по международным стандартам ($> 40 \text{ нг}\cdot\text{мл}^{-1}$). В данном исследовании имелся один, но существенный, недостаток – пищевые добавки, содержащие витамин D, использовались без учета исходных (базовых) концентраций витамина D в крови спортсменов и в разные сезоны при недостаточной выборке, а, как видно из информации, приведенной в обзоре выше, это имеет чрезвычайно важное значение.

Простое усреднение исходных показателей может исказить картину. Высокие уровни циркулирующего 25(OH)D необходимы для появления физиологического ответа внутри скелетных мышц, при этом сами мышцы нуждаются в более высокой концентрации витамина D по сравнению с другими тканями [18]. Авторы предложили применение более высоких доз витамина D у спортсменов, имеющих исходный дефицит витамина в плазме крови (а не всех подряд), для того, чтобы целевым образом достичь концентрации в плазме 25(OH)D выше $40 \text{ нг}\cdot\text{мл}^{-1}$, и увеличив выборку ($n = 61$ спортсмен, $n = 31$ здоровый контрольный субъект), с помощью пищевых добавок витамина D₃ достигли целевого уровня 25(OH)D. Как результат, была сформирована схема применения витамина D₃: 5000 МЕ в день в течение 8 нед., что существенно повышает физическую готовность. Такой режим применения пищевых добавок, содержащих витамин D, достоверно увеличивает уровень 25(OH)D с $11,62 \pm 10,02$ до $41,27 \pm 10,02 \text{ нг}\cdot\text{мл}^{-1}$, в то время как в плацебо-группе изменений не отмечается. Параллельно в группе с добавками витамина

D статистически значимо ($p = 0,008$) улучшаются показатели в тестах 10-метрового спринта и вертикальных прыжков, но без изменений в жиме лежа и жиме ногами. Такие данные поддерживают гипотезу, что повышение уровня 25(OH)D в плазме крови выше $40 \text{ нг}\cdot\text{мл}^{-1}$ у спортсменов с исходно низкими уровнями этого показателя может генерировать хороший мышечный ответ и улучшать анаэробную физическую готовность. К сожалению, до настоящего времени нет сопоставимых по качеству исследований влияния пищевых добавок витамина D на аэробную активность и выносливость спортсменов. Тем не менее на основании полученных данных можно сделать основной вывод: необходимо в течение зимнего сезона (а в северных районах – осенне-зимнего) поддерживать концентрацию метаболитов витамина D в крови на уровне $40 \text{ нг}\cdot\text{мл}^{-1}$. Этот целевой для спортсменов уровень обеспечивает сохранение запаса витамина D в мышцах и жировой ткани для дальнейшего использования.

В отдельных видах спорта установлено влияние 1,25-дигидроксивитамина D на $\dot{V}O_2\text{max}$ за счет изменения транспорта и утилизации кислорода внутри сосудистого русла в разных тканях. Показана положительная корреляционная связь между $\dot{V}O_2\text{max}$ и сывороточной концентрацией 25(OH)D. Н. Е. Каундуракис с соавт. [44] выявили значимую корреляцию между концентрациями 25(OH)D в крови и уровнем физической подготовленности у профессиональных игроков в футбол. В работе Л. Форнея с соавт. [29] установлено, что у спортсменов-любителей (студенческий спорт) с исходно высоким ($> 35 \text{ нг}\cdot\text{мл}^{-1}$) уровнем сывороточного 25(OH)D имеются более высокие показатели $\dot{V}O_2\text{max}$ (+20 %) по сравнению с участниками с исходно низким уровнем ($< 35 \text{ нг}\cdot\text{мл}^{-1}$) 25(OH)D. Была отслежена линейная связь между пре- и постсезонными показателями уровня 25(OH)D и мышечной силой, оцениваемой по прыжкам со сгибанием ног, прыжкам в противоход и спринту, а также $\dot{V}O_2\text{max}$. У элитных гребцов [41] выявлено возрастание $\dot{V}O_2\text{max}$ (12,1 %) и концентраций 25(OH)D на 400 % ($\sim 120 \text{ нг}\cdot\text{мл}^{-1}$) под влиянием добавок витамина D. Это позволило авторам сделать заключение, что добавки витамина D₃ на протяжении 8 нед. в рамках тренировочного периода улучшают аэробный метаболизм у элитных гребцов. С другой стороны, Дж. Фитджеральд с соавт. не нашли ассоциации между уровнями 25(OH)D и $\dot{V}O_2\text{max}$

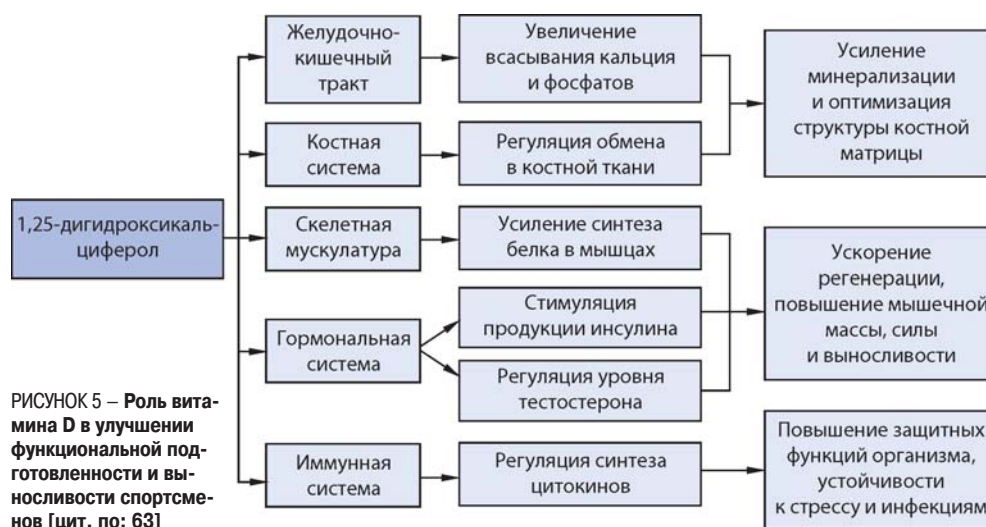
у хоккеистов [28]. Таким образом, можно полагать, что эргогенный эффект витамина D может носить видоспецифичный характер.

Практически однозначные результаты получены для добавок витамина D в плане ускорения восстановительных процессов. Так, прием витамина D в суточной дозе 4000 МЕ в течение 35 дней у лиц со средним уровнем физической готовности ослабляет выраженность воспалительной реакции (оцениваемый по биомаркерам воспаления) в ответ на сложные комбинированные тесты физической нагрузки и ускоряет процесс восстановления.

Д. Т. Дахлкюст с соавт. в 2015 г. опубликовали обзор «Правдоподобные эргогенные эффекты витамина D в отношении физической готовности и восстановления спортсменов» [22]. В 2016 г. был выполнен очень важный мета-анализ, целью которого был систематический обзор литературы по исследованию эффектов добавок витамина D на мышечную силу спортсменов [17]. В ходе проведения этого мета-анализа компьютерный поиск производился по трем базам данных (PubMed, Medline и Scopus). В обзор были включены рандомизированные контролируемые исследования, опубликованные на английском языке, в которых измерялись концентрации витамина D и мышечная сила у здоровых тренированных лиц в возрасте от 18 до 45 лет. Было идентифицировано пять рандомизированных контролируемых исследований (их качество оценено как «превосходное») и одно контролируемое исследование (качество оценено как «хорошее»). Продолжительность исследований составляла от 4 нед. до 6 мес., а дозы витамина D варьировали в диапазоне от 600 до 5000 МЕ в день. Витамин D₂ оказался неэффективен в отношении мышечной силы во всех исследованиях, где он использовался. Наоборот, витамин D₃ оказывал достоверное и существенное позитивное влияние на мышечную силу ($p < 0,05$); в разных работах показанное улучшение мышечной силы составило от 1,37 до 18,75 % [17].

Схематически эргогенную роль витамина D в организме спортсменов можно представить на основе обобщения его биохимических механизмов (рис. 5).

В то же время несмотря на большое количество исследований роли витамина D в спортивной подготовке, остается не меньшее число «белых пятен». Прежде всего,



мало изучен такой эргогенный компонент, как влияние витамина D на выносливость. Требуют детализации возрастной аспект, сезонность дозирования в разных группах тренирующихся лиц, интенсивность репаративных процессов при травмах.

В литературе до настоящего времени недостаточно работ по изучению влияния витамина D в разных дозах и при разных схемах назначения на увеличение мощности и мышечной силы. Практически не изучено влияние пищевых добавок витамина D на когнитивные функции спортсменов, хотя ряд исследователей включает препараты витамина D в общую классификацию средств, улучшающих мозговую деятельность.

Взаимосвязь витамина D и тестостерона. Тестостерон – эндогенный гормон андрогенного характера, играющий важную роль в адаптации скелетной мускулатуры в процессе физических тренировок. Исходно низкий уровень тестостерона у молодых мужчин обуславливает замедление прироста мышечной силы и мощности, торможение анаболических процессов (синтез белка) и β -окисления, приводит к увеличению жировой массы [50]. Соответственно, атлеты нуждаются в легальном недопинговом поддержании адекватных нагрузкам уровней тестостерона в организме за счет разрешенных веществ (как природные андрогенные анаболические стероиды, так и их аналоги входят в Запрещенный список WADA в спорте фармакологических субстанций). Клинический анализ в старших возрастных группах показал корреляцию уровней 25(OH)D и андрогенов у мужчин [78]. Низкий уровень

тестостерона (гипогонадизм) идентифицирован у 18 % мужчин старшей возрастной группы; он коррелировал с низкими значениями 25(OH)D. Только у 11,4 % участников этой группы отмечен удовлетворительный уровень витамина D. Крупное интервенционное 12-центровое двойное слепое рандомизированное контролируемое исследование у мужчин, проведенное на протяжении 30 дней, показало, что прием витамина D в дозе 3332 МЕ в день повышает содержание циркулирующего 25-гидроксивитамина D, общего тестостерона, биоактивного тестостерона и свободного тестостерона [57]. Эти данные свидетельствуют, что целенаправленное повышение уровней 25(OH)D может стимулировать продукцию организмом тестостерона у мужчин, т.е. препараты и пищевые добавки на основе витамина D₃ обладают эргогенным потенциалом, опосредованным усилением продукции тестостерона. Результаты ряда выполненных исследований показывают, что потенциальными специфическими механизмами таких эффектов витамина D в отношении тестостерона могут быть: угнетение ароматизации тестостерона и повышение связывания андрогенов [12, 13, 43]. В результате повышается концентрация стероидных гормонов, увеличиваются гипертрофия мышц, сила и мощность движений [37, 73].

В этом плане большой интерес представляет исследование Л. М. Уенца с соавт. по изучению при физических и психоэмоциональных нагрузках уровней витамина D и тестостерона, а также их корреляционных связей [80]. Основанием для выполнения

этой работы послужили ранее проведенные исследования [72, 79]. Ретроспективный анализ архивных образцов сыворотки крови 990 человек выявил дефицит 25(OH)D < 25 нг·мл⁻¹ у 35 % обследованных. Целью работы [80] была проверка гипотезы о том, что низкий статус витамина D ограничивает синтез тестостерона у мужчин. При этом была установлена тенденция снижения уровня тестостерона у мужчин по мере снижения уровней 25(OH)D, но, с точки зрения статистики, эта тенденция находится на грани достоверности. С возрастом снижается и содержание тестостерона в крови. Математический анализ (распределение показателей по квинтилям соответственно концентрации 25(OH)D в сыворотке крови) показывает, что лица с наименьшей концентрацией 25(OH)D имеют также и самую низкую концентрацию тестостерона. Но в целом, если не дифференцировать испытуемых на группы, такая корреляция существует, но довольно слабая. Авторы исследования делают заключение, что, во-первых, низкая концентрация 25(OH)D в сыворотке крови линейно коррелирует с низким уровнем тестостерона, что указывает на дефицит витамина D как фактора, снижающего синтез этого гормона и потенциально ухудшающего физическую подготовленность; во-вторых, индекс массы тела и возраст – два других, не менее важных, чем витамин D, фактора, влияющих на уровень тестостерона, которые необходимо учитывать при составлении общей схемы нутритивно-метаболической поддержки лиц с высоким уровнем физической и психоэмоциональной нагрузки (антивозрастная

терапия, изменение структуры тела – повышение тощей массы тела и снижение жировой массы тела). Схематически участие витамина D в синтезе стероидных гормонов в организме представлено на рисунке 6.

Прием витамина D в суточной дозе 3300–3500 МЕ повышает содержание циркулирующего 25-гидроксивитамина D, общего, биоактивного и свободного тестостерона [57]. Эти данные свидетельствуют о том, что целенаправленное повышение уровня 25(OH)D может стимулировать продукцию организмом тестостерона у мужчин, т.е. препараты и добавки витамина D₃ обладают эргогенным потенциалом, который опосредуется усилением продукции тестостерона. В результате повышается концентрация эндогенных стероидных гормонов, увеличивается гипертрофия мышц, а также улучшаются такие физические качества, как сила и мощность.

Использование витамина D в спортивной медицине. В соответствии с рекомендациями государственной Программы правительства Австралии по пищевым добавкам в спорте, разработанной в 2014 г. в отношении витамина D на основе положений, предложенных Австралийским институтом спорта (AIS) [6], этот витамин играет важную роль в фосфорно-кальциевом обмене (состояние костной системы), экспрессии генов и клеточном росте. Локализация рецепторов витамина D в большинстве тканей организма указывает на его универсальную роль в обменных процессах. С точки зрения спортивной медицины важна его регулирующая функция в скелетных мышцах. Принципиальным источником циркулирующего в организме витамина D является ультрафиолетовое излучение солнечного света. В

2010 г. Институт медицины Австралии опубликовал новые нормы потребления витамина D: от 600 до 4000 МЕ в день. Дефицит витамина D может приводить к серьезным нарушениям функций организма, включая увеличение риска повреждений костей, возникновение хронических мышечных болей, острых респираторных вирусных инфекций. Имеются весоые доказательства, что пищевые добавки витамина D, сопровождающиеся повышением его концентрации в организме, улучшают физическую готовность спортсменов, особенно физическую силу, мощность, быстроту реакции и сбалансированность движений. Научные исследования показывают недостаточный уровень витамина D у спортсменов [15, 47, 81, 82]. Категории спортсменов в Австралии, имеющих риск возникновения дефицита витамина D, включают лиц с низким уровнем пребывания на открытом воздухе (тренировки в зале) или на солнце (тренировки рано утром или поздно вечером); имеющих темный цвет кожи; живущих на широте выше 35° к северу или югу от экватора; носящих одежду, закрывающую большую часть или все тело; постоянно использующих солнцезащитные кремы или избегающих пребывания на солнце; лиц с ограниченными возможностями (паралимпийцы, лишенные конечностей); спортсмены с синдромом мальабсорбции, наследственными заболеваниями костной системы или дефицитом витамина D.

Данные государственной программы правительства Австралии в отношении применения витамина D в практике спортивной подготовки указывают, что, хотя основным источником его возникновения в организме

спортсменов является достаточная инсоляция, небольшие количества витамина D поступают с пищей (рыбьим жиром, яичными желтками, функциональными продуктами питания с повышенным содержанием витамина D). Однако даже рационально спланированное питание может обеспечить только 40–150 МЕ витамина D на порцию пищи, что не покрывает суточные потребности при интенсивных физических нагрузках и может обуславливать повышение риска различных заболеваний и патологических состояний в организме спортсменов.

Исходя из этого, спортсменам, имеющим по результатам анализа крови уровень 25(OH)-витамина D < 75 нмоль·л⁻¹ (32 нг·мл⁻¹), необходимы пищевые добавки витамина D. Исходя из данных [39], спортсмены относятся к категории лиц, которым рекомендованы предельные значения суточных доз витамина D с точки зрения Национального института медицины США; при этом Американское общество эндокринологов допускает и более высокие значения этого показателя (до 10 000 МЕ в день), что используется профессиональными спортсменами при больших тренировочных нагрузках.

При наличии дефицита витамина D препаратом выбора для лечения является холекальциферол (D₃), который обладает сравнительно большей эффективностью в достижении и сохранении целевых значений 25(OH)D в сыворотке крови. Лечение дефицита витамина D (уровень 25(OH)D в сыворотке крови < 20 нг·мл⁻¹) у взрослых рекомендуется начинать с суммарной насыщающей дозы холекальциферола 400 тыс. МЕ с использованием одной из предлагаемых схем,

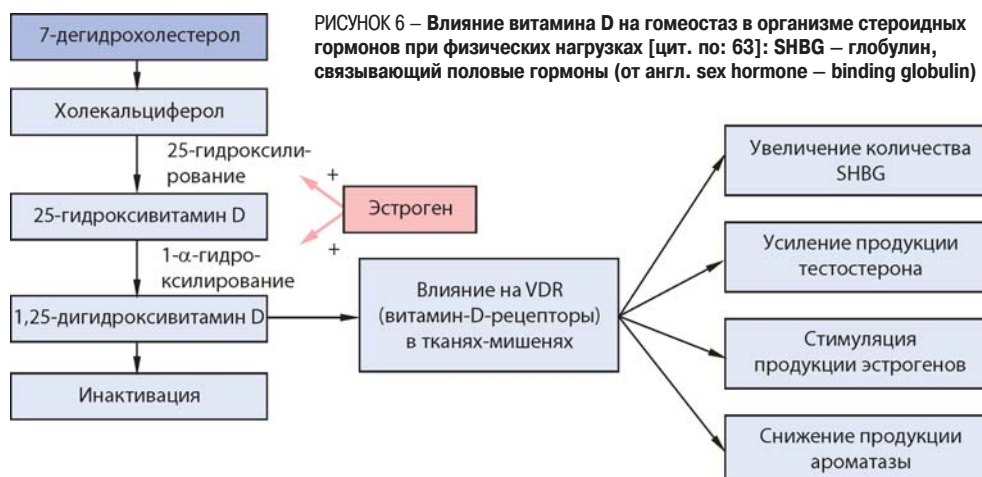


ТАБЛИЦА 9 – Схемы лечения дефицита и недостаточности витамина D (согласно рекомендациям МЗ Российской Федерации)

Доза	Пример схемы лечения
<i>Коррекция дефицита витамина D (при уровне 25(OH)D менее 20 нг·мл⁻¹)</i>	
50 000 МЕ еженедельно в течение 8 нед. внутрь	Вигантол: 100 капель в неделю <i>или</i> по 50 капель 2 раза в неделю Аквадетрим: 100 капель в неделю <i>или</i> по 50 капель 2 раза в неделю
200 000 МЕ ежемесячно в течение 2 мес. внутрь	Вигантол: 10 мл (1 флакон) внутрь 1 раз в месяц – 2 мес.
150 000 МЕ ежемесячно в течение 3 мес. внутрь	Аквадетрим: 10 мл (1 флакон) внутрь 1 раз в месяц – 3 мес.
7000 МЕ в день – 8 нед. внутрь	Вигантол: 14 капель в день – 8 нед. Аквадетрим: 14 капель в день – 8 нед.
<i>Коррекция недостатка витамина D (при уровне 25(OH)D 20–29 нг·мл⁻¹)</i>	
50 000 МЕ еженедельно в течение 4 нед. внутрь	Вигантол: 100 капель в неделю <i>или</i> по 50 капель 2 раза в неделю Аквадетрим: 100 капель в неделю <i>или</i> по 50 капель 2 раза в неделю
200 000 МЕ однократно внутрь	Вигантол: 10 мл (1 флакон) внутрь
150 000 МЕ однократно внутрь	Аквадетрим: 10 мл (1 флакон) внутрь
7000 МЕ в день – 4 нед. внутрь	Вигантол: 14 капель в день – 4 нед. Аквадетрим: 14 капель в день – 4 нед.
<i>Поддержание уровней витамина D > 30 нг·мл⁻¹</i>	
1000–2000 МЕ ежедневно внутрь	Вигантол/Аквадетрим 2–4 капли в сутки
6000–14 000 МЕ однократно в неделю внутрь	Вигантол/Аквадетрим 15–30 капель однократно в неделю

Примечание. Объем капель и, таким образом, доза препарата, содержащегося в одной капле, зависят от многих факторов (характер растворителя (водный или масляные раствор), температура раствора, тип пипетки/встроенной капельницы, колебаний пузырька при отмеривании дозы и др.); ранее в инструкции к препарату Вигантол указывалась доза 667 МЕ холекальциферола в одной капле масляного раствора препарата.

с дальнейшим переходом на поддерживающие дозы. Коррекцию недостаточности витамина D (уровень 25(OH)D в сыворотке крови 20–29 нг·мл⁻¹) у спортсменов из групп риска костной патологии (признаки остеопении) [51] рекомендуется проводить с использованием половинной суммарной насыщающей дозы холекальциферола, равной 200 тыс. МЕ, с дальнейшим переходом на поддерживающие дозы (табл. 9). При этом спортсменам рекомендуется адекватное возрасту потребление кальция с пищей. При недостаточном потреблении кальция с продуктами питания необходимо применение добавок кальция для обеспечения суточной потребности в этом элементе.

Что касается применения витамина D в составе программ нутритивно-метаболической поддержки спортсменов, то в качестве примера можно привести схемы его применения у элитных представителей разных видов спорта (табл. 10).

Как можно заключить из данных таблицы 10, курсовой профилактический прием

препаратов витамина D₃ проводится (и должен проводиться) во всех ведущих спортивных командах.

В зависимости от материально-технической оснащенности медицинских отделов команд режим приема варьирует от избирательного (при дефиците и недостаточности витамина D) – при возможности определения 25(OH)D в сыворотке крови, до тотального назначения всем спортсменам. Курсы сроком 8–14 нед. проводятся либо только в зимний и ранний весенний периоды, либо 4 раза в год. Целевой показатель такого приема – достижение концентрации 25(OH)D на уровне 75–120 нмоль·л⁻¹.

Помимо этих исследований в Великобритании, большинство других работ фокусировались на вопросе о дефиците витамина D в организме спортсменов, но не на влиянии этого витамина на физическую подготовленность. Тем не менее они заложили фундамент для будущих направлений исследований пищевых добавок витамина D. Наиболее важными предпосылками

следует считать обнаружение негативной роли дефицита витамина D в развитии воспаления (увеличение маркеров воспаления) при физических нагрузках на выносливость [82], что является прямым указанием на необходимость изучения пищевых добавок витамина D как потенциальных противовоспалительных средств в спорте. Дополнительно М. З. Разави с соавт. [58] обнаружили, что витамин D при аэробных физических нагрузках улучшает переносимость тренировок у пациентов-астматиков, что может служить основой для дальнейшего изучения у спортсменов с астмой физического напряжения (лыжников, велосипедистов, конькобежцев и некоторых других категорий атлетов). С тех же позиций режим применения витамина D₃ в дозе 5000 МЕ в день в течение 8 нед. более эффективный со всех точек зрения, потенциально может редуцировать риск возникновения стрессовых переломов и других повреждений опорно-двигательного аппарата [46, 74, 75]. Исследования, выполненные в последующий период, подтвердили правомерность выбранного направления дальнейшего изучения пищевых добавок витамина D [66, 69].

Для эффективного применения различных готовых форм витамина D необходимо знать характеристики всасывания в кишечнике, распределения по органам и тканям, депонирования и выделения вещества из организма. Для ликвидации дефицита витамина D в клинической медицине существуют два метода (схемы) перорального назначения препаратов холекальциферола (нативного, т.е. природного, витамина D₃): однократное (раз в месяц) применение большой дозы (от 100 тыс. МЕ и выше); ежедневное применение рекомендованных большинством медицинских организаций суточных доз в диапазоне 4000–10 000 МЕ. При однократном приеме внутрь стандартных доз витамина D максимальная концентрация в сыворотке крови наблюдается в среднем через 12 ч после приема, и возвращается к исходному уровню через 72 ч. На фоне длительного применения этих препаратов (особенно в больших дозах) их выведение из циркуляции значительно замедляется и может достигать нескольких месяцев. В рандомизированном исследовании М. Е. Микенон с соавт. [52] на протяжении 28 дней сравнивали значения концентрации сывороточного 25(OH)D в двух группах: при однократном приеме 150 000 МЕ холекальциферола (I группа) и

ТАБЛИЦА 10 – Примеры включения препаратов витамина D в официальные Протоколы и схемы нутритивно-метаболической поддержки ведущих спортивных команд

Спортивная сборная	Рекомендации, схема дозирования	Документ, источник литературы
ФК «Барселона» (Испания)	<ul style="list-style-type: none"> • 5000 МЕ в день, курс 6 нед. до достижения концентрации 25(ОН)D в крови >100 нмоль·л⁻¹ • 40 000 МЕ в неделю 8 нед. до достижения концентрации 25(ОН)D в крови >100 нмоль·л⁻¹ • При более низком значении 25(ОН)D – дозирование индивидуально согласно Протоколу 	FC Barcelona Sports Nutrition Guide 2014–2016 Med. Depart.
ФК «Арсенал» (Англия)	<ul style="list-style-type: none"> • 40 000 МЕ в неделю 8 нед. до достижения концентрации 25(ОН)D в крови >100 нмоль·л⁻¹ • При более низком значении 25(ОН)D – дозирование индивидуально согласно Протоколу 	FC Arsenal Sports Nutrition Guide 2016 Med. Depart.
ФК, высшая лига (Брюссель, Бельгия)	<ul style="list-style-type: none"> • 40 000 МЕ в неделю 8 нед. до достижения концентрации 25(ОН)D в крови > 75 нмоль·л⁻¹ • При более низком значении 25(ОН)D – дозирование индивидуально согласно Протоколу 	Slagmolen et al., 2014 [62]
ФК, высшая лига (Амстердам, Голландия)	<ul style="list-style-type: none"> • 40 000 МЕ в неделю 8 нед. до достижения концентрации 25(ОН)D в крови >75 нмоль·л⁻¹ • При более низком значении 25(ОН)D – дозирование индивидуально согласно Протоколу 	Там же
Сборная по плаванию (Loughborough University, Великобритания)	Курс в зимний период всем спортсменам по 5000 МЕ в день в течение 14 нед.	He Ch-S et al. [35]
Сборная по триатлону (Loughborough University, Великобритания)	Курс в зимний период всем спортсменам по 5000 МЕ в день в течение 14 нед.	Там же
Сборная по велосипедному спорту (Loughborough University, Великобритания)	Курс в зимний период всем спортсменам по 5000 МЕ в день в течение 14 нед.	»

ежедневном приеме 5000 МЕ холекальциферола (II группа) в течение всего периода наблюдения. Как видно из представленных данных, ежедневное назначение рекомендованных суточных доз 5000 МЕ дает более ровное, контролируемое повышение концентрации метаболитов витамина D в сыворотке крови, чем однократное применение высокой дозы. В клиническом плане это наиболее эффективно для достижения требуемых концентраций витамина D в организме.

На практике необходимо принять во внимание и выполнить ряд условий при назначении добавок или препаратов витамина D, чтобы обеспечить максимальную эффективность:

- исходные концентрации общего циркулирующего 25(ОН)D должны быть измерены с использованием валидированных методов, желательны LC-MS/MS (см. выше);
- назначаемые перорально препараты или пищевые добавки витамина D должны быть индивидуально адаптированы к полученным исходным показателям, а именно: при концентрации < 75 нмоль·л⁻¹ назначается доза 5000 МЕ для увеличения показателя > 75 нмоль·л⁻¹. Если у спорт-

смена имеется выраженный дефицит (< 30 нмоль·л⁻¹) и, особенно, глубокий дефицит (< 12,5 нмоль·л⁻¹), необходимо назначить дозу витамина D 10 000 МЕ в день на протяжении не менее 4 нед. с дальнейшим переходом на дозу 5000 МЕ в день;

- в течение всего года (особенно в зимний период) необходимо регулярно брать образцы крови спортсменов для контроля уровня 25(ОН)D и оценки эффективности лечения;

- в течение летнего периода целесообразно дополнительное солнечное облучение (до минимальной эритемы) ежедневно в пределах 30 мин.

В целом в общеклинической практике и спортивной медицине, в частности, стандартным вариантом курсового применения препаратов витамина D является их сочетание с соединениями кальция [84]. Австралийский институт спорта (AIS) еще в 2011 г. сформулировал следующую позицию в отношении препаратов (пищевых добавок) кальция [6]. В частности, в отсутствие специальных указаний для спортсменов, рекомендуется применять нормы, принятые для общей популяции, в том числе для спортсменов обоего пола в возрасте от

14 до 18 лет суточная доза кальция должна составлять 1300 мг, а после 19 и до 30 лет – 1000 мг. Поскольку потребности в кальции растут с возрастом у детей и подростков, неадекватное поступление кальция в этой возрастной группе может приводить к ухудшению функционального состояния костной ткани, возникновению дисбаланса между органической и неорганической составными частями костей к 25–30 годам, вплоть до развития остеопороза [83]. Недостаточное поступление энергии и/или повышенная потребность в ней непосредственно нарушают баланс между разрушением старой и образованием новой костной ткани. У женщин-спортсменок нарушаются менструальный цикл и гормональный баланс, что, в свою очередь, вносит негативный аспект в обмен кальция. Увеличение поступления кальция нормализует этот процесс (рекомендуемая доза кальция при этом составляет 1500 мг в день), но только этой меры недостаточно для полного восстановления костной ткани.

Некоторые категории спортсменов имеют риск субоптимального поступления кальция и недостаточности костной матрицы, а именно:

- при недостаточном поступлении энергии или неадекватном потреблении молочных продуктов или усиленных соевых продуктов;

- с нарушенным кальциевым балансом при мальабсорбции (нарушение всасывания кальция в тонком кишечнике при таких заболеваниях, как целиакия и хронические воспалительные заболевания кишечника);

- женщины-спортсменки с нарушениями менструального цикла (вторичная аменорея, менопауза и др.).

Научные исследования не дают однозначного ответа на вопрос, как связаны уровень поступления кальция в организм и устойчивость костной системы к повреждающим воздействиям интенсивных физических тренировок. Ряд проспективных исследований у женщин-спортсменок показал, что усиленное потребление кальция (> 1500 мг в день) увеличивает минерализацию костей и снижает инциденты стрессовых переломов [63]. В частности, показано, что острая потеря кальция вместе с потом при интенсивных физических нагрузках (циклические виды спорта) увеличивает уровни активного паратиреоидного гормона как компенсаторная реакция организма, направленная на поддержание концентрации кальция в плазме крови (усиливается его вымывание из костной матрицы). При этом превентивное потребление соединений кальция снижает компенсаторную реакцию, защищая, тем самым, костную систему.

Чаще всего в спортивной медицине используется кальция карбонат, хотя для клинического применения доступны и такие соли кальция, как цитрат, фосфат и глюконат. Карбонат кальция хорошо переносится и хорошо всасывается в желудочно-кишечном тракте в дозах ниже 500 мг. При использовании больших суточных доз (выше 500–600 мг в день) используют разделение суточной дозы на две-три порции. Высокие дозы кальция в пищевых добавках составляют 500–1000 мг на разовый прием. Имеются также фармакопейные комбинированные формы кальция с витамином D (кальций D₃-Никомед и др.).

Применение у спортсменов препаратов кальция, особенно в сочетании с витамином D, не должно быть хаотичным. Его следует проводить под наблюдением спортивного врача и в составе общей программы нутритивно-метаболической поддержки с учетом других назначаемых добавок и препаратов. При этом необходим регулярный (желательно не реже одного раза в месяц) биохимический и клинический контроль состояния кальциевого обмена и уровня витамина D [68, 74].

Сами по себе пищевые добавки и препараты на основе кальция не гарантируют успеха без нормализации гормонального статуса и функции желудочно-кишечного тракта, обеспечения достаточного поступления энергии, макро- и микронутриентов и согласования с тренировочной программой. Спортсмены с нарушениями функции желудочно-кишечного тракта и несбалансированными рационами требуют предварительной коррекции пищевого статуса с участием диетолога или нутрициолога.

Очень часто возникают дискуссии о целесообразности совместного применения витаминов D и K для улучшения физической формы спортсменов и лиц, ведущих активный образ жизни. Для этого имеются серьезные научные и клинические основания. Так, витамин K работает синергично с витамином D и соединениями кальция в регуляции обмена костной ткани [42]. Более того, токсичность витамина D проявляется только в отсутствие достаточных запасов витамина K [49]. Рекомендованные дозы витамина K составляют от 50 до 1000 мкг [10]. Существуют три типа витамина K: K₁ (филлоквинон), который поступает из растений; K₂ (менаквинон), продуцируемый кишечной флорой и K₃ – синтетического происхождения, являющийся, в отличие от двух предыдущих форм, водорастворимым [56]. Наиболее распространенной формой в диете человека является витамин K₁, а наибольшей биодоступностью обладает витамин K₂ из различных видов рыб, мяса, молочных продуктов, ферментированного сыра и др. Обе формы витамина K играют

разную роль в организме [26], но международные рекомендации даны в отношении изоформы K₁ – 90 мкг в день для женщин и 120 мкг в день для мужчин. С другой стороны, наиболее эффективен на сегодняшний день в регуляции обмена в костной ткани один из структурных вариантов витамина K₂ – МК-4 [33, 40], однако это требует дальнейших исследований, поэтому не входит в официальные рекомендации по спортивной нутрициологии.

Заключение. Таким образом, не вызывает сомнения, что в спортивной медицине витамин D является важнейшим фактором защиты от физического стресса и веществом, нормализующим функцию костной системы в состоянии мышечного покоя и при физических нагрузках (категория доказательности «А»). Несмотря на некоторые отличия в результатах, большинство исследователей рекомендуют поддержание уровней метаболитов витамина D 25(OH)D в плазме крови > 40 нг·мл⁻¹. В результате исследований последнего десятилетия получены доказательства участия витамина D не только в росте и поддержании функционального состояния костной ткани, но и регуляции электролитного обмена, синтеза протеинов, экспрессии генов и регуляции иммунной функции [15, 36]. Такой широкий спектр активности особенно важен у спортсменов, особенно высокой квалификации. Препараты витамина D в сочетании с другими макро-, микро- и фармаконутриентами входят не только в индивидуальные программы нутритивно-метаболической поддержки отдельных спортсменов, но и в структуру рационов клубных и сборных команд во всем мире. Более того, в некоторых странах, где проблеме нутритивно-метаболической поддержки спортсменов придается особенное значение, регулярный контроль дефицита и недостаточности витамина D, применение пищевых добавок этого витамина оформлены в виде отдельной национальной программы как составная часть общей программы нутритивно-метаболической поддержки для использования ее в практике подготовки спортсменов и спортивной медицине.

■ Литература

1. Дрыгина Л. Б. Статус витамина D при формировании остеопороза у пожарных МЧС России / Л. Б. Дрыгина, Н. А. Дорофейчик-Дрыгина, О. В. Прохорова // Мед.-биол. и со-

■ References

1. Drygina LB, Dorofeychik-Drygina NA, Prokhorova OV. Vitamin D status in the formation of bone deficit in firefighters of Emergencies Ministry of Russia. Medico-Biolo-

- циально-психол. пробл. безопасности в чрезвычайных ситуациях. – 2013. – № 3. – С. 5–9.
2. Каронова Т. Л. Распространенность дефицита витамина D в Северо-Западном регионе РФ среди жителей г. Санкт-Петербурга и г. Петрозаводска / Т. Л. Каронова, Е. Н. Гринева, И. Л. Никитина [и др.] // Остеопороз и остеопатии. – 2013. – № 3. – С. 3–7.
 3. Клинические рекомендации «Дефицит витамина D у взрослых. Диагностика, лечение и профилактика». Российская ассоциация эндокринологов ФГБУ «Эндокринологический научный центр МЗ РФ». – М., 2015.
 4. Маркова Т. Н. Распространенность дефицита витамина D и факторов риска остеопороза у лиц молодого возраста / Т. Н. Маркова, Д. С. Марков, Т. Н. Маркелова [и др.] // Вест. Чуваш. ун-та. – 2012. – № 3. – С. 441–446.
 5. Ardestani A. Relation of vitamin D level to maximal oxygen uptake in adults // A. Ardestani, B. Parker, S. Mathur [et al.] // Am. J. Cardiol. – 2011. – Vol. 107. – P. 1246–1249.
 6. Australian Sports Institute an Initiative of AIS Sports Nutrition. «Calcium Supplement» [Электронный ресурс]. URL: http://www.ausport.gov.au/__data/assets/pdf_file/0009/656289/CORP_33413_SSF_Calcium_Supplement_FS.pdf
 7. Barker T. Supplemental vitamin D enhances the recovery in peak isometric force shortly after intense exercise / T. Barker, E. D. Schneider, B. M. Dixon [et al.] // Nutr. Metab. (Lond). – 2013. – Vol. 10. – P. 69.
 8. Beaudart C. The effects of vitamin D on skeletal muscle strength, muscle mass and muscle power: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials / C. Beaudart, F. Buckinx, V. Rabenda [et al.] // J. Clin. Endocrinol. Metab. – 2014. – Vol. 99. – P. 4336–4345.
 9. Bendik I. Vitamin D: a critical and essential micronutrient for human health / I. Bendik, A. Friedel, F. F. Roos [et al.] // Front Physiol. – 2014. – Vol. 5. – P. 248.
 10. Binkley N. C. A high phyloquinone intake is required to achieve maximal osteocalcin γ -carboxylation // N. C. Binkley, D. C. Krueger, T. N. Kawahara [et al.] // Am. J. Clin. Nutr. – 2002. – Vol. 76. – P. 1055–1060.
 11. Bischoff H. In situ detection of 1,25-dihydroxyvitamin D₃ receptor in human skeletal muscle tissue / H. Bischoff, M. Borchers, F. Gudat [et al.] // Histochem J. – 2001. – Vol. 33. – P. 19–24.
 12. Blomberg J. M. Vitamin D receptor and vitamin D metabolizing enzymes are expressed in the human male reproductive tract / J. M. Blomberg, J. E. Nielsen, A. Jørgensen [et al.] // Hum. Reprod. – 2010. – Vol. 25. – P. 1303–1311.
 13. Blomberg J. M. Non-genomic effects of vitamin D in human spermatozoa / J. M. Blomberg, S. Dissing // Steroids. – 2012. – Vol. 77. – P. 903–909.
 14. Campbell P. M. F. Muscle strength and vitamin D in older people / P. M. F. Campbell, T. J. Allain // Gerontology. – 2006. – Vol. 52. – P. 335–338.
 15. Cannell J. J. Athletic performance and vitamin D / J. J. Cannell, B. W. Hollis, M. B. Sorenson [et al.] // Med. Sci. Sports Exerc. – 2009. – Vol. 41, N 5. – P. 1102–1110.
 16. Ceglia L. A randomized study on the effect of vitamin D3 supplementation on skeletal muscle morphology and vitamin D receptor concentration in older women / L. Ceglia, S. Niramitmahapanya, M. M. da Silva [et al.] // J. Clin. Endocrinol. Metab. – 2013. – Vol. 98. – P. E1927–E1935.
 17. Chiang C. M. Effects of Vitamin D Supplementation on Muscle Strength in Athletes A Systematic Review / C. M. Chiang, A. Ismaeel, R. B. Griffiths, S. Weems, J. Strength // Cond. Res. – 2016. – Jun 28.
 18. Close G. L. The effects of vitamin D3 supplementation on serum total 25(OH) D concentration and physical performance: a randomised dose-response study / G. L. Close, J. Leckey, M. Patterson [et al.] // Br. J. Sports Med. – 2013a. – Vol. 47. – P. 692–696.
 19. Close G. L. 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 / G. L. Close, J. Russell, J. N. Copley [et al.] // J. Sports Sci. – 2013b. – Vol. 31. – P. 344–353.
 20. Close G. L. Vitamin D Measurement and supplementation: what, when, why and how? Research Institute for Sports and Exercise Sciences (Liverpool John Moores University, United Kingdom), Sports Science Exchange – 2015. – Vol. 28, 147. – 1–4.
 21. Constantini N. W. High prevalence of vitamin D insufficiency in athletes and dancers / N. W. Constantini, R. Arieli, G. Chodick, G. Dubnov-Raz // Clin. J. Sport Med. – 2010. – Vol. 20. – P. 368–371.
 22. Dahlquist D. T. Plausible ergogenic effects of vitamin D on athletic performance and recovery / D. T. Dahlquist, B. P. Dieter, M. S. Koehle // J. Intern. Soc. Sports Nutrition – 2015. – Vol. 12. – P. 33–45.
 23. Karonova TL, Grineva EN, Nikitina IL, et al. The prevalence of vitamin D deficiency in the Northwest region of the Russian Federation among the residents of St. Petersburg and Petrozavodsk. Osteoporoz i osteopatii. 2013;3:3–7.
 24. Clinical recommendations «Vitamin D deficiency in adults. Diagnosis, treatment and prevention». Russian Association of endocrinologists, FSBI «Endocrinology Research Center of Ministry of Healthcare of the Russian Federation». Moscow; 2015.
 25. Markova TN, Markov DS, Markelova TN, et al. The prevalence of vitamin D deficiency and risk factors for osteoporosis in young age people. Vestnik Chuvashskogo Universiteta. 2012;3:441–446.
 26. Ardestani A, Parker B, Mathur S, Clarkson P, Pescatello L, Hoffman H et al. Relation of Vitamin D Level to Maximal Oxygen Uptake in Adults. The American Journal of Cardiology. 2011;107(8):1246–1249.
 27. Australian Sports Institute an Initiative of AIS Sports Nutrition. «Calcium Supplement» [Internet]. Available from: http://www.ausport.gov.au/__data/assets/pdf_file/0009/656289/CORP_33413_SSF_Calcium_Supplement_FS.pdf
 28. Barker T, Schneider E, Dixon B, Henriksen V, Weaver L. Supplemental vitamin D enhances the recovery in peak isometric force shortly after intense exercise. Nutrition & Metabolism. 2013;10(1):69.
 29. Beaudart C, Buckinx F, Rabenda V, Gillain S, Cavalier E, Slomian J et al. The Effects of Vitamin D on Skeletal Muscle Strength, Muscle Mass, and Muscle Power: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism. 2014;99(11):4336–4345.
 30. Bendik I, Friedel A, Roos F, Weber P, Eggersdorfer M. Vitamin D: a critical and essential micronutrient for human health. Frontiers in Physiology. 2014;5.
 31. Binkley NC, Krueger DC, Kawahara TN et al. A high phyloquinone intake is required to achieve maximal osteocalcin γ -carboxylation. Am. J. Clin. Nutr. 2002;76:1055–1060.
 32. Bischoff H, Borchers M, Gudat F et al. In situ detection of 1,25-dihydroxyvitamin D3 receptor in human skeletal muscle tissue. Histochem J. 2001;33:19–24.
 33. Blomberg JM, Nielsen JE, Jørgensen A et al. Vitamin D receptor and vitamin D metabolizing enzymes are expressed in the human male reproductive tract. Hum. Reprod. 2010;25:1303–1311.
 34. Blomberg Jensen M, Dissing S. Non-genomic effects of vitamin D in human spermatozoa. Steroids. 2012;77(10):903–909.
 35. Campbell P, Allain T. Muscle Strength and Vitamin D in Older People. Gerontology. 2006;52(6):335–338.
 36. Cannell JJ, Hollis BW, Sorenson MB et al. Athletic performance and vitamin D. Med. Sci. Sports Exerc. 2009;41(5):1102–1110.
 37. Ceglia L, Niramitmahapanya S, da Silva Morais M, Rivas D, Harris S, Bischoff-Ferrari H et al. A Randomized Study on the Effect of Vitamin D3 Supplementation on Skeletal Muscle Morphology and Vitamin D Receptor Concentration in Older Women. The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism. 2013;98(12):E1927–E1935.
 38. Chiang C, Ismaeel A, Griffiths R, Weems S. Effects of Vitamin D Supplementation on Muscle Strength in Athletes A Systematic Review. Journal of Strength and Conditioning Research. 2016;1.
 39. Close GL, Leckey J, Patterson M et al. The effects of vitamin D₃ supplementation on serum total 25(OH) D concentration and physical performance: a randomised dose-response study. Br. J. Sports Med. 2013a;47:692–696.
 40. Close G, Russell J, Copley J, Owens D, Wilson G, Gregson W et al. 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. Journal of Sports Sciences. 2013;31(4):344–353.
 41. Close GL. Vitamin D Measurement and supplementation: what, when, why and how?. Proceedings of the Sports Science Exchange of the Research Institute for Sports and Exercise Sciences; 2015; Liverpool. Liverpool, United Kingdom: Liverpool John Moores University; 2015;28(147):1–4.
 42. Constantini N, Arieli R, Chodick G, Dubnov-Raz G. High Prevalence of Vitamin D Insufficiency in Athletes and Dancers. Clinical Journal of Sport Medicine. 2010;20(5):368–371.
 43. Dahlquist D, Dieter B, Koehle M. Plausible ergogenic effects of vitamin D on athletic performance and recovery. Journal of the International Society of Sports Nutrition. 2015;12(1).

23. De Jong N. Functional biochemical and nutrient indices in frail elderly people are partly affected by dietary supplements but not by exercise / N. de Jong, A. Chin, M.J. Paw [et al.] // *J Nutr.* — 1999. — Vol. 129, N 11. — P. 2028–2036.
24. Demay M. B. Mechanism of vitamin D receptor action / M. B. Demay // *Ann. N. Y. Acad. Sci.* — 2006. — Vol. 1068. — P. 204–213.
25. Dietary Reference Intakes for Calcium and Vitamin D. Institute of Medicine, National Academy of Science: Washington, USA, 2011.
26. Dowd P. Mechanism of action of vitamin / P. Dowd, R. Hershline, S.W. Ham, S. Naganathan // *Nat Prod. Rep.* — 1994. — Vol. 11. — P. 251–264.
27. Farrokhyar F. Prevalence of vitamin D inadequacy in athletes: A systematic review and meta-analysis / F. Farrokhyar, R. Tabasinejad, D. Dao [et al.] // *Sport Med.* — 2014. — Vol. 5. — P. 365–378.
28. Fitzgerald J. Vitamin D status and VO₂peak during a skate treadmill graded exercise test in competitive ice hockey players / J. Fitzgerald, B. Peterson, J. Warpeha [et al.] // *J. Strength Cond. Res.* — 2014. — Vol. 28. — P. 3200–3205.
29. Forney L. Vitamin D Status, Body Composition, and Fitness Measures in College-Aged Students / L. Forney, C.C. Earnest, T. Henagan [et al.] // *J. Strength Cond. Res.* — 2014. — Vol. 28. — P. 814–824.
30. Garcia L. A. 1,25(OH)₂vitamin D₃ enhances myogenic differentiation by modulating the expression of key angiogenic growth factors and angiogenic inhibitors in C2C12 skeletal muscle cells / L. A. Garcia, M. G. Ferrini, K. C. Norris, J. N. Artaza // *J. Steroid Biochem. Mol. Biol.* — 2013. — Vol. 133. — P. 1–11.
31. Garcia L. A. 1,25(OH)₂vitamin D₃ stimulates myogenic differentiation by inhibiting cell proliferation and modulating the expression of promyogenic growth factors and myostatin in C2C12 skeletal muscle cells / L. A. Garcia, K. K. King, M. G. Ferrini [et al.] // *Endocrinology.* — 2011. — Vol. 152. — P. 2976–2986.
32. Gregory S. M. Changes in vitamin D are not associated with changes in cardiorespiratory fitness / S. M. Gregory, B. A. Parker, J. A. Capizzi [et al.] // *Clin. Med. Res.* — 2013. — N 2. — P. 68.
33. Hamidi M. S. Vitamin K and musculoskeletal health in postmenopausal women. / M. S. Hamidi, A. M. Cheung // *Mol. Nutr. Food Res.* — 2014. — Vol. 58. — P. 1647–1657.
34. Hamilton B. Vitamin D deficiency is endemic in Middle Eastern sportsman / B. Hamilton, J. Grantham, S. Racinais, C. Hakim // *Public Health Nutr.* — 2009. — Vol. 10. — P. 1528–1534.
35. He Ch-S. The effect of 14 weeks of vitamin D₃ supplementation on antimicrobial peptides and proteins in athletes / Ch-S. He, W. D. Frazer, J. Tang [et al.] // *J. Sports Sci.* — 2015.
36. Heaney R. P. Vitamin D₃ is more potent than vitamin D₂ in humans / R. P. Heaney, P. R. Recker, J. Grote [et al.] // *J. Clin. Endocrinol. Metab.* — 2011. — Vol. 96. — P. 447–452.
37. Herbst K. L. Testosterone action on skeletal muscle / K. L. Herbst, S. Bhasin // *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care.* — 2004. — Vol. 7. — P. 271–277.
38. Holick M. F. Vitamin D: A D-lightful health perspective / M. F. Holick // *Nutr. Rev.* — 2008. — Vol. 66. — P. 182–194.
39. Holick M. F. Evaluation, treatment, and prevention of vitamin D deficiency: An endocrine society clinical practice guideline / M. F. Holick, N. C. Binkley, H. A. Bischoff-Ferrari [et al.] // *J. Clin. Endocrinol. Metab.* — 2011. — Vol. 96. — P. 1911–1930.
40. Iwamoto J. Vitamin K₂ therapy for postmenopausal osteoporosis / J. Iwamoto // *Nutrients.* — 2014. — Vol. 6. — P. 1971–1980.
41. Jastrzębski Z. Effect of vitamin D supplementation on the level of physical fitness and blood parameters of rowers during the 8-week high intensity training / Z. Jastrzębski // *Faccula Educ. Fiz. și Sport.* — 2014. — Vol. 2. — P. 57–67.
42. Kidd P. M. Vitamins D and K as pleiotropic nutrients: clinical importance to the skeletal and cardiovascular systems and preliminary evidence for synergy / P. M. Kidd // *Altern. Med. Rev.* — 2010. — Vol. 15. — P. 199–222.
43. Kinuta K. Vitamin D is an important factor in estrogen biosynthesis of both female and male gonads / K. Kinuta, H. Tanaka, T. Moriwake [et al.] // *Endocrinology.* — 2014. — Vol. 141. — P. 1317–1324.
44. Koundourakis N. E. Relation of vitamin D level to maximal oxygen uptake in adults / N. E. Koundourakis, N. E. Androulakis, N. Malliaraki, A. N. Margioris // *Am. J. Cardiol.* — 2011. — Vol. 107. — P. 1246–1249.
45. Krzywanski J. Seasonal Vitamin D Status in Polish Elite Athletes in Relation to Sun Exposure and Oral Supplementation / J. Krzywanski, T. Mikulski, H. Kryzstofiak // *PLOS ONE* | DOI:10.1371/journal.pone.0164395 October 12, 2016, 1–12.
23. Jong N, Chin A, Paw MJ et al. Functional biochemical and nutrient indices in frail elderly people are partly affected by dietary supplements but not by exercise. *J Nutr.* 1999;129(11):2028–2036.
24. Demay M. Mechanism of Vitamin D Receptor Action. *Annals of the New York Academy of Sciences.* 2006;1068(1):204–213.
25. Dietary Reference Intakes for Calcium and Vitamin D. Washington, USA: Institute of Medicine, National Academy of Science; 2011.
26. Dowd P, Hershline R, Ham S, Naganathan S. Mechanism of action of vitamin K. *Natural Product Reports.* 1994;11:251.
27. Farrokhyar F, Tabasinejad R, Dao D, Peterson D, Ayeni O, Hadioonazadeh R et al. Prevalence of Vitamin D Inadequacy in Athletes: A Systematic-Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine.* 2014;45(3):365–378.
28. Fitzgerald J, Peterson B, Warpeha J, Wilson P, Rhodes G, Ingraham S. Vitamin D Status and V[Combining Dot Above]O₂peak During a Skate Treadmill Graded Exercise Test in Competitive Ice Hockey Players. *Journal of Strength and Conditioning Research.* 2014;28(11):3200–3205.
29. Forney C, Earnest C, Henagan T, Johnson L, Castleberry T, Stewart L. Vitamin D Status, Body Composition, and Fitness Measures in College-Aged Students. *Journal of Strength and Conditioning Research.* 2014;28(3):814–824.
30. Garcia L, Ferrini M, Norris K, Artaza J. 1,25(OH)₂vitamin D₃ enhances myogenic differentiation by modulating the expression of key angiogenic growth factors and angiogenic inhibitors in C2C12 skeletal muscle cells. *The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology.* 2013;133:1–11.
31. Garcia L, King K, Ferrini M, Norris K, Artaza J. 1,25(OH)₂Vitamin D₃ Stimulates Myogenic Differentiation by Inhibiting Cell Proliferation and Modulating the Expression of Promyogenic Growth Factors and Myostatin in C2C12 Skeletal Muscle Cells. *Endocrinology.* 2011;152(8):2976–2986.
32. Gregory S. Changes in Vitamin D are Not Associated with Changes in Cardiorespiratory Fitness. *Clinical Medicine Research.* 2013;2(4):68.
33. Hamidi M, Cheung A. Vitamin K and musculoskeletal health in postmenopausal women. *Molecular Nutrition & Food Research.* 2014;58(8):1647–1657.
34. Hamilton B, Grantham J, Racinais S, Chalabi H. Vitamin D deficiency is endemic in Middle Eastern sportsmen. *Public Health Nutrition.* 2010;13(10):1528–1534.
35. He C, Fraser W, Tang J, Brown K, Renwick S, Rudland-Thomas J et al. The effect of 14 weeks of vitamin D₃ supplementation on antimicrobial peptides and proteins in athletes. *Journal of Sports Sciences.* 2015;34(1):67–74.
36. Heaney R, Recker R, Grote J, Horst R, Armas L. Vitamin D₃ is More Potent Than Vitamin D₂ in Humans. *Endocrine Reviews.* 2011;32(1):155–155.
37. Herbst K, Bhasin S. Testosterone action on skeletal muscle. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care.* 2004;7(3):271–277.
38. Holick M. Vitamin D: A D-Lightful health perspective. *Nutrition Reviews.* 2008;66:182–194.
39. Holick M, Binkley N, Bischoff-Ferrari H, Gordon C, Hanley D, Heaney R et al. Evaluation, Treatment, and Prevention of Vitamin D Deficiency: an Endocrine Society Clinical Practice Guideline. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism.* 2011;96(7):1911–1930.
40. Iwamoto J. Vitamin K₂ Therapy for Postmenopausal Osteoporosis. *Nutrients.* 2014;6(5):1971–1980.
41. Jastrzębski Z. Effect of vitamin D supplementation on the level of physical fitness and blood parameters of rowers during the 8-week high intensity training. *Facicula Educ. Fiz. și Sport.* 2014;2:57–67.
42. Kidd PM. Vitamins D and K as pleiotropic nutrients: clinical importance to the skeletal and cardiovascular systems and preliminary evidence for synergy. *Altern. Med. Rev.* 2010;15:199–222.
43. Kinuta K, Tanaka H, Moriwake T et al. Vitamin D is an important factor in estrogen biosynthesis of both female and male gonads. *Endocrinology.* 2014;141:1317–1324.
44. Koundourakis NE, Androulakis NE, Malliaraki N, Margioris AN. Relation of vitamin D level to maximal oxygen uptake in adults. *Am. J. Cardiol.* 2011;107:1246–1249.
45. Krzywanski J, Mikulski T, Kryzstofiak H, Mlynczak M, Gaczynska E, Ziemia A. Seasonal Vitamin D Status in Polish Elite Athletes in Relation to Sun Exposure and Oral Supplementation. *PLOS ONE.* 2016;11(10):e0164395.
46. Lappe J, Cullen D, Haynatzki G, Recker R, Ahlf R, Thompson K. Calcium and Vitamin D Supplementation Decreases Incidence of Stress Fractures in Female Navy Recruits. *Journal of Bone and Mineral Research.* 2008;23(5):741–749.

46. Lappe J. Calcium and vitamin D supplementation decreased incidence of stress fractures in female navy recruits / J. Lappe, D. Cullen, G. Haynatzki [et al.] // *J. Bone Miner. Res.* – 2008. – Vol. 23. – P. 741–749.
47. Lovell G. Vitamin D status of females in an elite gymnastics program / G. Lovell // *Clin. J. Sport Med.* – 2008. – Vol. 18, N 2. – P. 159–161.
48. Lund D. Enter the matrix: shape, signal and superhighway / D. Lund, D. Cornelison // *FEBS J.* – 2013. – Vol. 280. – P. 4089–4099.
49. Masterjohn C. Vitamin D toxicity redefined: vitamin K and the molecular mechanism / C. Masterjohn // *Med. Hypotheses.* – 2007. – Vol. 68. – P. 1026–1034.
50. Mauras N. Testosterone deficiency in young men: Marked alterations in whole body protein kinetics, strength, and adiposity / N. Mauras, V. Hayes, S. Welch [et al.] // *J. Clin. Endocrinol. Metab.* – 1998. – Vol. 83. – P. 1886–1892.
51. Medelli J. Is osteopenia a health risk in professional cyclists? / J. Medelli, J. Lounana, J.J. Menuet [et al.] // *J. Clin. Densitom.* – 2009. – Vol. 12. – P. 28–34.
52. Meekins M. E. Pharmacokinetics of daily versus monthly vitamin D₃ supplementation in non-lactating women / M. E. Meekins, S. S. Oberhelman, B. R. Lee // *Eur. J. Clin. Nutr.* – 2014. – Vol. 68, N 5. – P. 632–634.
53. Mowry D. A., Association among cardiorespiratory fitness, body fat, and bone marker measurements in healthy young females / D. A. Mowry, M. M. Costello, K. A. Heelan // *J. Am. Osteopath. Assoc.* – 2009. – Vol. 109, N 10. – P. 534–539.
54. National Health and Medical Research Council. Nutrient reference values for Australia and New Zealand: Vitamin D. 2005.
55. Ogan D. Vitamin D and the Athlete: Risks, Recommendations, and Benefits / D. Ogan, K. Pritchett // *Nutrients.* – 2013. – N 5. – P. 1856–1868.
56. Pankaj P. Vitamin K deficiency / P. Pankaj, M. Mageda. – Department of Gastroenterology, Winthrop University Hospital and SUNY-Stony Brook, 2008. – P. 4–7.
57. Pilz S. Effect of vitamin D supplementation on testosterone levels in men / S. Pilz, S. Frisch, H. Koertke [et al.] // *Horm. Metab. Res.* – 2011. – Vol. 43. – P. 223–225.
58. Razavi M. Z. The effect of an exercise programme and consumption of vitamin D on performance and respiratory indicators in patients with asthma / M. Z. Razavi, P. Nazarali, P. Hanachi // *Sport Sci. Health* – 2011. – Vol. 6. – P. 89–92.
59. Reddy V. S. Role of vitamin D in cardiovascular health / V. S. Reddy, M. Good, P. A. Howard, J. L. Vacek // *Am. J. Cardiol.* – 2010. – Vol. 106. – P. 798–805.
60. Ross C. Institute of Medicine of the National Academies. Dietary Reference Intakes for Calcium and Vitamin D; C. Ross, A. Taylor, C. L. Yaktine, H. B. Del Valle, Eds. – Washington (DC): National Academy of Sciences, 2011.
61. Sato Y. Low-dose vitamin D prevents muscular atrophy and reduces falls and hip fractures in women after stroke: a randomized controlled trial / Y. Sato, J. Iwamoto, T. Kanoko, K. Satoh // *Cerebrovasc. Dis.* – 2005. – Vol. 20. – P. 187–192.
62. Slagmolen V. G. Do Professional Soccer Players have a Vitamin D Status Supporting Optimal Performance in Winter time? / V. G. Slagmolen, F. J. van Hellemond, J. P. M. Wielders // *Sports Med. Dop. Stud.* – 2014. – N 4. – P. 2.
63. Stachowicz M. The role of vitamin D in health preservation and exertional capacity of athletes / M. Stachowicz, A. Lebedzińska // *Postepy Hig Med Dosw* (online). – 2016; 70: 637–643 e-ISSN 1732–2693.
64. Stockton K. A. Effect of vitamin D supplementation on muscle strength: a systematic review and meta-analysis / K. A. Stockton, K. Mengersen, J. D. Paratz [et al.] // *Osteoporos Int.* – 2010. – Vol. 22. – P. 859–871.
65. Storie D. M. 12-Week vitamin D supplementation trial does not significantly influence seasonal 25(OH)D status in male collegiate athletes / D. M. Storie, K. Pritchett, R. Pritchett, L. Cashman // *Int. J. Health Nutr.* – 2011. – N 2. – P. 8–13.
66. Stratos I. Vitamin D increases cellular turnover and functionally restores the skeletal muscle after crush injury in rats / I. Stratos, Z. Li, P. Herlyn [et al.] // *Am. J. Pathol.* – 2013. – Vol. 182. – P. 895–904.
67. Sugimoto H. Diversity and substrate specificity in the structures of steroidogenic cytochrome P450 enzymes / H. Sugimoto, Y. Shiro // *Biol. Pharm. Bull.* – 2012. – Vol. 35. – P. 818–823.
68. Tenforde A. S. Evaluating the relationship of calcium and vitamin D in the prevention of stress fracture injuries in the young athlete: a review of the literature / A. S. Tenforde, L. C. Sayres, K. L. Sainani, M. Fredericson // *P M R.* – 2010. – N 2. – P. 945–949.
69. Todd J. J. Vitamin D: Recent advances and implications for athletes / J. J. Todd, K. L. Pourshahidi, E. M. McSorley [et al.] // *Sport Med.* – 2015. – Vol. 45. – P. 213–229.
47. Lovell G. Vitamin D status of females in an elite gymnastics program. *Clin. J. Sport Med.* 2008;18(2):159–161.
48. Lund D, Cornelison D. Enter the matrix: shape, signal and superhighway. *FEBS J.* 2013;280:4089–4099.
49. Masterjohn C. Vitamin D toxicity redefined: vitamin K and the molecular mechanism. *Med. Hypotheses.* 2007;68:1026–1034.
50. Mauras N, Hayes V, Welch S, Rini A, Helgeson K, Dokler M et al. Testosterone Deficiency in Young Men: Marked Alterations in Whole Body Protein Kinetics, Strength, and Adiposity. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism.* 1998;83(6):1886–1892.
51. Medelli J, Lounana J, Menuet J, Shabani M, Cordero-MacIntyre Z. Is Osteopenia a Health Risk in Professional Cyclists? *Journal of Clinical Densitometry.* 2009;12(1):28–34.
52. Meekins M, Oberhelman S, Lee B, Gardner B, Cha S, Singh R [et al.] Pharmacokinetics of daily versus monthly vitamin D₃ supplementation in non-lactating women. *European Journal of Clinical Nutrition.* 2014;68(5):632–634.
53. Mowry D, Costello M, Heelan K. Association Between Bone Mineral Density, Percent Body Fat and Bone Serum Markers in Young Healthy Females. *Medicine & Science in Sports & Exercise.* 2008;40:S312–S313.
54. National Health and Medical Research Council. Nutrient reference values for Australia and New Zealand: Vitamin D. 2005.
55. Ogan D, Pritchett K. Vitamin D and the Athlete: Risks, Recommendations, and Benefits. *Nutrients.* 2013;5:1856–1868.
56. Pankaj P, Mageda M. Vitamin K deficiency. Department of Gastroenterology, Winthrop University Hospital and SUNY-Stony Brook. 2008. P. 4–7.
57. Pilz S, Frisch S, Koertke H, Kuhn J, Dreier J, Obermayer-Pietsch B et al. Effect of Vitamin D Supplementation on Testosterone Levels in Men. *Hormone and Metabolic Research.* 2010;43(03):223–225.
58. Razavi M, Nazarali P, Hanachi P. The effect of an exercise programme and consumption of vitamin D on performance and respiratory indicators in patients with asthma. *Sport Sciences for Health.* 2011;6(2-3):89–92.
59. Reddy Vanga S, Good M, Howard P, Vacek J. Role of Vitamin D in Cardiovascular Health. *The American Journal of Cardiology.* 2010;106(6):798–805.
60. Ross A, Taylor C, Yaktine A, Valle H. Dietary reference intakes for calcium and Vitamin D. 1st ed. Washington: National Academies Press; 2011.
61. Sato Y, Iwamoto J, Kanoko T, Satoh K. Low-Dose Vitamin D Prevents Muscular Atrophy and Reduces Falls and Hip Fractures in Women after Stroke: A Randomized Controlled Trial. *Cerebrovascular Diseases.* 2005;20(3):187–192.
62. Slagmolen G V. Do Professional Soccer Players have a Vitamin D Status Supporting Optimal Performance in Winter time? *Journal of Sports Medicine & Doping Studies.* 2014;04(02).
63. Stachowicz M, Lebedzińska A. The role of vitamin D in health preservation and exertional capacity of athletes. *Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej.* 2016;70:637–643.
64. Stockton K, Mengersen K, Paratz J, Kandiah D, Bennell K. Effect of vitamin D supplementation on muscle strength: a systematic review and meta-analysis. *Osteoporosis International.* 2010.
65. Storie DM, Pritchett K, Pritchett R, Cashman L. 12-Week vitamin D supplementation trial does not significantly influence seasonal 25(OH)D status in male collegiate athletes. *Int. J. Health Nutr.* 2011;2:8–13.
66. Stratos I, Li Z, Herlyn P, Rotter R, Behrendt A, Mittlmeier T et al. Vitamin D Increases Cellular Turnover and Functionally Restores the Skeletal Muscle after Crush Injury in Rats. *The American Journal of Pathology.* 2013;182(3):895–904.
67. Sugimoto H, Shiro Y. Diversity and Substrate Specificity in the Structures of Steroidogenic Cytochrome P450 Enzymes. *Biological and Pharmaceutical Bulletin.* 2012;35(6):818–823.
68. Tenforde A, Sayres L, Sainani K, Fredericson M. Evaluating the Relationship of Calcium and Vitamin D in the Prevention of Stress Fracture Injuries in the Young Athlete: A Review of the Literature. *PM&R.* 2010;2(10):945–949.
69. Todd J, Pourshahidi L, McSorley E, Madigan S, Magee P. Vitamin D: Recent Advances and Implications for Athletes. *Sports Medicine.* 2014;45(2):213–229.
70. Todd J, Madigan S, Pourshahidi K, McSorley E, Laird E, Healy M et al. Vitamin D Status and Supplementation Practices in Elite Irish Athletes: An Update from 2010/2011. *Nutrients.* 2016;8(8):485.
71. Tomlinson P, Joseph C, Angioi M. Effects of vitamin D supplementation on upper and lower body muscle strength levels in healthy individuals. A systematic review with meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport.* 2015;18(5):575–580.

70. Todd J. J. Vitamin D Status and Supplementation Practices in Elite Irish Athletes: An Update from 2010/2011 / J. J. Todd, Sh. Madigan, K. Pourshahidi [et al.] // *Nutrients*. — 2016. — Vol. 8. — P. 485.
71. Tomlinson P. B. Effects of vitamin D supplementation on upper and lower body muscle strength levels in healthy individuals. A systematic review with meta-analysis / P. B. Tomlinson, C. Joseph, M. Angioi // *J. Sci. Med. Sport*. — 2014. — Vol. 18, N 5. — P. 575–580.
72. Umhau J. C. Low vitamin D status and suicide: a case-control study of active duty military service members / J. C. Umhau, D. T. George, R. P. Heaney [et al.] // *PLoS One*. — 2013. — Vol. 8, N 1. — e51543.
73. Urban R. J. Growth hormone and testosterone: Anabolic effects on muscle / R. J. Urban // *Horm. Res. Paediatrics*. — 2011. — Vol. 76. — P. 81–83.
74. Valimäki V. V. Vitamin D status as a determinant of peak bone mass in young Finnish men / V. V. Valimäki, H. Alftan, E. Lehmuskallio [et al.] // *J. Clin. Endocr. Metab.* — 2004a. — Vol. 89. — P. 76–80.
75. Valimäki V. V. Serum estradiol, testosterone, and sex hormone-binding globulin as regulators of peak bone mass and bone turnover rate in young Finnish men / V. V. Valimäki, H. Alftan, K. K. Ivaska [et al.] // *J. Clin. Endocrinol. Metab.* — 2004b. — Vol. 89, N 8. — P. 3785–3789.
76. Von Hurst P. R. Vitamin D and skeletal muscle function in athletes / P. R. Von Hurst, K. L. Beck // *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care*. — 2014. — Vol. 17. — P. 539–545.
77. Wacker M. Vitamin D — Effects on skeletal and extraskeletal health and the need for supplementation / M. Wacker, M. F. Holick // *Nutrients*. — 2013. — Vol. 5. — P. 111–148.
78. Wehr E. Association of vitamin D status with serum androgen levels in men / E. Wehr, S. Pilz, B. Boehm [et al.] // *Clin. Endocrinol. (Oxf)*. — 2010. — Vol. 73. — P. 243–248.
79. Wentz L. M. Clinical relevance of optimizing vitamin D status in soldiers to enhance physical and cognitive performance / L. M. Wentz, J. D. Eldred, M. D. Henry [et al.] // *J. Spec. Oper. Med.* — 2014. — Vol. 14, N 1. — P. 58–66.
80. Wentz L. M. Vitamin D Correlation with Testosterone Concentration in Male US Soldiers and Veterans / L. M. Wentz, C. S. Berry-Cabán, Q. Wu, D. J. Eldred // *J. Military and Veterans' Health*. — 2016. — Vol. 24, N 3. — P. 17–23.
81. Willis K. S., Should we be concerned about the vitamin D status of athletes? / K. S. Willis, N. J. Peterson, D. E. Larson-Meyer // *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.*, 2008. — Vol. 18. — P. 204–224.
82. Willis K. S. Vitamin D status and biomarkers of inflammation in runners / K. S. Willis, D. T. Smith, K. S. Broughton, D. E. Larson-Meyer // *Open Access J. Sports Med.* — 2012. — N 3. — P. 35–42.
83. Working Group of the Australian and New Zealand Bone and Mineral Society, Endocrine Society of Australia and Osteoporosis Australia. Vitamin D and adult bone health in Australia and New Zealand: A position statement. — *MJA*. — 2005. — Vol. 182, N 6. — P. 281–285.
84. Zittermann A. Vitamin D in preventive medicine: are we ignoring the evidence? / A. Zittermann // *Br. J. Nutr.* — 2003. — Vol. 89. — P. 552–572.
72. Umhau J, George D, Heaney R, Lewis M, Ursano R, Heilig M et al. Low Vitamin D Status and Suicide: A Case-Control Study of Active Duty Military Service Members. *PLoS ONE*. 2013;8(1):e51543.
73. Urban R. Growth Hormone and Testosterone: Anabolic Effects on Muscle. *Hormone Research in Paediatrics*. 2011;76(s1):81-83.
74. Välimäki V, Alftan H, Lehmuskallio E, Löyttyniemi E, Sahi T, Stenman U et al. Vitamin D Status as a Determinant of Peak Bone Mass in Young Finnish Men. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*. 2004;89(1):76-80.
75. Välimäki V, Alftan H, Ivaska K, Löyttyniemi E, Pettersson K, Stenman U et al. Serum Estradiol, Testosterone, and Sex Hormone-Binding Globulin as Regulators of Peak Bone Mass and Bone Turnover Rate in Young Finnish Men. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*. 2004;89(8):3785-3789.
76. von Hurst P, Beck K. Vitamin D and skeletal muscle function in athletes. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*. 2014;17(6):539-545.
77. Wacker M, Holick M. Vitamin D—Effects on Skeletal and Extraskeletal Health and the Need for Supplementation. *Nutrients*. 2013;5(1):111-148.
78. Wehr E, Pilz S, Boehm B, März W, Obermayer-Pietsch B. Association of vitamin D status with serum androgen levels in men. *Clinical Endocrinology*. 2009.
79. Wentz LM, Eldred JD, Henry MD et al. Clinical relevance of optimizing vitamin D status in soldiers to enhance physical and cognitive performance. *J. Spec. Oper. Med*. 2014;14(1):58–66.
80. Wentz LM, Berry-Cabán CS, Wu Q, Eldred DJ. Vitamin D Correlation with Testosterone Concentration in Male US Soldiers and Veterans. *J. Military and Veterans' Health*. 2016;24(3):17–23.
81. Willis K, Peterson N, Larson-Meyer D. Should We Be Concerned about the Vitamin D Status of Athletes?. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 2008;18(2):204–224.
82. Larson-Meyer D, Willis, Smith, Broughton. Vitamin D status and biomarkers of inflammation in runners. *Open Access Journal of Sports Medicine*. 2012;35.
83. Working Group of the Australian and New Zealand Bone and Mineral Society, Endocrine Society of Australia and Osteoporosis Australia. Vitamin D and adult bone health in Australia and New Zealand: A position statement. *MJA*. 2005;182(6): 281–285.
84. Zittermann A. Vitamin D in preventive medicine: are we ignoring the evidence?. *British Journal of Nutrition*. 2003;89(05):552.

¹Ассоциация парентерального и энтерального питания, Клиника Российской академии наук, Санкт-Петербург, Российская Федерация

²Фитнес-клуб «Енйо», Москва, Российская Федерация

Поступила 20.12.16