

DOI: 10.33266/2782-6430-2024-2-05-10

А.С. Самойлов¹, Н.В. Рылова^{1,2}, А.В. Жолинский², И.В. Большаков¹

ВЛИЯНИЕ ДЕФИЦИТА ВИТАМИНА Д НА ФИЗИЧЕСКУЮ ФОРМУ И РАБОТОСПОСОБНОСТЬ СПОРТСМЕНОВ

¹ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва²Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации ФМБА России, Москва

Контактное лицо: Рылова Наталья Викторовна: rilovanv@mail.ru

Резюме

Цель: Исследование влияния дефицита витамина Д на физическую форму и работоспособность спортсменов.

Материал и методы: Выполнен анализ данных отечественной и зарубежной литературы о влиянии дефицита витамина Д на физическую форму и работоспособность спортсменов. Поиск проводился с использованием электронных баз данных MEDLINE, Embase, Scopus, Web of Science, eLIBRARY за период с 2007 г. по 2022 г. Для поиска мы использовали ключевые слова и их сочетания: «спортсмены», «физическая работоспособность», «стрессовый перелом», «витамин Д». Всего проанализировано 33 источника.

Результаты: Витамин Д играет важную роль в организме человека. При его дефиците у спортсменов наблюдаются повышение риска травм, снижение функциональных способностей мышц и увеличение риска стрессовых переломов костей. Длительный и выраженный дефицит данного витамина у спортсменов приводит к ухудшению общего самочувствия, нарушению функционирования практически всех систем организма, снижению уровня работоспособности и спортивной результативности. Основопологающим методом лечения и профилактики дефицита витамина Д у спортсменов является коррекция образа жизни, тренировочного графика и прием специализированных добавок, содержащих холекальциферол.

Обсуждение: Необходимое количество потребления холекальциферола варьируется от 400 до 2000 МЕ/день в зависимости от многих факторов, включая продолжительность пребывания на солнце в течение дня, возраст, пол, выраженность дефицита, этническую принадлежность и т.д. Спортсменам необходимо также потреблять достаточное количество микро- и макроэлементов, особенно кальция и магния. При приеме холекальциферола следует принимать во внимание возможность интоксикации, которая возникает вследствие потребления чрезмерного количества добавок этого витамина.

Выводы: На данный момент в связи с широкой распространенностью дефицита витамина Д у спортсменов и его негативным влиянием на здоровье и работоспособность атлета существует необходимость проведения более активных мероприятий, направленных на своевременную диагностику данного гиповитаминоза и его лечение.

Ключевые слова: спортсмены, физическая работоспособность, холекальциферол, стрессовый перелом, витамин Д

Для цитирования: Самойлов А.С., Рылова Н.В., Жолинский А.В., Большаков И.В. Влияние дефицита витамина Д на физическую форму и работоспособность спортсменов // Клинический вестник ФМБЦ им. А.И. Бурназяна 2024. №2. С. 05–10. DOI: 10.33266/2782-6430-2024-2-05-10

DOI: 10.33266/2782-6430-2024-2-05-10

A.S. Samoylov¹, N.V. Rylova^{1,2}, A.V. Zholinskiy², I.V. Bolshakov¹

The Effect of Vitamin D Deficiency on the Physical Fitness and Performance of Athletes

¹International Office, State Research Center - Burnasyan Federal Medical Biophysical Center
of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia²Federal scientific and clinical center for sports medicine and rehabilitation of the FMBA of Russia, Moscow

Contact person: Rylova Natal'ya Victorovna: rilovanv@mail.ru

Abstract

Purpose: Study of the effect of vitamin D deficiency on the physical fitness and performance of athletes, as well as providing up-to-date information on the diagnosis and treatment of this hypovitaminosis.

Material and methods: The data of domestic and foreign literature on the effect of vitamin D deficiency on the physical form and performance of athletes were analyzed. The search was carried out using electronic databases MEDLINE, Embase, Scopus, Web of Science, eLIBRARY for the period from 2007 to 2022. For the search, we used keywords and their combinations: "athletes", "physical performance", "stress fracture", "vitamin D". A total of 33 sources were analyzed.

Results: Vitamin D plays an important role in the human body. With its deficiency in athletes, there is an increase in the risk of injury, a decrease in the functional abilities of muscles and an increase in the risk of stress fractures of bones. A prolonged and pronounced deficiency of this vitamin in athletes leads to a deterioration in general well-being, a disruption in the functioning of almost all body systems, a decrease in the level of working capacity and sports performance. The fundamental method of treatment and prevention of vitamin D deficiency in athletes is the correction of lifestyle, training schedule and the use of specialized supplements containing cholecalciferol.

Discussion: The required amount of cholecalciferol intake varies from 400 to 2000 IU / day, depending on many factors, including the amount of sun exposure during the day, age, gender, severity of deficiency, ethnicity, etc. Athletes also need to consume sufficient amounts of micro- and macronutrients, especially calcium and magnesium. When taking cholecalciferol, one should take into account the possibility of intoxication, which occurs due to the consumption of excessive amounts of supplements of this vitamin.

Conclusions: At the moment, due to the widespread prevalence of vitamin D deficiency in athletes and its negative impact on the health and performance of an athlete, there is a need for more active measures aimed at the timely diagnosis of this hypovitaminosis and its treatment.

Keywords: *athletes, physical performance, cholecalciferol, stress fracture, vitamin D*

For citation: Samoylov AS, Rylova NV, Zholinskiy AV, Bolshakov IV. The Effect of Vitamin D Deficiency on the Physical Fitness and Performance of Athletes A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center Clinical Bulletin. 2024.2:05-10. (In Russian) DOI: 10.33266/2782-6430-2024-2-05-10

Введение

Для спортсменов питание является важным фактором, обуславливающим поддержание оптимальной физической работоспособности и быстрое восстановление организма после соревнований и тренировок. Поэтому атлетам для удовлетворения потребностей в питательных веществах требуется разнообразный, сбалансированный по своему составу рацион, включающий качественные пищевые продукты и различные добавки. Однако несмотря на адекватное потребление ключевых питательных субстанций (белки, жиры и углеводы), у спортсменов все же может развиться дефицит определенных веществ, что может негативно сказаться на их самочувствии, физической работоспособности и спортивной результативности. В последнее время в спортивном питании уделяется все больше внимания потреблению витамина Д [1]. Данное вещество играет важную роль в поддержании общего состояния здоровья человека. Было показано, что витамин Д участвует в иммунных процессах, воспалительных реакциях, росте клеток, синтезе белков и гормонов, мышечно-скелетной регуляции, а также способствует поддержанию оптимального состояния опорно-двигательного аппарата и сердечно-сосудистой системы [2, 3].

Витамин Д существует в двух биологически неактивных формах: холекальциферол (витамин Д₃) и эргокальциферол (витамин Д₂). Холекальциферол синтезируется в коже в результате взаимодействия ультрафиолетового излучения с 7-дегидрохолестеролом, который хранится внутри плазматической мембраны каждой клетки кожи. Эргокальциферол в свою очередь поступает в организм при употреблении богатых белком продуктов, таких как яичный желток, грибы, рыба и молочные продукты [1]. Вышеупомянутые формы витамина Д биологически инертны и должны пройти два этапа гидроксирования в организме для активации, в результате чего образуются кальцитриол и кальцитриол. Активный метаболит (кальцитриол) далее транспортируется через кровоток с помощью специфических белков, достигая многочисленных скелетных и внескелетных органов-мишеней [4]. Последняя реакция гидроксирования протекает преимущественно в почках, однако может также происходить в других тканях организма, в которых присутствует фермент CYP27B1. По последним данным кальцитриол воздействует на ткани организма не только через эндокринный путь, но и через аутокринный, модулируя активность до 2000 генов [5].

В настоящее время существует большая проблема гиповитаминоза витамина Д. По разным оцен-

кам более одного миллиарда человек в мире страдают от дефицита данного вещества и связанных с ним заболеваний [6]. При этом наблюдается тенденция к прогрессивному росту распространенности данной патологии среди населения, в том числе в популяции спортсменов. Последние данные свидетельствуют о том, что среди спортсменов распространенность недостаточности и дефицита витамина Д составляет от 26% до 80% [1]. Принимая во внимание колоссальный уровень нагрузок, которым подвергаются профессиональные атлеты, и повышенные требования к физической работоспособности, крайне важна своевременная диагностика гиповитаминоза и его лечение. Целью нашего обзора явилось исследование влияния дефицита витамина Д на физическую форму и работоспособность спортсменов, а также предоставление актуальной информации по вопросам диагностики и лечения данного гиповитаминоза.

Цель

Исследование влияния дефицита витамина Д на физическую форму и работоспособность спортсменов.

Материал и методы

Выполнен анализ данных отечественной и зарубежной литературы о влиянии дефицита витамина Д на физическую форму и работоспособность спортсменов. Поиск проводился с использованием электронных баз данных MEDLINE, Embase, Scopus, Web of Science, eLIBRARY за период с 2007 г. по 2022 г. Для поиска мы использовали ключевые слова и их сочетания: «спортсмены», «физическая работоспособность», «стрессовый перелом», «витамин Д». Всего проанализировано 33 источника.

Результаты

Витамин Д и костно-мышечная система

Основными функциями витамина Д является поддержание гомеостаза кальция и фосфатов в сыворотке крови и обеспечение оптимального роста и развития костей. Хронический дефицит данного витамина приводит к вторичному гиперпаратиреозу, что может вызвать чрезмерную мобилизацию кальция из костей и снижение их минеральной плотности [1]. Было исследовано, что длительный недостаток витамина Д может привести к возникновению стрессовых переломов у спортсменов [7]. Сообщается, что частота стрессовых переломов у спортсменов с низким уровнем витамина Д была на 12% выше, чем у спортсменов с нормальным уровнем витамина Д [8]. При этом в другом недавнем исследовании авторы продемон-

стрировали, что включение в рацион добавок витамина Д снижает частоту стрессовых переломов с 7,51% до 1,65% у спортсменов с установленной недостаточностью или дефицитом витамина Д [9]. Существуют данные, свидетельствующие о замедлении лечения повреждения костей при недостатке данного витамина [10]. Также стоит отметить, что дефицит витамина Д повышает риск возникновения острых травм связок, хрящей, мышц и сухожилий. По результатам исследования 76,5% пациентов с травмами связок и хрящей и 54,6% пациентов с травмами мышц/сухожилий имели низкий уровень витамина Д в крови [11]. Конкретные механизмы повышения травматизма мягких тканей при данном авитаминозе нуждаются в дальнейших исследованиях.

Весьма важно рассмотреть влияние витамина Д на мышечную функцию. Было показано, что холекальциферол может снижать выраженность острых мышечных повреждений, вызванных высокоинтенсивными упражнениями. Сообщается о более быстром восстановлении мышечной силы после интенсивных тренировок у спортсменов с высоким уровнем кальцидиола в сыворотке перед тренировкой [12]. Кроме того, было обнаружено, что 93% спортсменов с общими клиническими симптомами неспецифической мышечно-скелетной боли имели дефицит витамина Д [13]. Такие эффекты витамина Д могут быть опосредованы его противовоспалительной и антиоксидантной активностью. Было установлено, что высокий уровень кальцидиола в сыворотке связан со снижением продукции провоспалительных цитокинов (интерлейкин-6, интерферон- γ , интерлейкин-2 и TNF- α) и увеличением продукции противовоспалительных цитокинов (трансформирующий фактор роста, интерлейкины-4, -10 и -13). Также содержание кальцидиола в крови отрицательно коррелирует с содержанием активных форм кислорода [14].

Недавние исследования показывают, что недостаточность витамина Д в значительной степени связана с физической работоспособностью спортсменов, особенно с такими показателями как мощность и сила. Сообщается о том, что профессиональные футболисты с тяжелым дефицитом холекальциферола имели более низкие значения пикового крутящего момента в недоминантной ноге по сравнению с теми спортсменами, у которых уровень витамина Д был в пределах нормы [15]. В другом исследовании была обнаружена значительная корреляция между уровнем витамина Д в сыворотке крови и такими показателями работоспособности, как вертикальный прыжок, прыжок в обратном направлении и время спринта [16]. Положительные эффекты холекальциферола на физическую работоспособность вероятно объясняются тем, что витамин Д является мощным модулятором физиологических процессов в скелетных мышцах. Данный витамин активирует экспрессию генов, влияющих на рост и дифференцировку мышечной ткани, содержащей преимущественно быстросокращающиеся волокна (тип II) [1]. Было исследовано, что холекальциферол за счет геномного механизма спо-

собствует пролиферации и дифференцировке мышечных клеток, а с помощью нетранскрипционного сигнального пути усиливает взаимодействие между миозином и актином в саркомере, увеличивая силу мышечного сокращения [1]. Также витамин Д может способствовать транспорту кальция из саркоплазматического ретикулума и увеличению эффективности его связывания в участках, ответственных за мышечное сокращение, что ведет к улучшению контрактильной функции скелетной мускулатуры [17]. При исследовании биоптатов мышц у лиц с дефицитом витамина Д были обнаружены увеличенные межфибриллярные пространства, жировая инфильтрация и признаки фиброза [13].

Таким образом, адекватное потребление витамина Д является важным фактором поддержания оптимального состояния костной и мышечной тканей. При его дефиците наблюдаются повышение риска травм, снижение функциональных способностей мышц и увеличение риска стрессовых переломов костей.

Витамин Д и другие системы организма

Помимо чрезвычайно важной роли витамина Д в обеспечении здоровья скелетно-мышечного аппарата, холекальциферол также необходим для адекватного функционирования других систем организма. Существуют данные, свидетельствующие о связи недостаточности витамина Д с нарушением функции легких, астмой и хронической обструктивной болезнью легких (ХОБЛ) [18]. Было показано, что дефицит витамина Д приводит к уменьшению объема легких и повышению реактивности дыхательных путей [1]. Таким образом, холекальциферол способствует целостности альвеолярной структуры и улучшению кислородного обмена.

Были представлены научные доказательства того, что дефицит витамина Д имеет долгосрочные неблагоприятные последствия для сердечно-сосудистой системы. Недостаточность витамина Д отрицательно влияет на сократительную способность сердца, содержание сердечного коллагена и созревание сердечной ткани [1]. Вероятным механизмом негативного влияния гиповитаминоза на сердечную функцию является развитие гипертрофии левого желудочка, вызванной повышением уровня паратиреоидного гормона. Данная гипертрофия может изменять наполняющую способность желудочка и фракцию выброса, что может привести к возможной гипоксии мышечной ткани и снижению спортивных результатов [19]. Также было обнаружено отрицательное влияние дефицита витамина Д на функцию сосудов. Недостаточность холекальциферола связана с повышенной жесткостью артерий, эндотелиальной дисфункцией в кровеносных сосудах, повышением артериального давления и развитием атеросклероза [20]. Таким образом, сочетание изменений в сердечно-сосудистой и дыхательной системах при дефиците витамина Д обуславливает отрицательное влияние данного гиповитаминоза на выносливость и аэробные способности спортсмена. Было исследовано, что низкий уровень витамина Д

у спортсменов снижает субмаксимальную физическую работоспособность, измеренную на беговой дорожке-эргометре [21]. В другом исследовании авторы сообщили, что у футболистов с установленным дефицитом холекальциферола после приема добавок витамина Д в течение 8 недель наблюдалось улучшение показателей максимального потребления кислорода (МПК) на 20% [22]. При этом была обнаружена значительная положительная корреляция между уровнями витамина Д и МПК.

Весьма важно рассмотреть роль витамина Д в функционировании центральной и периферической нервной системы. Рецепторы к витамину Д присутствуют во всех отделах головного мозга, включая первичную моторную кору, которая является областью, ответственной за координацию движений. Холекальциферол влияет на дифференцировку, созревание и рост нейронов. Он также оказывает прямое нейропротекторное действие за счет регуляции синтеза белков, которые принимают непосредственное участие в передаче нервных импульсов [23]. Влияние витамина Д на ГАМКергический тонус, а также на синтез и секрецию серотонина и дофамина имеет важное значение для улучшения мышечной координации и предотвращения центральной усталости - состояния, связанного с повышенной синаптической концентрацией некоторых нейротрансмиттеров [1]. Недавние исследования показывают, что дефицит холекальциферола также может привести к гипериннервации и ноцицептивной гиперчувствительности в глубоких мышечных тканях и потере равновесия без влияния на мышечную силу или кожную ноцицептивную реакцию [24]. Существует предположение, что гиперчувствительность в глубоких мышечных слоях может вызвать ложное появление миалгии во время физической активности и снизить работоспособность у людей с дефицитом витамина Д [1].

В различных исследованиях доказано, что витамин Д влияет на активность врожденного и адаптивного иммунитета. Рецепторы к данному витамину обнаруживаются в клетках, участвующих в иммунном ответе, включая Т- и В-лимфоциты, моноциты, макрофаги и нейтрофилы [6]. Дефицит холекальциферола может быть связан с повышенным риском развития инфекционных заболеваний (простуда, грипп, гастроэнтерит) и возникновением аутоиммунных расстройств [25]. Также, как было сказано выше, холекальциферол может уменьшать интенсивность воспалительной реакции за счет своего ингибирующего действия на выработку провоспалительных цитокинов, таких как интерлейкин-2, -6, интерферон и фактор некроза опухоли [14]. Показано, что дефицит витамина Д связан с повышенным уровнем эозинофилов и IgE, что обуславливает более тяжелое течение астмы как у взрослых, так и у детей [6].

Была обнаружена связь между некоторыми эндокринными заболеваниями и уровнем витамина Д. Установлено, что дефицит холекальциферола оказывает отрицательное воздействие на чувствительность тканей к инсулину и функцию бета-кле-

ток у людей с риском развития диабета 2 типа. Более того, поддержание адекватного уровня витамина Д, по-видимому, улучшает гликемический контроль и чувствительность к инсулину у больных диабетом 1 и 2 типа и у здоровых людей, в том числе и спортсменов [26]. Сообщалось также о связи между низким уровнем витамина Д и аутоиммунными заболеваниями щитовидной железы (тиреоидит Хашимото и т.д.) [6].

Таким образом, витамин Д играет важную роль в поддержании оптимального функционирования практически всех систем организма. При его дефиците наблюдается нарушение множества физиологических процессов, что отражается на общем самочувствии, уровне работоспособности и спортивной результативности.

Обсуждение

В настоящее время наиболее подходящим методом исследования содержания витамина Д в организме и диагностики его дефицита является определение концентрации в крови уровня общего 25-гидроксивитамина Д (кальцидиол) [27]. По наиболее распространенной классификации о дефиците данного витамина свидетельствует снижение концентрации кальцидиола менее 30 нмоль/л, недостаточность диагностируется при концентрации от 30 до 50 нмоль/л, уровень от 50 до 125 нмоль/л считается оптимальным. При получении значений концентрации кальцидиола в крови более 125 нмоль/л можно сделать заключение о гипервитаминозе витамина Д [28]. Средняя продолжительность жизни кальцидиола в плазме составляет примерно 15–20 дней, что обуславливает его популярность в качестве индикатора для диагностики гиповитаминоза [1]. При этом важно понимать, что концентрация кальцидиола отражает уровень потребления и синтеза витамина Д, а не его непосредственное содержание в тканях. Данная особенность может затруднить интерпретацию результатов при первичном обследовании атлета. В отличие от кальцидиола, 1,25-дигидроксивитамин Д (кальцитриол) обладает меньшей стабильностью (среднее время жизни составляет до 15 часов) и поэтому не является надежным индикатором уровня витамина Д в организме. Также концентрация кальцитриола в сыворотке строго регулируется паратиреоидным гормоном, что обуславливает снижение его уровня только в случае возникновения серьезного дефицита витамина Д [27]. Весьма перспективен метод измерения концентрации фракции 25-гидроксивитамина Д, которая не связана с белками плазмы и проявляет биологическую активность, т.е. может проходить через клеточную мембрану и, следовательно, выполнять свою функцию [29]. Эффективность, точность и возможность применения данного метода в клинических условиях нуждаются в дальнейших исследованиях.

Основополагающим методом лечения и профилактики дефицита витамина Д у спортсменов является коррекция образа жизни и тренировочного графика. Атлетам рекомендуется регулярно пребывать на солнце (минимум 30 минут ежедневно) и

употреблять продукты, богатые эргокальциферолом (лосось, сардины, сельдь и красное мясо) [1, 2]. Однако воздействия солнечного света и приема пищи может быть недостаточно для синтеза витамина Д, что диктует необходимость приема специализированных добавок. Среди различных добавок витамина Д рекомендуется к употреблению витамин D3 (холекальциферол), так как он характеризуется большей стабильностью, биодоступностью и абсорбцией по сравнению с другими формами [14]. Необходимое количество потребления холекальциферола варьируется от 400 до 2000 МЕ/день в зависимости от многих факторов, включая продолжительность пребывания на солнце в течение дня, возраст, пол, выраженность дефицита, этническую принадлежность и т.д. [30]. Недавние исследования показали, что в некоторых случаях спортсменам может потребоваться прием более 10 000 МЕ витамина Д в сутки, однако эффективность и безопасность потребления таких высоких доз нуждаются в дальнейших исследованиях [31]. Для профилактики развития стрессовых переломов и поддержания здоровья костно-мышечной системы наравне с приемом витамина Д спортсменам необходимо также потреблять достаточное количество микро- и макроэлементов, особенно кальция и магния. Было показано, что у атлетов после ежедневного приема 800 холекальциферола и 2000 мг кальция частота стрессовых переломов большеберцовой кости снижалась на 20% по сравнению с контрольной группой [32]. По современным данным спортсменам рекомендуется потреблять от 1500 мг до 2000 мг кальция в сутки [10]. Магний играет важную роль в минерализации костей, отчасти благодаря его положительному влиянию на синтез активного витамина Д. Недавние исследования свидетельствуют о том, что применение магния может потенцировать действие витамина Д и повышать эффективность лечения его дефицита [1].

При приеме холекальциферола следует принимать во внимание возможность интоксикации, которая возникает вследствие потребления чрезмерного количества добавок этого витамина. Симптомы передозировки витамина Д развиваются в результате возникающей гиперкальциемии, которая может при-

вести к анорексии, частому мочеиспусканию, чрезмерной жажде, тошноте, рвоте и, в тяжелых случаях, к изменению психического состояния и почечной недостаточности [33]. Наиболее часто случаи интоксикации связаны либо с непреднамеренным потреблением чрезвычайно высоких доз витамина Д, либо с ошибкой при производстве пищевых добавок.

Выводы

Таким образом, витамин Д играет важную роль в организме человека. При его дефиците у спортсменов наблюдаются повышение риска травм, снижение функциональных способностей мышц и увеличение риска стрессовых переломов костей. Также отмечается негативное влияние недостаточности витамина Д на дыхательную, иммунную, нервную и эндокринную системы атлета. Длительный и выраженный дефицит данного витамина у спортсменов приводит к ухудшению общего самочувствия, нарушению функционирования практически всех систем организма, снижению уровня работоспособности и спортивной результативности. Данные изменения обуславливают важность своевременной диагностики гиповитаминоза и его лечения. В настоящее время наиболее подходящим методом исследования содержания витамина Д в организме является определение концентрации в крови уровня кальцидиола. Основопологающим методом лечения и профилактики дефицита данного витамина у спортсменов является коррекция образа жизни, тренировочного графика и прием специализированных добавок, содержащих холекальциферол. Необходимое количество потребления холекальциферола варьируется от 400 до 2000 МЕ/день в зависимости от многих факторов, включая продолжительность пребывания на солнце в течение дня, возраст, пол, выраженность дефицита, этническую принадлежность и т.д. Спортсменам необходимо также потреблять достаточное количество микро- и макроэлементов, особенно кальция и магния. При приеме холекальциферола следует принимать во внимание возможность интоксикации, которая возникает вследствие потребления чрезмерного количества добавок витамина Д.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ/REFERENCES

1. de la Puente Yagüe M., Collado Yurrita L., Ciudad Cabañas M.J., Cuadrado Cenizal 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.
2. Owens D.J., Allison R., Close G.L. Vitamin D and the Athlete: Current Perspective and New Challenges. *Sports Med.* 2018;48:S1:3–16. DOI: 10.1007/s40279-017-0841-9.
3. Cashman K.D., Dowling K.G., Škrabáková Z., Gonzalez-Gross M., Valtueña J., De Henauw S., Moreno L., Damsgaard C.T., Michaelsen K.F., Mølgaard C., et al. Vitamin D deficiency in Europe: pandemic? *Am. J. Clin. Nutr.* 2016;103:1033–1044. DOI: 10.3945/ajcn.115.120873.
4. Saponaro F., Saba A., Zucchi R. An Update on Vitamin D Metabolism. *Int J Mol Sci.* 2020;21:18:6573. DOI: 10.3390/ijms21186573.
5. Forrest K.Y., Stuhldreher W.L. Prevalence and Correlates of Vitamin D Deficiency in US Adults. *Nutr. Res.* 2011;31:48–54. DOI: 10.1016/j.nutres.2010.12.001.
6. Ribbans W.J., Aujla R., Dalton S., Nunley J.A. Vitamin D and the Athlete-Patient: State of the Art. *J ISAKOS.* 2021;6:1:46–60. DOI: 10.1136/jisakos-2020-000435.
7. Grieshaber J.A., Mehran N., Photopolous C., Fishman M., Lombardo S.J., Kharrazi F.D. Vitamin D Insufficiency among Professional Basketball Players: A Relationship to Fracture Risk and Athletic Performance. *Orthop. J. Sports Med.* 2018;6:5:2325967118774329. DOI: 10.1177/2325967118774329.
8. Millward D., Root A.D., Dubois J., Cohen R.P., Valdivia L., Helming B., Kokoskie J., Waterbrook A.L., Paul S. Association of Serum Vitamin D Levels and Stress Fractures in Collegiate Athletes. *Orthop J Sports Med.* 2020;8:12:2325967120966967. DOI: 10.1177/2325967120966967.
9. Williams K., Askew C., Mazoue C., Guy J., Torres-McGehee T.M., Jackson Iii J.B. Vitamin D3 Supplementation and Stress Fractures in High-Risk Collegiate Athletes – A Pilot Study. *Orthop Res Rev.* 2020;12:9–17. DOI: 10.2147/ORR.S233387.
10. Knechtel B., Jastrzębski Z., Hill L., Nikolaidis P.T. Vitamin D and Stress Fractures in Sport: Preventive and Therapeutic Measures-A

- Narrative Review. *Medicina* (Kaunas). 2021;57;3:223. DOI: 10.3390/medicina57030223.
11. Ammerman B.M., Ling D., Callahan L.R., Hannafin J.A., Goolsby M.A. Prevalence of Vitamin D Insufficiency and Deficiency in Young, Female Patients with Lower Extremity Musculoskeletal Complaints. *Sports Health*. 2021;13;2:173-180. DOI: 10.1177/1941738120953414
 12. Pilch W., Kita B., Piotrowska A., Tota Ł., Maciejczyk M., Czerwińska-Ledwig O., Sadowska-Krepa E., Kita S., Pałka T. The Effect of Vitamin D Supplementation on the Muscle Damage after Eccentric Exercise in Young Men: a Randomized, Control Trial. *J Int Soc Sports Nutr*. 2020;17;1:53. DOI: 10.1186/s12970-020-00386-1.
 13. Barker T., Henriksen V.T., Martins T.B., Hill H.R., Kjeldsberg C.R., Schneider E.D., Dixon B.M., Weaver L.K. Higher Serum 25-Hydroxyvitamin D Concentrations Associate with a Faster Recovery of Skeletal Muscle Strength after Muscular Injury. *Nutrients*. 2013;4:1253–1275. DOI: 10.3390/nu5041253.
 14. Yoon S., Kwon O., Kim J. Vitamin D in Athletes: Focus on Physical Performance and Musculoskeletal Injuries. *Phys Act Nutr*. 2021;25;2:20-25. DOI: 10.20463/pan.2021.0011.
 15. Hamilton B., Whiteley R., Farooq A., Chalabi H. Vitamin D Concentration in 342 Professional Football Players and Association with Lower Limb Isokinetic Function. *J Sci Med Sport*. 2014;17:139–143.
 16. Koundourakis N.E., Androulakis N.E., Malliaraki N., Margioris A.N. Vitamin D and Exercise Performance in Professional Soccer Players. *PLoS One*. 2014;9;7: e101659. DOI: 10.1371/journal.pone.0101659.
 17. Dzik K.P., Kaczor J.J. Mechanisms of Vitamin D on Skeletal Muscle Function: Oxidative Stress, Energy Metabolism And Anabolic State. *Eur J Appl Physiol*. 2019;119;4:825–839. DOI: 10.1007/s00421-019-04104-x
 18. Laaksi I., Ruohola J.P., Tuohimaa P., Auvinen A., Haataja R., Pihlajamäki H., Ylikomi T. An Association of Serum Vitamin D Concentrations < 40 nmol/L with Acute Respiratory Tract Infection in Young Finnish Men. *Am J Clin Nutr*. 2007;86;3:714-717. DOI: 10.1093/ajcn/86.3.714
 19. Lavie C.J., Dinicolantonio J.J., Milani R.V., O'Keefe J.H. Vitamin D and Cardiovascular Health. *Circulation*. 2013;128:2404–2406. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.113.002902.
 20. Latic N., Erben R.G. Vitamin D and Cardiovascular Disease, with Emphasis on Hypertension, Atherosclerosis, and Heart Failure. *Int J Mol Sci*. 2020;21;18:6483. DOI: 10.3390/ijms21186483.
 21. Zeitler C., Fritz R., Smekal G., Ekmekcioglu C. Association between the 25-Hydroxyvitamin D Status and Physical Performance in Healthy Recreational Athletes. *Int J Environ Res Public Health*. 2018;15;12:2724. DOI: 10.3390/ijerph15122724.
 22. Jastrzębska M., Kaczmarczyk M., Michalczyk M., Radziński Ł., Stępień P., Jastrzębska J., Wakuluk D., Suárez A.D., López Sánchez G.F., Cięszczyk P., Godlewski P., Król P., Jastrzębski Z. Can Supplementation of Vitamin D Improve Aerobic Capacity in Well Trained Youth Soccer Players? *J Hum Kinet*. 2018;61:63–72. DOI: 10.2478/hukin-2018-0033.
 23. Mpandzou G., Aït Ben Haddou E., Regragui W., Benomar A., Yahyaoui M. Vitamin D Deficiency and Its Role in Neurological Conditions: A Review. *Rev. Neurol*. 2016;172:109–122. DOI: 10.1016/j.neurol.2015.11.005.
 24. De Luca G.C., Kimball S.M., Kolasinski J., Ramagopalan S.V., Ebers G.C. Review: the Role of Vitamin D in Nervous System Health and Disease. *Neuropathol. Appl. Neurobiol*. 2013;39:458–484. DOI: 10.1111/nan.12020.
 25. Greiller C.L., Martineau A.R. Modulation of the Immune Response to Respiratory Viruses by Vitamin D. *Nutrients*. 2015;7:4240-4270. DOI: 10.3390/nu7064240.
 26. Park S.K., Garland C.F., Gorham E.D., BuDoff L., Barrett-Connor E. Plasma 25-Hydroxyvitamin D Concentration and Risk of Type 2 Diabetes and Pre-Diabetes: 12-Year Cohort Study. *PLoS One*. 2018;13;4: e0193070. DOI: 10.1371/journal.pone.0193070.
 27. Heures N. Vitamin D Testing-Where Are We and What Is on the Horizon? *Adv Clin Chem*. 2017;78:59-101. DOI: 10.1016/bs.acc.2016.07.002.
 28. Rankinen T.S., Lyytikäinen E., Vanninen I., Penttilä R., Uusitupa M. Nutritional Status of the Finnish Elite Ski Jumpers. *Med. Sci. Sports Exerc*. 1998;30:1592–1597. DOI: 10.1097/00005768-199811000-00006.
 29. Heures N., Lindhout E., Swinkels L. A Direct Assay for Measuring Free 25- Hydroxyvitamin D. *JAOAC Int*. 2017;100:1318–1322. DOI: 10.5740/jaoacint.17-0084.
 30. Pludowski P., Holick M.F., Grant W.B., Konstantynowicz J., Mascarenhas M.R., Haq A., Povoroznyuk V., Balatska N., Barbosa A.P., Karonova T., Rudenka E., Misiorowski W., Zakharova I., Rudenka A., Łukaszewicz J., Marciniowska-Suchowierska E., Łaszcz N., Abramowicz P., Bhattoa H.P., Wimalawansa S.J. Vitamin D Supplementation Guidelines. *J Steroid Biochem Mol Biol*. 2018;175:125-135. DOI: 10.1016/j.jsbmb.2017.01.021.
 31. 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.
 32. 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. *J. Bone Min. Res*. 2008;23:741–749. DOI: 10.1359/jbmr.080102.
 33. Marciniowska-Suchowierska E., Kupisz-Urbańska M., Łukaszewicz J., Pludowski P., Jones G. Vitamin D Toxicity-A Clinical Perspective. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2018;9:550. DOI: 10.3389/fendo.2018.00550.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.
Участие авторов. Статья подготовлена с равным участием авторов.
Поступила: 23.03.2024. Принята к публикации: 16.04.2024.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.
Financing. The study had no sponsorship.
Contribution. Article was prepared with equal participation of the authors.
Article received: 23.03.2024. Accepted for publication: 16.04.2024