УДК 577.161.2 **DOI: 10.21626/vestnik/2023-1/07** **EDN: ZXSPTL**

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ: ФАРМАКОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ВИТАМИНА D В ОРГАНИЗМЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СПОРТИВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

© Саркисян Н.Г.[1], Гайсина Е.Ф.[1], Добринская М.Н.[1], Шмакова М.А.[1], Астрюхина П.И.[1], Госьков А.С.[2]

[1] **Уральский государственный медицинский университет (УГМУ)**
Россия, 620028, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Репина, д. 3
[2] **Уральский федеральный университет (УрФУ)**
Россия, 620002, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19

Проанализированы исследования (отечественные и зарубежные) о влиянии витамина D на мышечную силу, скорость восстановления мышц, максимальное потребление кислорода и профилактику снижения травм скелетных мышц. Одновременно выяснено, что спортсмены подвержены гиповитаминозам не реже, чем стандартные группы населения вследствие более высоких физических нагрузок. Однозначно можно сказать, что при дефицитных состояниях прием витамина D улучшает физическую форму спортсменов и может скорректировать их состояние в осенне-весенний период.

Целью данного обзора является анализ литературных данных о значении фармакологических эффектов витамина D в работе опорно-двигательной системы организма и роли в повышении спортивных результатов.

Материалы и методы. Основным источником информации была выбрана электронная научная библиотека Pubmed/MEDLINE. Дополнительно поиск охватил репозитории препринтов открытого доступа eLIBRARY.RU за 2016-2022 гг. Ключевыми словами для поискового запроса являлись «витамин D», «кальцитриол», «спорт», «атлеты». Результаты исследования освещены с учетом рекомендаций PRISMA.

Результаты. Длительность и качество инсоляции непосредственно влияют на количество витамина D. Дополнительная солнечная экспозиция в комплексе с употреблением препаратов витамина D способствует устранению его дефицита. Дефицит витамина D может привести к уменьшению концентрации внутриядерного VDR и снижению экспрессии генов *VDR*, что способствует развитию миопатии, вследствие атрофии мышечных волокон типа IIA. Оправдано дополнительное обогащение специальных растворов электролитов водорастворимым витамином D.

Заключение. Постоянный контроль концентрации 25(OH)D в сыворотке крови спортсменов является неотъемлемой составляющей в разработке рекомендаций для улучшения здоровья и спортивных результатов в тренировочном и соревновательном режимах.

Ключевые слова: витамин D; мышцы; спортсмены; кальций; кальцитриол; спорт; мышечная сила.

Саркисян Нарине Гришаевна – д-р мед. наук, доцент кафедры терапевтической стоматологии и пропедевтики стоматологических заболеваний, УГМУ, г. Екатеринбург. ORCID iD: 0000-0002-6175-5752. E-mail: narine_25@mail.ru

Гайсина Елена Фахаргалеевна – канд. мед. наук, доцент кафедры фармакологии и клинической фармакологии, УГМУ, г. Екатеринбург. ORCID iD: 0000-0003-1223-5790. E-mail: egaisina68@mail.ru

Добринская Мария Николаевна – канд. мед. наук, доцент кафедры фармакологии и клинической фармакологии, УГМУ, г. Екатеринбург. ORCID iD: 0000-0001-9208-9417. E-mail: maria-nd@mail.ru

Шмакова Милана Алексеевна – студент, УГМУ, г. Екатеринбург. E-mail: milana.shmakova@yandex.ru

Астрюхина Полина Игоревна – студент, УГМУ, г. Екатеринбург. E-mail: astryukhina_polina@mail.ru (автор, ответственный за переписку)

Госьков Артём Сергеевич – магистрант Института физической культуры и молодежной политики, УрФУ, г. Екатеринбург. E-mail: gasya1996@list.ru

На сегодняшний день достаточно много исследований посвящено проблеме витамин D-дефицитных состояний и собственно роли витамина D – (колекальциферола) и его наиболее активной формы – кальцитриола ($1,25(OH)_2D$), синтезируемого в почках за счет гидроксилирования. Витамин D является жирорастворимым витамином, уровень которого определяется по концентрации в сыворотке крови 25(OH)D (кальцидиола), который образуется при гидроксилировании колекальциферола в купферовских клетках печени [1, 2]. Концентрация витамина D зависит от попадания УФ-излучения на кожу, длительности присутствия на солнце, количества получаемого $1,25(OH)^2D$ с пищей и пероральными добавками, состояния здоровья [1, 4].

Нет единого мнения насчет того, какие концентрации общего количества витамина D являются дефицитными, недостаточными, оптимальными или оказывают токсическое воздействие на здоровье человека. Например, научным консультативным комитетом по вопросам питания (SACN) Великобритании уровень 25(OH)D менее 10 нг/мл (25 нмоль/л) считается дефицитным [5]. В клинических рекомендациях Российской Ассоциации эндокринологов концентрация витамина D для взрослых считается адекватной при концентрации 25(OH)D 30-100 нг/мл (75-250 нмоль/л). Недостаточность – от 20 до

30 нг/мл (50-75 нмоль/л), дефицит – менее 20 нг/мл (менее 50 нмоль/л), выраженный дефицит – менее 10 нг/мл (< 25 нмоль/л) [1].

При взаимодействии кальцитриола в органах-мишенях с рецепторами (VDR) из семейства лиганд-активирующих факторов транскрипции происходит регуляция по геномному и негеномному пути (рис.). При связывании кальцитриола с VDR, расположенными в цитозоле, происходит фосфорилирование рецептора и образуется гетеродимер с ретиноидным Х рецептором (RXR), комплекс с которым затем перемещается в ядро. Комплекс (кальцитриол, VDR, RXR) взаимодействует с D-чувствительным элементом в области промотора гена и регулирует деятельность коактиваторов или корепрессоров транскрипции, обусловливающих экспрессию м-РНК генов-мишеней [2, 3]. Благодаря этому геномному пути осуществляется контроль фосфорно-кальциевого обмена: в кишечнике увеличивается биосинтез белка, связывающего кальций, в костях – остеокальцина (ген BGLAP), способствующего связыванию гидроксиапатита в кости, остеопонтина (ген *SPP1*), регулирующего обмен ионов кальция, миграцию и деление остеокластов, активность щелочной фосфатазы [5]. Следствием этого является повышение прочности костной ткани, улучшение переносимости физических нагрузок и функции опорно-двигательной системы у спортсменов.

При негеномном пути возникает быстрая модификация в клеточных сигнальных путях вследствие связывания кальцитриолас 1,25D-мембран-ассоциированным быстро отвечающим стероид-связанным протеином (1,25D-MARRS). Активируется кальций и митоген-активированный протеинкиназный путь, это повышает скорость транспорта кальция в цитоплазму клетки и высвобождения его ионов из внутриклеточных депо [4]. Вследствие дополнительной стимуляции цитокинами, осуществляемой клетками стромы и остеобластами, активируется метаболизм ионов кальция и фосфора из тонкого кишечника в кровоток, увеличиваются костные эффекты паратгормона [5].

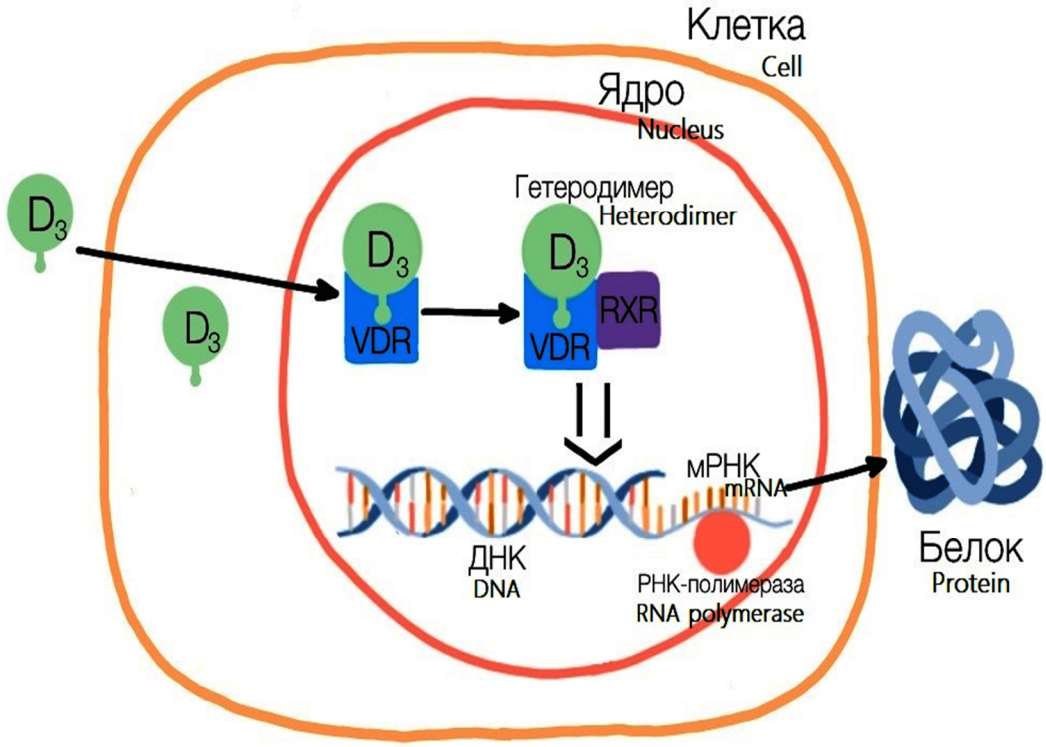

Рис. Кальцитриол взаимодействует с рецепторами (кодирующий ген *VDR*) в цитозоле.

Fig. Calcitriol interacts with receptors (which encode the *VDR* gene) in the cytosol.

Уровни витамина D в крови выше 32 нг/мл (80 нмоль/л) и 40 нг/мл (100 нмоль/л) и до 50 нг/мл (125 нмоль/л) были признаны оптимальными академией питания и диетологии, диетологами Канады и Американского колледжа спортивной медицины для адаптации, вызванной тренировками у атлетов [6]. Профессиональным спортсменам необходимо повышенное обеспечение витамином D, т.к. для оптимального функционирования скелетной мускулатуры, следовательно, для улучшения спортивных результатов концентрация 25(OH)D должна соответствовать значениям выше 30-40 нг/мл. Такой статус будет способствовать клеточному делению, увеличению размера и числа быстро сокращающихся мышечных волокон II типа. Дополнительно следует отметить стимулирование дифференцировки миоцитов, т.к. VDR в большом количестве находится в скелетной мускулатуре. Для детей и подростков, занимающихся спортом, уровень кальцидиола должен быть 40-50 нг/мл. Таким образом, будет увеличиваться функция скелетных мышц, изометрическая и изокинетическая мышечная сила верхних и нижних конечностей, уменьшаться длительность восстановительного периода после интенсивного тренировочного процесса. В свою очередь тренировочный процесс способствует увеличению плотности VDR в скелетной мускулатуре сразу после тренировки и в течение нескольких часов после нее. Повышается и внутриклеточная экспрессия цитохрома P450 (CYP27B1) – фермента, который принимает участие в реакции гидроксилирования кальцидиола в кальцитриол [7].

Молекулярно-биологические эффекты витамина D влияют на состояние мышечной ткани: «медленные» эффекты проявляются в течение месяца или нескольких лет после применения адекватных доз витамина (регуляция фосфатно-кальциевого обмена, клеточное деление, рост и дифференциация миоцитов), «быстрые» эффекты проявляются в течение нескольких минут, активируя фосфолипазу C, инозитолтрифосфатную систему, из-за чего образуется диациглицерол, вызывая высвобождение ионов кальция из саркоплазматического ретикулума в цитоплазму мышечных клеток, Ca^{2+} связывается с тропонином C, способствуя сокращению мышечного волокна, дополнительно влияя на скольжение филаментов мышечных волокон. Эффекты витамина D связаны с экспрессией следующих генов: FGF23 и FGFR23 – фактор роста фибробластов 23, регулируют уровни кальция, фосфат-аниона, процессы клеточного деления фибробластов; TGFB1 – трансформирующий фактор роста бета-1, регулирует процессы клеточного деления и дифференцировки остеоцитов, хондроцитов, фибробластов и кератиноцитов; ITGB1 – интегрин бета-1, способствует связыванию коллагена на мембране клеток соединительной ткани, моторике эндотелиальных клеток [8]. Таким образом, витамин D влияет на составляющие соединительной ткани мышц. За счет эластичных свойств соединительной ткани предельное растяжение мышц способствует дополнительному проявлению силы. Витамин D также влияет на ангиогенез за счет экспрессии следующих генов: ITGB1 (интегрин бета-1), CYR61, VEGF (регулирует уровень фактора роста сосудистого эндотелия), которые стимулируют деление гладкомышечных клеток сосудов. В результате неоваскуляции улучшается циркуляция крови в мышцах, обеспечивается доставка кислорода в случае его дефицита в миоцитах. Ангиогенез способствует нарастанию мышечной массы после тренировок, влияет на регенерацию ткани в восстановительный период [7].

Целью данного обзора является анализ литературных данных о значении фармакологических эффектов витамина D в работе опорно-двигательной системы организма и роли в повышении спортивных результатов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основным источником информации была выбрана электронная научная библиотека Pubmed/MEDLINE. Дополнительно поиск охватил репозитории препринтов открытого доступа eLIBRARY.RU за 2016-2022 гг. Ключевыми словами для поискового запроса являлись «витамин D», «кальцитриол», «колекальциферол», «кальцидиол», «спорт», «атлеты». Результаты исследования освещены с учетом рекомендаций PRISMA.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Распространенность состояний дефицита витамина D у спортсменов. Длительность и качество инсоляции непосредственно влияют на количество витамина D: в работе Valtueña J. et al. (2014) спортсмены, тренирующиеся на открытом воздухе, имеют более высокий уровень витамина D, чем те, кто тренируется в помещении ($p<0,01$) [9]. В другом исследовании на примере биатлонистов показано, что для

обеспечения организма адекватным уровнем витамина D не хватает тренировок на открытом воздухе. Дефицит витамина D в организме у спортсменов усиливается в осенне-зимний период в сравнении с обычными группами населения такого же возраста. Так, концентрация 25(OH)D в начале ноября (1-й этап исследования) и в феврале (2-й этап исследования) у большинства биатлонистов была ниже адекватных значений: 28,4±2,2 нг/мл и 16,5±2,1 нг/мл соответственно. Также выявлена отрицательная корреляция между концентрацией кальцидиола и временем прохождения дистанции длиной в 10 километров, т.е. чем ниже уровень витамина D, тем больше времени затрачивал спортсмен (p=0,049) [10]. При анализе BabienkoV.V. et al. (2019) была исследована концентрация общего сывороточного 25(OH)D у 214 спортсменов, занимающихся плаванием, бодибилдингом и бегом. При оценке были применены рекомендации института медицины США (U.S.IOM: дефицит меньше 12 нг/мл, недостаточность от 12 нг/мл до 20 нг/мл, норма больше 20 нг/мл). В результате у 179 спортсменов (83,64%) выявлены D-дефицитные состояния (собственно дефицит и недостаточность). Чаще всего дефицитные состояния встречались среди спортсменов-бодибилдеров. Корреляции между местом проведения тренировки (на улице или в зале) и уровнем витамина D не выявлено [11].

В исследовании Дж. Крживански и др. (2016) самые высокие концентрации 25(OH)D в сыворотке крови были отмечены у элитных спортсменов, проводивших тренировки зимой на солнце. Четыреста девять профессиональных спортсменов разделили на следующие группы: спортсмены, тренирующиеся на открытом воздухе (группа OUTD); атлеты, тренировавшиеся в закрытых помещениях (группа IND); легкоатлеты, находящиеся на солнце зимой (группа SUN); легкоатлеты со статусом 25(OH)D <30 нг/мл, которые получали витамин D (группа SUPL). Неадекватные уровни витамина D были у 80% атлетов OUTD и 84% спортсменов IND зимой, летом в этих же группах значения снизились до 42% и 83% соответственно. У спортсменов группы SUN концентрация витамина D была значительно выше, чем у группы OUTD (p<0,001). Дополнительный прием витамина D повысил его концентрацию в крови на 45% (с 25±1 нг/мл до 37±1 нг/мл, p<0,001), тогда как пребывание зимой на солнце вызвало его увеличение на 85% (p<0,001). За исключением нескольких летних месяцев низкий уровень витамина D был обнаружен у большинства спортсменов (т.е. летние концентрации были выше чем зимой, весной и осенью (p<0,001), при этом уровень дефицита был аналогичен тому, который наблюдается у лиц, не занимающихся спортом. Выраженный дефицит витамина D диагностирован у польских спортсменов, тренирующихся в залах. Учеными сделан вывод, что дополнительная солнечная экспозиция в комплексе с употреблением препаратов витамина D способствует устранению его дефицита [12].

В работе Aydın C.G. et al. (2019) среди 555 спортсменов наблюдали серьезный дефицит 25(OH)D – менее 11-20 нг/мл у 120 человек (21,6% испытуемых), у 237 (42,7%) был выявлен дефицит (25(OH)D – менее 11-20 нг/мл, 108 атлетов (19,5%) имели недостаточность (25(OH)D –менее 21-30 нг/мл). Не наблюдалось значительного влияния спортивной среды на средние значения витамина D (p=0,054): 393 спортсмена (70,8%) занимались спортом в помещении, а 162 – на открытом воздухе. Зимние измерения уровней витамина D (16,92 нг/мл) были значительно ниже, чем осенью (28,13 нг/мл, p=0,000) [13]. В исследовании Bezuglov E. et al. (2019) приняли участие 131 футболист из России мужского пола. Низкий уровень витамина D наблюдался у 42,8% участников. Спортсмены, у которых концентрация кальцидиола достигала нормальных значений, в дальнейших этапах исследования участия не принимали. Футболистов с неадекватным статусом по витамину D разделили на 2 группы: с D-дефицитным состоянием (уровень кальцидиола менее 21 нг/мл) и недостаточным статусом (от 21 до 29 нг/мл). По завершении курса приема препаратов колекальциферола в дозировке 5000 МЕ в день в течение двух месяцев в среднем на 92% повысилась концентрация витамина D (до лечения – 19,7±5,4 нг/мл, после лечения – 34,7±8,6 нг/мл, p<0,001), при этом 74% значений уровня кальцидиола в сыворотке крови достигли нормальных показателей (30-60 нг/мл). Линейной зависимости между продолжительностью лечения и увеличением концентрации 25(OH)D не наблюдалось [14].

Потребление витамина D с пищей также влияет на его уровень в сыворотке крови. При сравнении рациона питания спортсменов-единоборцев и атлетов циклических видов спорта с рекомендуемыми нормами потребления выявлен недостаток пищевых источников витамина D, таких как молочные и рыбные продукты [15, 16]. Дополнительно было отмечено неправильное соотношение в рационе кальция и фосфора (1:1,7 соответственно у

мужчин и 1:1,6 у женщин), что влияет на риск развития остеопороза.

Существует несколько информативных показателей, по которым можно отслеживать влияние тех или иных факторов на спортивные достижения, а также ухудшение или улучшение физической формы: мышечная сила, максимальное потребление кислорода (VO_2 max) –показатель аэробной подготовки, точка, при которой потребление кислорода больше не увеличивается с возрастанием рабочей нагрузки, скорость мышечного восстановления и концентрация лактата (определяет интенсивность нагрузки: чем выше тренированность спортсмена, тем ниже содержание лактата в крови).

В систематическом обзоре Tomlinson P.B. et al. (2015) на тему влияния применения витамина D на мышечную силу спортсменов были получены данные о 310 взрослых, 67% из которых – женщины, средний возраст варьировал от 21,5 до 31,5 лет. Полученные данные свидетельствуют о том, что добавление витамина D значительно увеличивает мышечную силу в экспериментальной группе для верхних (p=0,005) и нижних конечностей (p=0,04) [17]. Вместе с тем мета-анализ Zhang L. et al. (2019), включавший 8 рандомизированных контролируемых исследований и данные о 284 спортсменах, показал положительное влияние применения витамина D на силу мышц нижних конечностей у спортсменов (p=0,01). Также дополнительный прием витамина D оказался более эффективным для спортсменов, тренирующихся в помещении (p=0,02) [18].

В литературном обзоре Książek A. et al. (2019) сообщается, что витамин D может влиять на диаметр и количество мышечных волокон II типа. Дефицит витамина D может привести к уменьшению концентрации внутриядерного VDR и снижению экспрессии генов *VDR*, что способствует развитию миопатии, вызванной атрофией мышечных волокон типа IIA. Как было отмечено выше, кальцитриол стимулирует синтез определенных мышечных белков, что может привести к увеличению мышечной массы и силы. Поэтому гипертрофия мышечных волокон типа IIB, которой способствует витамин D, может повлиять на работоспособность спортсменов, т.к. волокна типа II вызывают более быстрое сокращение мышц и большую силу по сравнению с мышечными волокнами типа I (медленные, устойчивые к утомлению, преобладают в мышцах спины и конечностей). Данный факт определяет возможность влиять с помощью препаратов витамина D на спортивные показатели в таких физических нагрузках, как спринт, прыжки, способность быстро изменять направление движения или останавливаться, что связано с активностью волокон типа II [19].

В исследовании Owens D.J. et al. (2015) продемонстрировали, что уровень 25(OH)D выше 75 нмоль/л, достигнутый при помощи дополнительного приема витамина D в дозе 4000 МЕ в сутки, оказывает положительное действие на восстановление физической силы после эксцентрического тренинга через 48 часов и 7 дней после тренировки [20].

Также для выявления влияния витамина D на функции мышечной ткани проводились эксперименты in vitro с использованием изолированных клеток миобластов скелетных мышц человека из биоптатов 14 мужчин с низким уровнем 25(OH)D (37±11 нмоль/л) в сыворотке крови. Данные образцы подвергли механическому повреждению, что позволило изучить восстановление, регенерацию и гипертрофию мышц in vitro. Монослои клеток обрабатывали
10 нмоль 1α,25(OH)2D3. В результате 10 нмоль кальцитриола улучшали динамику миграции мышечных клеток и дифференцировку мышечных трубочек, что приводило к их гипертрофии через 7 и 10 дней после механического повреждения [20].

Результаты корреляции между уровнем витамина D в плазме крови и аэробными возможностями у спортсменов неоднозначны. В работе Seo M.W. (2019) обнаружена слабая корреляция между статусом витамина D и средней выходной мощностью (оценивалось выполнение вертикального прыжка) [21]. Данные исследования Carswell A.T. et al. (2018) свидетельствуют о влиянии уровня витамина D на выносливость (p≤0,01), но не на силу и мощность (p>0,05) [22]. Исследование Forney L. et al. (2014) выявило взаимосвязь между сывороточной концентрацией витамина D и показателями уровня максимального потребления кислорода, но только у спортсменов-мужчин (p=0,033). Участники тестирования мужского пола с уровнем кальцидиола больше 35 нмоль/л имели показатели VO_2 max на 20% выше, чем участники с значениями ниже 35 нмоль/л [23]. В исследовании Jastrzębska M. et al. (2018), проведенном с участием футболистов, тренирующихся в режиме высокой интенсивности, были выделены 2 группы: SG – принимали витамин D (n=20) и плацебо (PG, n=16) – не употребляли витамин D. Наблюдения проводили в течение 8 недель подготовительного спортивного сезона (с января по март). Начальная концентрация

25(OH)D в плазме крови в группах была ниже 50 нмоль/л, различий в исходных уровнях 25(OH) D между группами не было выявлено (48,5±8,6 в группе SG и 47,5±16,2 ммоль/л в группе PG). После 8 недель исследования в группе SG уровень витамина D вырос на 119% (106,3±26,6 ммоль/л), тогда как в группе PG наблюдалось его снижение на 8,4% (43,5±16,7 ммоль/л). Спортсмены улучшили результаты VO_2 max на 20% в группе SG и на 13% в группе PG. Улучшение скорости в лактатном тесте было одинаковым у всех спортсменов. Результаты этого исследования показывают, что витамин D может оказывать положительное умеренное влияние на аэробный метаболизм [24].

В исследовании Bezrati I. et al. (2020) у слабо тренированных детей через 12 недель после приема однократной дозы 200000 МЕ витамина D увеличился уровень кальцидиола в плазме (изначальный уровень 25(OH)D в плазме составлял менее 20 нг/мл, после приема витамина D – 28,6±5,34 нг/мл), вследствие этого улучшились физические показатели по времени для вертикального прыжка (p=0,001), тройного прыжка (p<0,001), спринта на 10 и 30 метров (p=0,046 и p=0,017 соответственно) и челночного бега (p=0,001), чего не наблюдалось в группе, принимавшей плацебо [25]. Alimoradi K. et al. (2019) выявили, что еженедельный прием 50000 МЕ витамина D приводит к увеличению циркулирующего кальцидиола в крови (на 17,3±16,9 нг/мл, p<0,001) у футболистов и атлетов, занимающихся мини-футболом. В начале исследования не было выявлено значимых различий ни внутри группы, ни между группами в тестах на вертикальный прыжок и ловкость. Однако в группе, получавшей препараты витамина D, увеличение уровня 25(OH)D способствовало значительному улучшению результатов силовых тестов на жим ногами (p=0,034) и спринт (p=0,030) к концу исследования [26].

По завершении двойного слепого рандомизированного плацебо контролируемого исследования Ramezani Ahmadi A. et al. (2020) в группе студентов факультета физических наук, принимавших 2000 МЕ витамина D в день в течение 12 недель (группа VDS), отмечался более высокий уровень 25(OH)D в сыворотке (p=0,004), VO_2max (p=0,016) и средней мощности (p=0,044), которая характеризует гликолиз – основной вид энергообеспечения при выполнении работы субмаксимальной мощности в таких видах спорта, как бег на 800-1500 м; конькобежная дистанция на 1500 м; плавание на 200 м по сравнению с группой плацебо. Кроме того, в конце исследования в группе VDS наблюдались более низкие уровни паратгормона (p=0,004) и индекса усталости (p<0,001) (индекс усталости показывает скорость, с которой сила снижается при спринте, чем выше показатель, тем ниже способность поддерживать скорость в серии спринтов). Дополнительно стоит отметить, что уровни кортизола в сыворотке были значительно снижены только у участников с дефицитом витамина D в группе VDS (p=0,042). Влияние на анаболические гормоны было следующим: наблюдалось выраженное снижение уровня тестостерона в сыворотке крови в группе VDS (p=0,013), не отмечено никаких изменений сывороточных уровней GH (гормон роста) и IGF-1 (инсулиноподобный фактор роста) в группе VDS по сравнению с плацебо (p>0,05) [27].

Вместе с тем исследование Fitzgerald J. (2014) не подтверждает влияние витамина D на максимальное потребление кислорода (VO_2 peak) мышечной тканью. Уровень VO_2 peak оценивали у 52 хоккеистов из Миннесоты. VO_2peak используется для прогнозирования VO_2 max в случае, если плато в поглощении кислорода мышцами никогда не достигается (тест с субмаксимальной нагрузкой). В эксперименте корреляции между предсезонными и постсезонными значениями уровня 25(OH)D и VO_2 peak в данном исследовании не было обнаружено [28]. Рандомизированное плацебо-контролируемое исследование Todd J.J. et al. (2017) с участием 42 здоровых гэльских футболистов (ирландский национальный вид спорта) мужского и женского пола также показало отсутствие влияния повышенной концентрации 25(OH)D на VO_2 max (p=0,375), высоту вертикального прыжка (p=0,797), силу обеих рук (p=0,146 и p=0,266 соответственно), форсированную ЖЕЛ (p=0,573). Исходно 50% и 22% футболистов имели недостаточность витамина D (31-49 нмоль/л) и дефицит (менее 30 нмоль/л) соответственно. Применение витамина D в дозе 3000 МЕ (75 мкг) ежедневно в течение 12 недель восполнило его дефицит, но не оказало какого-либо значительного влияния на VO_2 max, функцию скелетных мышц или легких [29]. Исследование Skalska M. et al. (2019) также подтверждает отсутствие статистически значимых различий между группами плацебо и группами, принимавшими витамин D с целью улучшения показателей физической активности юных футболистов, занимавшихся высокоинтенсивными тренировками в течение 8-ми недель [30].

Однако прием витамина D может играть важную роль в предотвращении травм

скелетных мышц после упражнений с эксцен-эксцентрическим сокращением мышц у спортсменов [31-35]. В двойном слепом плацебо-контролируемом исследовании 24 бегуна были случайным образом разделены на две группы: первая группа атлетов в течение 3 недель принимала 2000 МЕ витамина D, вторая – плацебо. Все участники выполняли тесты с возрастающей нагрузкой и эксцентричекими упражнениями. Для определения взаимосвязи между применением витамина D в низкой дозировке и ранним выявлением повышенного риска мышечной усталости измерялись уровни таких биомаркеров как миоглобин, лактатдегидрогеназа, креатинфосфокиназа. Авторами была выдвинута гипотеза о том, что вызванная упражнениями более низкая секреция мышечных биомаркеров может зависеть от повышенного уровня 25(OH)D в сыворотке крови, а значит, концентрация кальцидиола в организме спортсменов может быть использована в качестве предиктора для раннего выявления эксцентрично-индуцированной мышечной усталости. Значительные различия между исходными уровнями 25(OH)D до и после применения витамина D были отмечены в первой группе ($p<0,05$). Применение витамина D способствовало снижению уровня тропонина непосредственно после тренировки и через 1 час после тренировки ($p=0,004$, $p=0,03$ соответственно), концентрации миоглобина через 1 час после тренировки ($p=0,01$) и уровня TNF-α (фактор некроза опухоли – альфа, $p<0,03$). Активность креатинкиназы через 24 часа после тренировки была значительно ниже в группе, получавшей витамин D ($p<0,05$), по сравнению с группой спортсменов, принимавших плацебо [36].

В исследовании Mielgo-Ayuso J. (2018) показано, что пероральный прием 3000 МЕ витамина D в день в течение 8 недель помогает избежать снижения гематологических показателей (гемоглобина и гематокрита), а также повышает уровень трансферрина [37]. Ferrari D. et al. (2020) проанализировали сыворотки 29 профессиональных спортсменов-футболистов, обнаружили значительную корреляцию между 25(OH)D и уровнем активных форм кислорода (АФК), что подтверждает антиоксидантную роль кальцитриола и его способность предупреждать повреждающее действие АФК на нуклеиновые кислоты и белки [38]. По результатам исследования, учеными предложено дополнительное употребление витамина D для снижения АФК, которые увеличивают риск нейродегенеративных заболеваний, наблюдаемых у профессиональных спортсменов.

В исследовании Owens D. J. (2017) 46 спортсменов получали 35 000 или 70 000 МЕ витамина D в неделю в течение 12 недель. Обе дозы привели к значительному увеличению сывороточных 25(OH)D и $1,25(OH)_2D$. Прием высоких доз витамина D_3 (70000 МЕ в неделю) может оказывать вред здоровью спортсменов из-за увеличения содержания 25(OH)D в сыворотке крови. Предположено, что быстрый отказ от приема высоких доз витамина D может подавлять биоактивность кальцитриола в результате устойчивого увеличения концентраций гидроксикальцидиола ($24,25(OH)_2D$). Выдвинуты предположения, что более низкие дозы витамина D_3, принимаемые часто, могут быть более подходящими, а постепенный по сравнению с быстрым отказ более благоприятен для здоровья [39]. Backx E.M. et al. (2016) предлагают спортсменам с недостаточной концентрацией 25(OH)D принимать в течение 3 месяцев 2200 МЕ/день витамина D для устранения его дефицита или недостаточности [40].

Водорастворимая форма витамина D наиболее оптимальна для применения спортсменами вследствие того, что атлеты испытывают более высокую потребность в воде, восполняя её употреблением электролитных растворов. Следовательно, оправдано дополнительное обогащение специальных растворов электролитов водорастворимым витамином D. Примером водорастворимой формы является мицеллярный раствор колекальциферола, обладающий высокой степенью всасывания и с минимальной зависимостью от вида принимаемой пищи и лекарственных препаратов [7]. В настоящее время наиболее перспективным является индивидуализированный подход к выбору доз витамина D для достижения наилучшего клинического эффекта. Также рациональный подбор терапии включает применение макро- и микроэлементов, таких, как магний, который имеет решающее значение для активации витамина D [41], что согласуется с мнением ряда авторов [42-45].

Таким образом, постоянный контроль концентрации 25(OH)D в сыворотке крови спортсменов является неотъемлемой составляющей в разработке рекомендаций для улучшения здоровья и спортивных результатов в тренировочном и соревновательном режимах. Индивидуальная коррекция витамина D должна проводиться в соответствии с изменениями его уровня у каждого спортсмена. Выявление оптимальных дозировок витамина D для

коррекции дефицитных состояний у спортсме-спортсменов требует дальнейшего исследования.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Авторы заявляют об отсутствии финансирования.

ЛИЧНЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ

Саркисян Н.Г. – руководитель работы, окончательное утверждение для публикации рукописи; Гайсина Е.Ф. – обоснование рукописи и проверку критически важного интеллектуального содержания; Добринская М.Н. – сбор и анализ материалов данных литературы, перевод литературных источников; Шмакова М.А., Астрюхина П.И. – сбор и анализ материалов данных литературы, написание статьи; Госьков А.С. – создание иллюстраций и поиск информации.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Российская ассоциация эндокринологов. *Клинические рекомендации. Дефицит витамина D у взрослых: диагностика, лечение и профилактика.* Москва, 2015. 75 с. [Russian Association of Endocrinologists. *Clinical recommendations. Vitamin D deficiency in adults: diagnosis, treatment and prevention.* Moscow, 2015. 75 p .]
2. Gil Á., Plaza-Diaz J., Mesa M.D. Vitamin D: Classic and Novel Actions. *Ann Nutr Metab.* 2018;72(2): 87–95. DOI: 10.1159/000486536.
3. Саркисян Н.Г., Гайсина Е.Ф., Добринская М.Н., Потоцкая А.Д. Физиологические механизмы действия витамина D в тканях и органах полости рта и возможность его применения в профилактической стоматологии (обзор литературы). *Человек и его здоровье.* 2022;25(3):42–52 [Sarkisyan N.G., Gaisina E.F., Dobrinskaya M.N., Pototskaya A.D. Physiological mechanisms of action of vitamin D in oral tissues and organs and the possibility of its use in preventive dentistry (literature review). *Humans and their health.* 2022;25(3):42–52 (in Russ.)]. DOI: 10.21626/vestnik/2022-3/05. EDN: BIPASP.
4. Jeon S.M., Shin E.A. Exploring vitamin D metabolism and function in cancer. *Exp Mol Med.* 2018;50(4):1–14. DOI: 10.1038/s12276-018-0038-9.
5. Vitamin D and health report. The Scientific Advisory Committee on Nutrition (SACN) recommendations on vitamin D. *Public Health England.* 2016. 289 p.
6. Thomas D.T., Erdman K.A., Burke L.M. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic Performance. *J Acad Nutr Diet.* 2016;116(3):501–528. DOI: 10.1016/j.jand.2015.12.006. Erratum in: *J Acad Nutr Diet.* 2017 Jan;117(1):146.
7. Haines S.T., Park S.K. Vitamin D supplementation: what's known, what to do, and what's needed. *Pharmacotherapy.* 2012;32(4):354–382. DOI: 10.1002/phar.1037.
8. *Государственный реестр лекарственных средств Российской Федерации.* [*State Register of Medicines of the Russian Federation*]. URL: http://grls.rosminzdrav.ru/grls.aspx
9. Valtueña J., Dominguez D., Til L., González-Gross M., Drobnic F. High prevalence of vitamin D insufficiency among elite Spanish athletes the importance of outdoor training adaptation. *Nutr Hosp.* 2014;30(1):124–131. DOI: 10.3305/nh.2014.30.1.7539.
10. Петрова Н.Н., Дорофейков В.В., Смирнов М.С., Сергеев Г.А. Взаимосвязь психологических характеристик, биохимических показателей крови и спортивных результатов квалифицированных биатлонистов. *Здоровье – основа человеческого потенциала. Проблемы и пути их решения.* 2020;15(2):982–988. [Petrova N.N., Dorofeykov V.V., Smirnov M.S., Sergeyev G.A. The relationship of psychological characteristics, biochemical parameters of blood and sports results of qualified biathletes. *Zdorovye – osnova chelovecheskogo potentsiala. Problemy I puti ih resheniya.* 2020;15(2):982–988 (in Russ)]. EDN: UJPMNE.
11. Бабиенко В.В., Шаныхин А.В., Анхелюцова О.О. Гигиеническая оценка уровня витамина Д атлетов в Одессе. *Здоровье, физическая культура и спорт.* 2019;4(15):252–256 [BabienkoV.V., Shanykhin A.V., AnhelutsovaO.O. [Hygienic assessment of vitamin D levels in athletes of the Odessa Region. *Health, Physical Culture and Sports.* 2019;4(15): 252–256 (In Russ.)]
12. Krzywanski J., Mikulski T., Krysztofiak H., Mlynczak M., Gaczynska E., Ziemba A. Seasonal Vitamin D Status in Polish Elite Athletes in Relation to Sun Exposure and Oral Supplementation. *PLoS One.* 2016;11(10):e0164395. DOI: 10.1371/journal.pone.0164395.
13. Aydın C.G., Dinçel Y.M., Arıkan Y., Taş S.K., Deniz S. The effects of indoor and outdoor sports participation and seasonal changes on vitamin D levels in athletes. *SAGE Open Med.* 2019;7:2050312119837480. DOI: 10.1177/2050312119837480.
14. Bezuglov E., Tikhonova A., Zueva A., Khaitin V., Waśkiewicz Z., Gerasimuk D., Żebrowska A., Rosemann T., et al. Prevalence and Treatment of Vitamin D Deficiency in Young Male Russian Soccer Players in Winter. *Nutrients.* 2019;11(10):2405. DOI: 10.3390/nu11102405.
15. Никитюк Д.В., Погожева А.В., Кешебянц Е.Е. Оценка фактического питания и пищевого статуса спортсменов-единоборцев. *Спортивная медицина: наука и практика.* 2018;8(2):47–53 [Nikityuk D.V., Pogozheva A.V., Keshabyants E.E. Evaluation of the actual nutrition and nutritional status of combatathletes. *Sportivnaya meditsina:*

nauka I praktika. 2018;8(2):47–53 (in Russ.)]. DOI:10.17238/ISSN2223-2524.2018.2.47. EDN: YOGKEP.

16. Кешебянц Т.В., Денисова Н.Н., Погожева А.В., Мартынчук А.Н. Оценка фактического питания и пищевого статуса спортсменов циклических видов спорта. *Спортивная медицина: Наука и практика.* 2019;9(2):39–45 [KeshabyantsE.E., DenisovaN.N., PogozhevaA.V., MartinchikA.N. Evaluation of the actual nutrition and nutritional status of cyclic sports athletes *Sportivnayameditsina: nauka i praktika.* 2019;9(2):39–45 (in Russ.)]. DOI:10.17238/ISSN2223-2524.2019.2.39. EDN: SYIDSJ.
17. Tomlinson P.B., 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. *J Sci Med Sport.* 2015;18(5):575–580. DOI: 10.1016/j.jsams.2014.07.022.
18. Zhang L., Quan M., Cao Z.B. Effect of vitamin D supplementation on upper and lower limb muscle strength and muscle power in athletes: A meta-analysis. *PLoS One.* 2019;14(4):e0215826. DOI: 10.1371/journal.pone.0215826.
19. Książek A., Zagrodna A., Słowińska-Lisowska M. Vitamin D, Skeletal Muscle Function and Athletic Performance in Athletes-A Narrative Review. *Nutrients.* 2019;11(8):1800. DOI: 10.3390/nu11081800.
20. Owens D.J., Sharples A.P., Polydorou I., Alwan N., Donovan T., Tang J., Fraser W.D., Cooper R.G., et al. A systems-based investigation into vitamin D and skeletal muscle repair, regeneration, and hypertrophy. A*m J Physiol Endocrinol Metab.* 2015;309(12):E1019–1031. DOI: 10.1152/ajpendo.00375.2015.
21. Seo M.W., Song J.K., Jung H.C., Kim S.W., Kim J.H., Lee J.M. The Associations of Vitamin D Status with Athletic Performance and Blood-borne Markers in Adolescent Athletes: A Cross-Sectional Study. *Int J Environ Res Public Health.* 2019;16(18):3422. DOI: 10.3390/ijerph16183422.
22. Carswell A.T., Oliver S.J., Wentz L.M., Kashi D.S., Roberts R., Tang J.C.Y., Izard R.M., Jackson S., et al. Influence of Vitamin D Supplementation by Sunlight or Oral D3 on Exercise Performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2018;50(12):2555–2564. DOI: 10.1249/MSS.0000000000001721.
23. Forney L.A., Earnest C.P., Henagan T.M., Johnson L.E., Castleberry T.J., Stewart L.K. Vitamin D status, body composition, and fitness measures in college-aged students. *J Strength Cond Res.* 2014;28(3):814–824. DOI: 10.1519/JSC.0b013e3182a35ed0.
24. Jastrzębska M., Kaczmarczyk M., Michalczyk M., Radzimiński Ł., Stępień P., Jastrzębska J., Wakuluk D., Suárez A.D., et al. Can Supplementation of Vitamin D Improve Aerobic Capacity in Well Trained Youth Soccer Players. *J Hum Kinet.* 2018;61:63–72. DOI:10.2478/hukin-2018-0033.
25. Bezrati I., Ben Fradj M.K., Hammami R., Ouerghi N., Padulo J., Feki M. A single mega dose of vitamin D3 improves selected physical variables in vitamin D-deficient young amateur soccer players: a randomized controlled trial. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2020;45(5):478–485. DOI: 10.1139/apnm-2019-0525.
26. Alimoradi K., Nikooyeh B., Ravasi A.A., Zahedirad M., Shariatzadeh N., Kalayi A., Neyestani T.R. Efficacy of Vitamin D Supplementation in Physical Performance of Iranian Elite Athletes. *Int J Prev Med.* 2019;10:100. DOI: 10.4103/ijpvm.IJPVM_227_18.
27. Ramezani Ahmadi A., Mohammadshahi M., Alizadeh A., Ahmadi Angali K., Jahanshahi A. Effects of vitamin D3 supplementation for 12 weeks on serum levels of anabolic hormones, anaerobic power, and aerobic performance in active male subjects: A randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Eur J Sport Sci.* 2020;20(10):1355–1367. DOI: 10.1080/17461391.2020.1713218.
28. Fitzgerald J.S., Peterson B.J., Warpeha J.M., Wilson P.B., Rhodes G.S., Ingraham S.J. Vitamin D status and V[combining dot above]O2peak during a skate treadmill graded exercise test in competitive ice hockey players. *J Strength Cond Res.* 2014;28(11):3200–3205. DOI: 10.1519/JSC.0000000000000523.
29. Todd J.J., McSorley E.M., Pourshahidi L.K., Madigan S.M., Laird E., Healy M., Magee P.J. Vitamin D3 supplementation using an oral spray solution resolves deficiency but has no effect on VO2 max in Gaelic footballers: results from a randomised, double-blind, placebo-controlled trial. *Eur J Nutr.* 2017;56(4):1577–1587. DOI: 10.1007/s00394-016-1202-4.
30. Skalska M., Nikolaidis P.T., Knechtle B., Rosemann T.J., Radzimiński Ł., Jastrzębska J., Kaczmarczyk M., Myśliwiec A., et al. Vitamin D Supplementation and Physical Activity of Young Soccer Players during High-Intensity Training. *Nutrients.* 2019;11(2):349. DOI: 10.3390/nu11020349.
31. Bouillon R., Manousaki D., Rosen C., Trajanoska K., Rivadeneira F., Richards J.B. The health effects of vitamin D supplementation: evidence from human studies. *Nat Rev Endocrinol.* 2022;18(2):96–110. DOI: 10.1038/s41574-021-00593-z.
32. Bilezikian J.P., Formenti A.M., Adler R.A., Binkley N., Bouillon R., Lazaretti-Castro M., Marcocci C., Napoli N., et al. Vitamin D: Dosing, levels, form, and route of administration: Does one approach fit all? *Rev Endocr Metab Disord.* 2021;22(4):1201–1218. DOI: 10.1007/s11154-021-09693-7.
33. Okoye C., Calsolaro V., Niccolai F., Calabrese A.M., Franchi R., Rogani S., Coppini G., Morelli V., et al. A Randomized, Open-Label Study to Assess Efficacy of Weekly Assumption of Cholecalciferol versus Calcifediol in Older Patients with Hypovitaminosis D. *Geriatrics (Basel).* 2022;7(1):13. DOI: 10.3390/geriatrics7010013.
34. Gonnelli S., Pitinca M.D.T., Camarri S., Lucani B., Franci B., Nuti R., Caffarelli C. Pharmacokinetic profile and effect on bone markers and muscle strength of two daily dosage regimens of calcifediol in osteopenic/osteoporoticpostmenopausal women. *Aging Clin Exp Res.* 2022;7(1):13.
35. Buttriss J.L., Lanham-New S.A., Steenson S., Levy L., Swan G.E., Darling A.L., Cashman K.D., Allen R.E.,

et al. Implementation strategies for improving vita-vitamin D status and increasing vitamin D intake in the UK: current controversies and future perspectives: proceedings of the 2nd Rank Prize Funds Forum on vitamin D. *Br J Nutr.* 2022;127(10):1567–1587. DOI: 10.1017/S0007114521002555. Erratum in: *Br J Nutr.* 2022 Apr 11;:1.

36. Żebrowska A., Sadowska-Krępa E., Stanula A., Waśkiewicz Z., Łakomy O., Bezuglov E., Nikolaidis P.T., Rosemann T., et al. The effect of vitamin D supplementation on serum total 25(OH) levels and biochemical markers of skeletal muscles in runners. *J Int Soc Sports Nutr.* 2020;17(1):18. DOI: 10.1186/s12970-020-00347-8.
37. Mielgo-Ayuso J., Calleja-González J., Urdampilleta A., León-Guereño P., Córdova A., Caballero-García A., Fernandez-Lázaro D. Effects of Vitamin D Supplementation on Haematological Values and Muscle Recovery in Elite Male Traditional Rowers. *Nutrients.* 2018;10(12):1968. DOI: 10.3390/nu10121968.
38. Ferrari D., Lombardi G., Strollo M., Pontillo M., Motta A., Locatelli M. A Possible Antioxidant Role for Vitamin D in Soccer Players: A Retrospective Analysis of Psychophysical Stress Markers in a Professional Team. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(10):3484. DOI: 10.3390/ijerph17103484.
39. Owens D.J., Tang J.C., Bradley W.J., Sparks A.S., Fraser W.D., Morton J.P., Close G.L. Efficacy of High-Dose Vitamin D Supplements for Elite Athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 2017;49(2):349–356. DOI: 10.1249/MSS.0000000000001105.
40. Backx E.M., Tieland M., Maase K., Kies A.K., Mensink M., van Loon L.J., de Groot L.C. The impact of 1-year vitamin D supplementation on vitamin D status in athletes: a dose-response study. *Eur J Clin Nutr.* 2016;70(9):1009–1014. DOI: 10.1038/ejcn.2016.133.
41. de la Puente Yagüe M., Collado Yurrita L., Ciudad Cabañas M.J., Cuadrado Cenzual M.A. Role of Vitamin D in Athletes and Their Performance: Current Concepts and New Trends. *Nutrients.* 2020;12(2):579. DOI: 10.3390/nu12020579.
42. Pérez-Castrillón J.L., Dueñas-Laita A., Brandi M.L., Jódar E., Del Pino-Montes J., Quesada-Gómez J.M., Cereto Castro F., Gómez-Alonso C., et al. Calcifediol is superior to cholecalciferol in improving vitamin D status in postmenopausal women: a randomized trial. *J Bone Miner Res.* 2021;36(10):1967–1978. DOI: 10.1002/jbmr.4387.
43. Alabajos-Cea A., Herrero-Manley L., Suso-Martí L., Viosca-Herrero E., Cuenca-Martínez F., Varangot-Reille C., Blanco-Díaz M., Calatayud J., et al. The Role of Vitamin D in Early Knee Osteoarthritis and Its Relationship with Their Physical and Psychological Status. *Nutrients.* 2021;13(11):4035. DOI: 10.3390/nu13114035.
44. Fraser D.R. Physiological significance of vitamin D produced in skin compared with oral vitamin D. *J Nutr Sci.* 2022;11:e13. DOI: 10.1017/jns.2022.11.
45. Awadh A.A., Hilleman D.E., Knezevich E., Malesker M.A., Gallagher J.C. Vitamin D supplements: The pharmacists' perspective. *J Am Pharm Assoc (2003).* 2021;61(4):e191–e201. DOI: 10.1016/j.japh.2021.02.002.

Поступила в редакцию 24.01.2023
Подписана в печать 19.05.2023

Для цитирования: Саркисян Н.Г., Гайсина Е.Ф., Добринская М.Н., Шмакова М.А., Астрюхина П.И., Госьков А.С. Обзор литературы: фармакологические эффекты витамина D в организме для повышения спортивных результатов. *Человек и его здоровье.* 2023;26(1):53–63. DOI: 10.21626/vestnik/2023-1/07. EDN: ZXSPTL

LITERATURE REVIEW: PHARMACOLOGICAL EFFECTS OF VITAMIN D IN THE BODY TO ENHANCE ATHLETIC PERFORMANCE

© *Sarkisyan N.G.[1], Gaisina E.F.[1], Dobrinskaya M.N.[1], Shmakova M.A.[1], Astryukhina P.I.[1], Goskov A.S.[2]*

[1] **Ural State Medical University (USMU)**
3, Repin St., Ekaterinburg, Sverdlovsk Region, 620028, Russian Federation
[2] **Ural Federal University (UrFU)**
19, Mira St., Yekaterinburg, Sverdlovsk Region, 620002, Russian Federation

Studies (domestic and foreign) on the effect of vitamin D on muscle strength, muscle recovery rate, maximum oxygen consumption and prevention of skeletal muscle injury reduction have been analyzed. At the same time it was found that athletes are susceptible to hypovitaminosis no less often than standard population groups due to higher physical loads. It is unequivocally possible to say that vitamin D supplementation improves the physical fitness of athletes and can correct their condition in the autumn-spring period.

Objective: an analysis of literature data based on the significance of the pharmacological effects of vitamin D in the functioning of the musculoskeletal system of the body and its role of improving athletic performance.

Material and methods. The Pubmed/MEDLINE digital scientific library was chosen as the main source of information. Additionally, the search included the repositories of open access preprints from eLIBRARY.RU for 2016-2022. Key words for the search query were "vitamin D," "calcitriol," "sports," and "athletes." The results of the study are reported taking into account PRISMA recommendations.

Results. Duration and quality of insolation directly affect vitamin D levels. Additional sun exposure combined with the use of vitamin D preparations contributes to the elimination of vitamin D deficiency. Vitamin D deficiency can lead to decreased intranuclear VDR concentrations and decreased VDR gene expression, which contributes to myopathy following atrophy of type IIA muscle fibers. Additional enrichment of special electrolyte solutions with water-soluble vitamin D is reasonable.

Conclusion. Continuous monitoring of the concentration of 25(OH)D in the blood serum of athletes is an integral part in the development of recommendations for improving health and sports performance in training and competitive regimes. Individual correction of vitamin D should be carried out in accordance with changes in its level in each athlete.

Keywords: vitamin D; muscles; sportsmen; calcium; calcitriol; sports; muscle strength.

Sarkisyan Narine G. – Dr. Sci. (Med.), Associate Professor at the Department of Therapeutic dentistry and propedeutics of dental diseases, USMU, Yekaterinburg, Russian Federation. ORCID iD: 0000-0002-6175-5752. E-mail: narine_25@mail.ru

Gaysina Elena F. – Cand. Sci. (Med.), Associate Professor at the Department of Therapeutic dentistry and propedeutics of dental diseases, USMU, Yekaterinburg, Russian Federation. ORCID iD: 0000-0003-1223-5790. E-mail: egaisina68@mail.ru

Dobrinskaya Mariya N. – Cand. Sci. (Med.), Associate Professor at the Department of Pharmacology and clinical pharmacology, USMU, Yekaterinburg, Russian Federation. ORCID iD: 0000-0001-9208-9417 E-mail: maria-nd@mail.ru

Shmakova Milana A. – student, USMU, Yekaterinburg, Russian Federation. E-mail: milana.shmakova@yandex.ru

Astryukhina Polina I. – student, USMU, Yekaterinburg, Russian Federation. . E-mail: astryukhina_polina@mail.ru (corresponding autor)

Gos'kov Artyom S. – Master's student at the Institute of Physical Culture and Youth Policy, UrFU, Yekaterinburg, Russian Federation. E-mail: gasya1996@list.r u

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

SOURCE OF FINANCING

The authors state that there is no funding for the study.

AUTHORS CONTRIBUTION

Sarkisyan N.G. — head of work, was responsible for the final approval for publication of the manuscript; Gaisina E.F. — was responsible for substantiating the manuscript and reviewing critical intellectual content; Dobrinskaya M.N. — was responsible for the search and analysis of literature data materials, translation of literary sources; Shmakova M.A., Astryukhina P.I. — were responsible for the search and analysis of literature data materials, writing the article; Goskov A.S. – was responsible for illustrations and literature searching.

Received 24.01.2023
Accepted 19.05.2023

For citation: SarkisyanN.G., GaisinaE.F., DobrinskayaM.N., ShmakovaM.A., AstryukhinaP.I., Goskov A.S. Literature review: pharmacological effects of vitamin D in the body to enhance athletic performance. *Humans and their health.* 2023;26(1):53–63. DOI: 10.21626/vestnik/2023-1/07. EDN: ZXSPTL