Дата публикации: 01.12.2024
DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_04_4
УДК 612.015.6;577.161.2

Publication date: 01.12.2024
DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_04_4
UDC 612.015.6;577.161.2

ВИТАМИН Д И СОЛНЕЧНЫЙ СВЕТ

Ю.В. Болдырева[1], Д.Г. Губин[1,2]

[1]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Тюмень, Россия.

[2]Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук», г. Томск, Россия.

Аннотация. В статье описаны метаболический путь превращения витамина Д и его биологическая роль. Роль витамина Д в организме не ограничивается классическими эффектами (регуляция фосфорно-кальциевого обмена), поскольку это вещество способно проявлять и внекостные эффекты. Витамин Д поступает в организм с продуктами питания, но основной путь – это его синтез в коже под действием ультрафиолетового излучения. В ответ на воздействие солнечного света синтезируются и другие биологически активные молекулы. Также не исключается прямое системное воздействие солнечного света. При этом количество поступающего ультрафиолета должно быть оптимальным, чтобы не нанести ущерб коже и организму в целом. Авторы предлагают использование ультрафиолета от светодиодов, которые могут быть встроены в носимые гаджеты. Это позволит подобрать частоту ультрафиолетового излучения, которая будет максимально эффективна для синтеза витамина Д у конкретного пациента.

Ключевые слова: витамин Д, кальцитриол, холекальциферол, солнечный свет, естественный свет, оксид азота, метаболический синдром, рак кожи, сердечно-сосудистые заболевания, светодиоды.

VITAMIN D AND SUNLIGHT

Yu.V. Boldyreva[1], D.G. Gubin[1,2]

[1]Tyumen Medical University, Tyumen, Russia

[2]Tomsk National Research Medical Center of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia

Abstract. The article describes the metabolic pathway for the transformation of vitamin D and its biological role. The role of vitamin D in the body is not limited to classical effects (regulation of phosphorus-calcium metabolism), since this substance can also exhibit extraosseous effects. Vitamin D enters the body with food, but the main way is its synthesis in the skin under the influence of ultraviolet radiation. Other biologically active molecules are also synthesized in response to sunlight exposure. Direct systemic exposure to sunlight cannot be ruled out either. At the same time, the amount of incoming ultraviolet must be optimal so as not to cause damage to the skin and the body as a whole. The authors propose the use of ultraviolet from light-emitting diodes, which can be built into wearable gadgets. This will allow one to select the ultraviolet frequency that will be most effective for the vitamin D synthesis in a particular patient.

Keywords: vitamin D, calcitriol, cholecalciferol, sunlight, natural light, nitric oxide, metabolic syndrome, skin cancer, cardiovascular disease, light-emitting diodes.

Введение. Одним из потенциальных механизмов взаимосвязи между воздействием солнечного света и общественным здоровьем является биосинтез витамина Д, который известен как «витамин солнечного света».

В настоящее время доказано, что большинство клеток организма имеет рецептор к витамину Д. Это подчеркивает важную роль данной молекулы в процессах жизнедеятельности. Одним из главных условий для эндогенного синтеза витамина Д является воздействие солнечного света [1-3]. В последнее десятилетие педиатры, гигиенисты, антропологи с большой тревогой отмечают особенно резкое ухудшение физического

развития и других критериев здоровья, двигательной подготовленности, снижение числа практически здоровых детей, возрастающий поток детей, которые страдают хронической патологией [4]. Наряду с гиподинамией и другими факторами, недостаточное пребывание на солнце является серьезной проблемой в современном обществе. В период пандемии COVID-19 в виду самоизоляции снизилось воздействие естественного света на организм человека, что могло спровоцировать рассогласование циркадных ритмов. Состояние организма человека, которое возникает при рассогласовании фазовых соотношений циркадианных ритмов, проявляющееся нарушением их взаимной синхронизации и изменением временного взаимодействия отдельных ритмов функций организма между собой, называют десинхронозом [5]. Последствия этого могут проявиться спустя какое-то время. В связи с этим, понимание процессов, которые контролируются витамином Д в организме человека под действием солнечного света, а также профилактика состояний, вызванных гиповитаминозом Д, является актуальной проблемой.

Методы и организация исследования. В статье приводится ретроспективный анализ отечественной и зарубежной научной литературы, представленной в электронных базах данных PubMed, Google scholar, CyberLeninka, eLibrary, посвященной изучению взаимосвязи между влиянием солнечного света на организм человека и физиологическими эффектами витамина Д. В работе проанализированы и представлены результаты 34 научных работы.

Результаты исследования и их обсуждение. Витамин Д (кальцитриол) – витамин стероидной природы, являющийся синергистом паратгормона.

В самом строгом смысле витамин Д является эндокринным гормоном, поскольку организм способен синтезировать его. Существует два источника: один из таких продуктов, как жирная рыба, яйца или молоко, но основной источник (>90 %) – это синтез в коже под воздействием солнца [6].

Предшественником синтеза витамина Д является молекула холестерола. Холестерол первоначально окисляется в 7-дегидрохолестерол, а затем под действием УФ-излучения превращается в витамин $Д_3$ – холекальциферол. Витамин поступает в печень, где гидроксилируется с помощью 25α-гидроксилазы с образованием кальцидиола. Из печени он транспортируется в почки и снова гидроксилируется под действием 1α-гидроксилазы с образованием кальцитриола. Кальцитриол – это активная форма витамина Д, которая контролирует ряд важных процессов жизнедеятельности в организме [7, 8].

К настоящему времени известно уже более 50 метаболитов витамина Д, но на сегодня только два метаболита витамина $Д_3$ – $25(OH)Д_3$ и $1,25(OH)_2Д_3$ получили наибольшее внимание исследователей [1].

Роль витамина Д связана не только с регуляцией кальция, но и с рядом не связанных с метаболизмом костной ткани процессов, так называемыми некальциемическими эффектами [9-11]. Установлено, что достаточная обеспеченность витамином Д является фактором профилактики сердечно-сосудистых заболеваний, рака, аутоиммунных расстройств, псориаза, диабета, депрессии, психоза, респираторных инфекций и пр. [12].

Поскольку выработка витамина Д кожей зависит от воздействия УФ-лучей солнца, обычно считается, что этот витамин объясняет все благотворные эффекты солнечного света. Однако есть данные, что кожные покровы способны самостоятельно продуцировать медиаторы метаболизма в ответ на воздействие прямых солнечных лучей. Это существенно влияет на транскриптом кожи, включая гены иммунитета [13, 14]. В связи с этим, можно предположить, что благотворное воздействие солнечного света может быть опосредовано несколькими сигнальными молекулами, индивидуально или совместно, а не через один посредник, такой как витамин Д. Активно изучается роль метаболизма клеток кожи под воздействием витамина Д. Так,

в статье D. Bikle, опубликованной в журнале «Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders», описывается его роль в противоопухолевой защите и регуляции эпидермальной пролиферации и дифференциации клеток [15].

Результатов исследований, отражающих взаимосвязь между уровнем витамина Д в крови и риском развития различных соматических заболеваний, накоплено достаточно много. Охарактеризуем некоторые их них.

Сердечно-сосудистые заболевания. Исследования в сфере взаимодействия таких показателей, как давление и солнечный свет, выявили, что при воздействии УФ-лучей на кожу происходит мобилизация оксида азота (II) (NO), содержащегося в коже в виде предшественников, что свидетельствует о предполагаемой взаимосвязи между инсоляцией и риском развития сердечно-сосудистых патологий, а также подтверждает, что причиной повышения артериального давления может быть не только выработка вазопрессорных веществ, но и недостаток выработки вазодилататоров [10, 11, 13, 14]. Также, Mahmoud A.M. с соавт. было выявлено усиление сосудорасширяющего эффекта оксида азота (II) (NO) под влиянием витамина Д в артериолах жировой ткани пациентов, перенесших бариатрические операции [16], что еще раз подтверждает значение витамина Д и инсоляции в формировании кардиометаболических рисков.

Метаболический синдром. По результатам клинических и модельных исследований установлено, что УФ-излучение (УФИ) подавляет развитие и прогрессирование ожирения и диабета 2 типа, а низкий уровень витамина Д способствует повышению риска развития инсулинорезистентности [17]. Тем не менее, убедительных данных, демонстрирующих положительный эффект введения экзогенного витамина Д на уровень инсулинорезистентности на данный момент нет. Препятствие развитию метаболического синдрома у модельных животных было связано с местным введением кремов, содержащих оксид азота (II) (NO). Эти результаты подтверждают роль молекулы NO в подавлении и профилактике развития нарушений обмена и сахарного диабета, указывая, тем самым, на четкую взаимосвязь между метаболическим синдромом и степенью инсоляции. Еще одним непрямым доказательством данного тезиса является наблюдение, описанное в рамках популяционного исследования. Было выяснено, что уровень 25(OH)Д в сыворотке <50 нмоль/л был связан с повышением риска метаболического синдрома на 64% по сравнению с >75 нмоль/л [10, 18-20].

Астма, респираторные инфекции и аллергия. Доказано, что заболеваемость астмой увеличилась параллельно с ростом дефицита витамина Д. Так, эпидемиологические исследования показали связь между низким уровнем 25(OH)Д в сыворотке и увеличением заболеваемости астмой. Установлено, что сывороточный 25(OH)Д <50 нмоль/л в детстве был положительно связан с повышенным риском развития астмы или одышки в исследовании с участием 263 детей (198 участвовали в возрасте до пяти лет и 147 до 10 лет). Обнаружено, что материнская сыворотка, содержащая уровень 25(OH)Д <50 нмоль/л на 16-18 неделе беременности по сравнению с >75 нмоль/л была связана со снижением функции легких у детей в возрасте шести лет [11, 20, 21].

Хотя изучение влияния экзогенного приема витамина Д показало ограниченную пользу, рядом ученых доказан благоприятный исход инфекции дыхательных путей на фоне приема добавок, содержащих витамин Д в профилактической дозировке. Это позволило установить, что ежедневный прием витамина Д в диапазоне от 400 МЕ (10 мкг) до 2000 МЕ (50 мкг) снижает относительный риск развития инфекций дыхательных путей на 12%. Сообщалось, что добавки витамина Д могут уменьшить обострения астмы, требующие неотложного лечения или введения системных кортикостероидов. Однако это преимущество не зависело от начальных уровней 25(OH)Д. В исследованиях также сообщалось о сни-

жении развития астмы, но не инфекций дыхательных путей, у потомства беременных женщин, получавших витамин Д. Как и прежде, этот эффект не зависел от начального уровня 25(OH)Д [22, 23].

В связи между развитием легких у потомства и воздействием УФИ на организм матери на 18 неделе беременности не удалось выявить зависимые от витамина Д и независимые механизмы. Однако они были проанализированы в исследовании развития экземы. Прием витамина Д (400 МЕ (10 мкг) в день в течение 6 мес.) не повлиял на развитие экземы у детей от матерей с аллергией. Однако этот показатель был снижен на 50% у детей, подвергшихся воздействию более высоких доз УФИ. Эффект был внекожным, поскольку мононуклеарные клетки периферической крови у детей, получавших более высокие дозы УФИ, также вырабатывали более низкие уровни воспалительных цитокинов [24-26].

Аутоиммунные заболевания. Диабет 1 типа. Недостаток солнечного света во время беременности или в раннем младенчестве может быть фактором риска сахарного диабета 1 типа. Исследование, проведенное с участием 331 623 человек, показало, что меньшее количество поступающего солнечного света в течение третьего триместра беременности было связано с повышением риска развития данного заболевания на 67% у мальчиков в возрасте от 5-9 лет [19].

Рассеянный склероз (РС) – это аутоиммунное заболевание центральной нервной системы, характеризующееся демиелинизацией и потерей аксональной функции. Данные проспективных исследований показывают, что сывороточный 25(OH)Д >100 нмоль/л связан со снижением риска РС на 50-60% по сравнению с <50 нмоль/л, в то время как 25(OH)Д <30 нмоль/л по сравнению с >50 нмоль/л связан с двукратным увеличением риска РС. Низкий пренатальный 25(OH)Д может увеличить риск развития РС во взрослом возрасте [27-29].

Исследования, выполненные в Тасмании и Австралии о необходимости проводить на солнце не менее 4-х часов в день (по сравнению с <1 ч зимой или <2 ч летом) в возрасте от 6-10 лет были связаны со снижением риска РС на 50% [28]. Подобные исследования, проведенные в Норвегии и Италии, подтвердили сказанное [29]. Важно отметить, что, учитывая трудности с точным определением о прошлом пребывании на солнце, был измерен «солнечный ущерб» на тыльной стороне кисти. Это объективный показатель продолжительности пребывания на солнце, а также продемонстрированное низкое пребывание на солнце могут быть важными факторами риска РС.

Прошлое пребывание на солнце и концентрация 25(OH)Д в сыворотке крови могут быть независимыми факторами риска развития РС, поскольку солнечный свет может модулировать риск РС через витамин Д и невитаминные пути Д. Рандомизированные клинические исследования подтверждают основную роль витамина Д, в то время как многонациональное исследование выявило снижение риска развития РС или клинически изолированного синдрома (самая ранняя обнаруживаемая форма РС) с более высоким уровнем 25(OH)Д у белых (типы кожи по Фицпатрику (FST) I-III), но не у чернокожих (FST V-VI) лиц или латиноамериканцев (FST IV), с более выраженным эффектом для всех этнических групп из-за более длительного пребывания на солнце в прошлом [29, 30].

Таким образом, учитывая вышесказанное, можно утверждать, что витамин Д – это биологически значимая молекула для каждого из нас. Однако содержание данного витамина часто соответствует отметке «дефицит/недостаточность», что оценивается содержанием витамина Д в крови <20 нг/мл (<50 нмоль/л) и ≥20 и ≤30 нг/мл (≥50 и <75 нмоль/л) соответственно. По данным многочисленных исследований распространенность дефицита/недостаточности витамина Д очень широка – около 40% на территории США, 69% в Германии, 56% в странах Африки и до 82% в Арабских эмиратах. В РФ распространенность дефицита/недостаточности витамина Д в различных регионах составляет от 74% до 94% [31].

В связи с этим, рекомендуется использовать витамин Д в виде добавок к основному рациону питания. При этом в ряде случаев, несмотря на то, что человек ответственно принимает препараты витамина Д в виде водных или масляных растворов, его статус по содержанию этого витамина в крови не изменяется. Это объясняется тем, что при проведении коррекционной терапии не учитываются такие факторы, как: время приема препарата; не подбирается индивидуальная дозировка витамина Д; не учитываются особенности метаболизма витамина Д в конкретном организме; не оценивается состояние кишечной микробиоты. Чтобы понять важность каждого из названных факторов, охарактеризуем их ниже.

Первое – не учитывается время приема препаратов, содержащих витамин Д. На сегодняшний день доказано, что все процессы и метаболиты, которые имеют место быть в организме, обладают циркадианностью, т.е. имеют циклическое изменение своей интенсивности протекания (если речь идет о процессах) или концентрации (если говорить о метаболитах) в организме в течение суток. В частности, уровень витамина Д в крови достигает максимального значения к 20:00 и минимален в ночные часы (02:00-04:00) [31]. Учитывая сказанное, препараты, содержащие витамин Д, должны быть назначены во второй половине дня, а именно ближе к 20:00. Однако в Клинических рекомендациях Российской ассоциации эндокринологов не указано время приема препарата, и пациенты чаще всего принимают его либо в первой половине дня, либо в удобное для себя время.

Второе – отсутствие подбора индивидуальной дозировки препаратов, содержащих витамин Д. Согласно Клиническим рекомендациям Российской ассоциации эндокринологов [31], как профилактическая, так и лечебная дозировка витамина Д рассчитывается с учетом возраста пациента в первом случае и с учетом содержания витамина Д в крови во втором. При этом не учитываются индекс массы тела пациента, пол, цвет кожи и др. факторы.

Третье – не учитываются особенности метаболизма витамина Д и особенности кишечной микробиоты в организме конкретного пациента. Прежде всего, речь идет о наличии хронической патологии желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) и почек, которые не имеют яркой клинической картины и протекают практически бессимптомно. Известно, что патология печени и почек (органов, где происходит образование промежуточного метаболита и активной формы витамина Д соответственно), а также другие воспалительные заболевания кишечника, сопровождающиеся синдромом мальабсорбции, усугубляют дефицит витамина Д.

То, что вышеперечисленные факторы не учитываются, приводит к тому, что пациент терапию получает, а эффект не наблюдается, либо он слабо выражен, а в ряде случаев имеющийся в организме пациента дефицит витамина Д может сохраняться длительное время либо нарастать в динамике. Дефицит витамина Д будет способствовать снижению абсорбции кальция в ЖКТ, приводя к хронической гипокальциемии с риском развития вторичного гиперпаратиреоза, остеомаляции и остеопороза [31]. Наряду с этим, организм подвергается риску развития рака, РС, сахарного диабета и многих других заболеваний [32].

Для синтеза оптимального количества витамина Д требуется всего 20 минут солнечного света в день (при условии попадания солнечных лучей на не менее 40% открытых участков кожи), недостаточная инсоляция – одна из самых распространенных причин данного состояния [33].

Доказано, что Земля получает излучение в электромагнитном спектре, который классифицируется по диапазонам в зависимости от частоты и длины волны. Внутри спектра солнечного излучения выделяют: инфракрасное (ощущение тепла), видимый свет (раздражение сетчатки) и УФИ типов А, В и С. Общее УФИ, которое достигает организма человека, представляет собой сумму прямого излучения, проходящего по прямой линии от солнца через атмосферу, в

то время как диффузное излучение рассеивается атмосферой, и УФИ, которое отражается от поверхностей и позже воздействует на кожу. УФИ вызывает различные изменения кожи: оно может быть полезным и способствовать синтезу витамина Д, а может наносить острый вред в виде солнечных ожогов, которые приведут к хроническим повреждениям на молекулярном уровне клетки.

Нельзя забывать о вредном воздействии УФИ. Излучение УФ-А, также известное как «стареющее излучение», вызывает повреждение дермы, что связано с фотостарением, разрушением фибробластов и возникновением окислительного стресса. Излучение УФ-В, известное как «ожоговое излучение», вызывает повреждение в основном эпидермиса и связано с солнечными ожогами и повреждением ДНК. Эти повреждения автоматически восстанавливаются клеточными механизмами. Однако кумулятивный эффект этих повреждений может привести к тому, что организм не сможет их восстановить, что спровоцирует начало неопластического процесса кожи [6].

Следует отметить, что производство витамина $Д_3$ в коже человека зависит от нескольких факторов: от положения солнца на небе или зенитного угла, который, в свою очередь, зависит от широты, сезона и времени суток. Размер площади, подвергающейся воздействию УФИ, прямо пропорционален количеству вырабатываемого витамина Д – чем больше площадь воздействия, тем больше вырабатывается витамина Д.

С момента первых наблюдений, продемонстрировавших эффективность применения УФИ при лечении рахита, были разработаны и внедрены различные устройства, излучающие УФИ и используемые для лечения и профилактики дефицита витамина Д. Одним из первых было применение лампы Сперти, которая была доступна в аптеках в США и применялась для лечения и профилактики рахита в 1940-х годах. Это была ртутная дуговая лампа высокой интенсивности. Современная версия лампы Сперти содержит люминесцентные трубки, излучающие УФИ, эффективна для повышения уровня 25-гидроксивитамина Д [25(OH)Д] в крови у здоровых взрослых и у пациентов с синдромом мальабсорбции. Солярии, излучающие УФ-В-излучение, способствуют выработке витамина $Д_3$. Есть данные, что воздействие излучения солярия повысило уровень 25(OH)Д в крови у пациента с болезнью Крона, который не мог усваивать витамин Д через ЖКТ. Пациенты из группы риска – с синдромом мальабсорбции, с воспалительными заболеваниями кишечника, муковисцидозом и перенесшие операцию по поводу желудочного шунтирования и др. – подвержены высокому риску развития дефицита витамина Д и нуждаются в удобном для пользователя устройстве, которое может способствовать выработке витамина Д в коже.

Первоначально именно для работы с такими пациентами ученые стали активно изучать светодиоды. Так, в своих исследованиях Barncob и соавт. анализировали эффективность светодиодов с различными пиковыми длинами волн при выработке витамина $Д_3$ в коже свиньи. Они обнаружили, что витамин $Д_3$ может вырабатываться при облучении кожи свиньи светодиодами с пиковой длиной волны 292-300 нм. При этом длина волны 296 нм является наиболее эффективной для производства витамина $Д_3$. В свою очередь, Morita и др. подвергали мышей воздействию светодиодов с пиковыми длинами волн от 268 до 316 нм два раза в неделю в течение 4 недель (всего 8 доз). Они получили, что уровни 25(OH)Д в сыворотке значительно увеличились у мышей, подвергшихся воздействию, по сравнению с контрольной группой, независимо от длины волны светодиода.

Эти исследования позволили заключить, что светодиоды могут быть использованы для борьбы с дефицитом витамина Д. При этом важным преимуществом светодиодов является то, что они могут быть изготовлены с любой (желаемой) длиной волны. Можно изготовить светодиод с такой длиной волны, которая позволит организму максимально эффективно производить витамин $Д_3$ в сравнении

с солнечным светом. Кроме того, светодиод может быть встроен в носимые гаджеты, и это обеспечит организм его ежедневной потребностью в витамине Д.

Отдельно хочется остановиться на одном из современных исследований, посвященных изучению влияния светодиодов на синтез витамина Д в организме человека. В работе [34] использовались четыре светодиода с различными пиковыми длинами волн: 293, 295, 298 и 305 нм. Светодиод 293 нм был получен от RayVio (Хейворд, Калифорния, США), 295 нм и 305 нм были получены от Sensor Electronic Technology, Inc (SETi, Колумбия, Южная Каролина, США), а 298 нм были получены от DOWA Electronic Materials Company, Ltd (Чиода-Ку, Токио, Япония). Светодиоды заряжались от источника питания (поставляемого RayVio), установленного на 50 В и 10 мА для всех экспериментов. Выходная энергия каждого светодиода измерялась с помощью измерителя UVB, Solarmeter (Solar Light Company, Inc, Гленсайд, Пенсильвания). Этот измеритель оценивает выход в терминах минимальной эритемной дозы (МЭД) в час, что эквивалентно 15,6 мДж/см^2/час. Для УФ-облучения образцы кожи помещали в кварцевую чашку сверху пластикового аппарата с отверстием площадью 1 см^2 в центре, сфокусированным на расстоянии 10,0±1,0 мм над верхушкой светодиода. Кусок кожи ~4 см^2 помещали на отверстие площадью 1 см^2. Чтобы обеспечить облучение всего участка кожи, этот процесс повторяли для необлученных участков, так что весь образец кожи подвергался воздействию одинакового количества УФ-В-излучения. Каждый образец кожи, полученный от одного пациента, разрезали пополам; одна половина подвергалась воздействию светодиодов, а другая половина подвергалась воздействию солнечного света в Бостоне в октябре в полдень с таким же энергетическим воздействием.

Получено, что именно светодиод 293 нм, предоставленный RayVio, подходит для дальнейших исследований, т.к. он укорачивал более чем на 50% время воздействия для производства того же количества витамина $Д_3$, чем другие светодиоды. Светодиод в 2,4 и 2,5 раза эффективнее в производстве витамина $Д_3$ в коже человека типа II и типа III соответственно по сравнению с воздействием того же количества энергии солнца за более короткое время. Одним из важных преимуществ светодиода 293 нм можно считать снижение риска повреждения кожи по сравнению с воздействием солнечного света или светодиодов с другой длины волны.

Заключение. Итак, в биологической значимости витамина Д для организма человека сомневаться не приходится. Данная молекула контролирует многие биохимические процессы, обеспечивая жизнедеятельность организма в целом. Поступление витамина Д в организм возможно двумя путями: с продуктами питания и под действием УФИ. Однако не всегда удается поддерживать содержание данного витамина в крови на достаточном уровне. Чаще его значение соответствует уровню «дефицит/недостаточность». Особую опасность это представляет для лиц из группы риска. В связи с этим, согласно Клиническим рекомендациям Российской ассоциации эндокринологов, рекомендован пероральный прием витамина Д. При этом несмотря на то, что пациент добросовестно выполняет рекомендации врача и принимает витамин Д, в ряде случаев добиться увеличения его уровня в крови не удается, и это может быть связано с влиянием различных факторов со стороны пациента, а также от причин, не зависящих от него. Например, изучение добавок, содержащих холекальциферол, не подтверждает, что витамин Д является причинно-следственной связью между поступлением витамина Д в составе добавки и его содержанием в организме. Низкий уровень витамина Д в крови на фоне пероральной его дотации рассматривается как причина недостаточного пребывания на солнце и является биомаркером дефицита других биологически значимых молекул, обладающих определенной функциональной активностью, например дефицит оксида азота (II) (NO). Наряду с этим, не исключается, что солнечный свет может

оказывать прямое системное воздействие на организм, а значит его присутствие в жизни каждого человека должно быть достаточным и без вреда для организма.

Борьба с дефицитом витамина Д – это актуальная проблема современности. Одним из перспективных вариантов ее решения является использование светодиодов с определенной длиной волны. Особенностью применения светодиодов является не только возможность использования требуемой длины волны, но и еще то, что светодиоды можно встраивать в носимые гаджеты, и это будет гарантировать синтез ежедневной индивидуальной дозы витамина Д в организме. Последнее особенно актуально для лиц из группы риска.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Источник финансирования. Данное исследование было поддержано грантом Западно-Сибирского научно-образовательным центром, Постановление Правительства Тюменской области от 20.11.2020 № 928-рп.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Funding. This study was supported by the West-Siberian Science and Education Center, Government of Tyumen District, Decree of 20.11.2020, No. 928-rp.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байрамгулыева, Л. Метаболиты витамина D: роль в диагностике и терапии витамин-D-зависимых патологий / Л. Байрамгулыева, Я. Акмухаммедова, А. Гадамов // Вестник науки. – 2023. – № 11(68). – С. 1172–1175.
2. Володько, О. А. Влияние витамина D и продуктов его метаболизма на психологическое и физическое здоровье человека / О. А. Володько // E-Scio. – 2022. – № 8(71). – С. 1–8.
3. Горелова, И. В. Витамин D и репродуктивное здоровье / И. В. Горелова, П. В. Попова, М. В. Рулев // Проблемы эндокринологии. – 2020. – № 5. – С. 96–101.
4. Сравнительный анализ физического развития детей младшего школьного возраста из России с детьми разных стран / Ю. В. Корягина, С. В. Нопин, Г. Н. Тер-Акопов [и др.] // Курортная медицина. – 2020. – № 3. – С. 126–131.
5. Корягина, Ю. В. Десинхроноз в спорте: здоровье и физическая работоспособность / Ю. В. Корягина, Г. Н. Тер-Акопов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 10-1. – С. 77–81.
6. Characterization of the effects of vitamin D synthesis and sunburn in the population due to solar radiation exposure using PROBIT methodology / J. F. Sanchez-Perez, B. Comendador-Jimenez, E. Castro [et al] // Heliyon. – 2024. – Vol. 11. – № 10(10). – P. e30864. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e30864.
7. Функциональная адаптация метаболизма витамина D у лиц с выраженным дефицитом витамина D / А. А. Поваляева, Е. А. Пигарова, А. Ю. Жуков [и др.] // Остеопороз и остеопатии. – 2022. – № 3. – С. 96–97.
8. Kattner, L. Efficient synthesis of 3-TBDMS-11α, 25-dihydroxyvitamin D_3 and D_2 ethers / L. Kattner, E. Rauch // The Journal of steroid biochemistry and molecular biology. – 2020. – Vol. 200. – P. 105638. DOI: 10.1016/j.jsbmb.2020.105638.
9. Investigation of Vitamin D_2 and Vitamin D_3 Hydroxylation by Kutzneria albida / L. M. Schmitz, A. Kinner, K. Althoff [et al] // Chembiochem: a European journal of chemical biology. – 2021. – Vol. 22. – № 13. – P. 2266–2274. DOI: 10.1002/cbic.202100027.
10. Джумакулыева, Г. Эффективность использования сочетанного витаминного комплекса: витамин Д и витамин К / Г. Джумакулыева, О. Иламанова, А. Чарыев // Вестник науки. – 2023. – № 11(68). – С. 1180–1183.
11. Лучникова, Т. А. Влияние витамина D и витамин-D связывающего белка на течение бронхиальной астмы / Т. А. Лучникова, О. Б. Приходько // Амурский медицинский журнал. – 2022. – № 1(32). – С. 39–43.
12. Мальцев, С. В. Современные данные о витамине D – метаболизм, роль в организме, особенности применения в практике врача / С. В. Мальцев // ПМ. – 2020. – № 4. – С. 8–20.
13. Хакбердиева, Г. Э. Влияние витамина Д на иммунитет / Г. Э. Хакбердиева, Ш. Ш. Касымова // Вестник НДМЦ. – 2022. – № 3. – С. 52–53.
14. The effect of vitamin D supplementation on serum levels of fibroblast growth factor-23: A systematic review and meta-analysis of randomized

controlled trials / F. Meshkini, S. Soltani, C. C. T. Clark [et al] // The Journal of steroid biochemistry and molecular biology. – 2022. – Vol. 215. – P. 106012. DOI: 10.1016/j.jsbmb.2021.106012.
15. Bikle, D. D. Vitamin D and the skin: Physiology and pathophysiology. / D. D. Bikle // Rev Endocr Metab Disord. – 2012. – Vol. 13(1). – P. 3–19. DOI: 10.1007/s11154-011-9194-0.
16. Vitamin D Improves Nitric Oxide-Dependent Vasodilation in Adipose Tissue Arterioles from Bariatric Surgery Patients / A. M. Mahmoud, M. Szczurek, C. Hassan [et al] // Nutrients. – 2019. – Vol. 18. – № 11(10). – P. 2521. DOI: 10.3390/nu11102521.
17. Does Vitamin D Have a Role in Diabetes? / T. M. Abugoukh, A. Al Sharaby, A. O. Elshaikh [et al] // Cureus. – 2022. – Vol. 18. – № 14(10). – P. e30432. DOI: 10.7759/cureus.30432.
18. Charlotte, D. Vitamin D and Vitamin D-Binding Protein in Health and Disease / D. Charlotte, M. M. Speeckaert // International journal of molecular sciences. – 2023. – Vol. 24(5). – P. 4642. DOI: 10.3390/ijms24054642.
19. Improving vitamin D status in bariatric surgery subjects with monthly high-dose ergocalciferol / G. Shannon, S. David, H. S. Subih, M. Boylan // Int J Vitam Nutr Res. – 2022. – Vol. 92. – № 2. – P. 109–117. DOI: 10.1024/0300-9831/a000728.
20. Vitamin D Binding Protein and Vitamin D Levels in Multi-Ethnic Population / R. A. Merchant, R. M. van Dam, L. W. L. Tan [et al] // J. Nutr. Health. Aging. – 2018. – Vol. 22(9). – P. 1060–1065. DOI: 10.1007/s12603-018-1114-5.
21. Лучникова, Т. А. Особенности клинического течения бронхиальной астмы у беременных в зависимости от уровня оксида азота в выдыхаемом воздухе и содержания витамина D в организме / Т. А. Лучникова, О. Б. Приходько // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. – 2016. – № 62. – С. 35–39.
22. Vitamin D binding protein and vitamin D in human allergen-induced endobronchial inflammation / K. Bratke, A. Wendt, K. Garbe [et al] // Clin Exp Immunol. – 2014. – Vol. 177. – № 1. – P. 366–372. DOI: 10.1111/cei.12346.
23. Vitamin D supplementation to prevent asthma exacerbations: a systematic review and meta-analysis of individual participant data / D. A. Jolliffe, L. Greenberg, R. L. Hooper [et al] // Lancet Respir Med. – 2017. – Vol. 5(11). – P. 881–890. DOI: 10.1016/S2213-2600(17)30306-5.
24. Luchnikova, T. A. The relationship between Vitamin D levels, Vitamin D binding protein and bronchial asthma / T. A. Luchnikova, O. B. Prikhodko // Russian Journal of Allergy. – 2020. – Vol. 17. – № S. – P. 20.
25. Sputum vitamin D binding protein: A potential biomarker of airway vitamin D axis in asthma / R. Qin, R. Huang, W. Fu [et al] // Ann Allergy Asthma Immunol. – 2020. – Vol. 125(3). – P. 350–352. DOI: 10.1016/j.anai.2020.06.005.
26. Association between vitamin D status and asthma control: A meta-analysis of randomized trials / M. Wang, M. Liu, C. Wang [et al] // Respir Med. – 2019. – Vol. 150. – P. 85–94. DOI: 10.1016/j.rmed.2019.02.016.
27. Ноцицепция: роли витамина D / О. А. Громова, И. Ю. Торшин, М. В. Путилина [и др.] // Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика. – 2021. – № 1. – С. 145–152.
28. Vitamin D binding protein and 25-hydroxyvitamin D levels: emerging clinical applications / N. K. Jassil, A. Sharma, D. Bikle, X. Wang // Endocr Pract. – 2017. – Vol. 23(5). – P. 605–613. DOI: 10.4158/EP161604.RA.
29. Sassi, F. Vitamin D: Nutrient, Hormone, and Immunomodulator / F. Sassi, C. Tamone, P. D'Amelio // Nutrients. – 2018. – Vol. 3. – № 10(11). – P. 1656. DOI: 10.3390/nu10111656.
30. Доскина, Е. В. Роль различных форм витамина D в лечении пациентов с дефицитом витамина D (клинический случай) / Е. В. Доскина // Эндокринология: Новости. Мнения. Обучение. – 2021. – № 2(35). – С. 123–128.
31. Влияние дефицита/недостаточности витамина Д на циркадианный ритм кальция крови / Е. В. Ковалева, А. Р. Айнетдинова, А. К. Еремкина [и др.] // Ожирение и метаболизм. – 2020. – № 3. – С. 283–291.
32. Holick, M. F. Sunlight and vitamin D for bone health and prevention of autoimmune diseases, cancers, and cardiovascular disease / M. F. Holick // Am. J. Clin. Nutr. –2004. – Vol. 80. – P. 1678S–1688S.
33. Chang, S-W. Vitamin D and health – The missing vitamin in humans / S-W. Chang, H-C. Lee // Pediatr Neonatol. – 2019. – Vol. 60(3). – P. 237–244.
34. Ultraviolet B Light Emitting Diodes (LEDs) Are More Efficient and Effective in Producing Vitamin D_3 in Human Skin Compared to Natural Sunlight / T. A. Kalajian, A. Aldoukhi, A. J. Veronikis [et al] // Sci Rep. – 2017. – Vol. 13. – № 7(1). – P. 11489. DOI: 10.1038/s41598-017-11362-2.

REFERENCES

1. Bajramgulyeva L., Akmukhammedova Ya., Gadamov A. The metabolites of vitamin D: role in

diagnosis & in therapy of vitamin-D-dependent pathologies. *Vestnik nauki*, 2023, vol. 11(68), no. S, pp. 1172–1175. (in Russ.)
2. Volod'ko O.A. Effect of vitamin D and its metabolism products on mental and physical health. *E-Scio*, 2022, vol. 8 (71), pp. 1–8. (in Russ.)
3. Gorelova I.V., Popova P.V., Rulev M.V. Vitamin D and reproductive health. *Problems of Endocrinology*, 2020, vol. 5, pp. 96–101. (in Russ.)
4. Koryagina Yu.V., Nopin S.V., Ter-Akopov G.N., Kopanev A.N., Abutalimova S.M. Comparative analysis of physical development of primary school-aged children from Russia with children of different countries. *Resort Medicine*, 2020, vol. 3, pp. 126–131. (in Russ.)
5. Koryagina Yu.V., Ter-Akopov G.N. Jetlag (circadian rhythm disorder) in sport: health and physical working performance. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovanij*, 2017, no. 10-1, pp. 77–81. (in Russ.)
6. Sanchez-Perez J.F., Comendador-Jimenez B., Castro E., Cánovas M, Conesa M. Characterization of the effects of vitamin D synthesis and sunburn in the population due to solar radiation exposure using PROBIT methodology. *Heliyon*, 2024, vol. 11, no. 10(10), p. e30864. DOI: 10.1016/j.heliyon. 2024.e30864.
7. Povalyaeva A.A., Pigarova E.A., Zhukov A.Yu., Bogdanov V.P., Dzeranova L.K., Ioutsi V.A., Malysheva N.M., Rozhinskaya L.Ya. Functional adaptation of vitamin D metabolism in patients with a pronounced vitamin D deficit. *Osteoporosis and Bone Diseases*, 2022, no. 3, pp. 96–97. (in Russ.)
8. Kattner L., Rauch E. Efficient synthesis of 3-TBDMS-11α,25-dihydroxyvitamin D3 and D2 ethers. *The Journal of steroid biochemistry and molecular biology*, 2020, vol. 200, p. 105638. DOI: 10.1016/j.jsbmb.2020.105638.
9. Schmitz L.M., Kinner A., Althoff K., Rosenthal K, Lütz S. Investigation of Vitamin D2 and Vitamin D3 Hydroxylation by Kutzneria albida. *Chembiochem: a European journal of chemical biology*, 2021, vol. 22, no. 13, pp. 2266–2274. DOI: 10.1002/cbic.202100027.
10. Dzhumakulyeva G., Ilamanova O., Charyev A. Effectiveness of a combined vitamin complex: vitamin D and vitamin K (literature review).*Vestnik nauki*, 2023, vol. 11(68), pp. 1180–1183. (in Russ.)
11. Luchnikova T.A., Prikhod'ko O.B. The effect of vitamin D and vitamin D binding protein on the course of asthma. *Amur Medical Journal*, 2022, vol. 1(32), pp. 39–43. (in Russ.)
12. Mal'tsev S.V. Modern data on vitamin D – metabolism, role in the organism, and features of application in a doctor's practice. *Practical medicine*, 2020, vol. 4, pp. 8–20. (in Russ.)
13. Khakberdieva G.E., Kasymova Sh.Sh. Influence of vitamin D on immunity. *The National Children Medical Center Herald*, 2022, no. 3, pp. 52–53. (in Russ.)
14. Meshkini F., Soltani S., Clark C.C.T., Tam V., Meyre D., Toupchian O., Saraf-Bank S., Abdollahi S. The effect of vitamin D supplementation on serum levels of fibroblast growth factor-23: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *The Journal of steroid biochemistry and molecular biology*, 2022, vol. 215, p. 106012. DOI: 10.1016/j.jsbmb.2021.106012.
15. Bikle D.D. Vitamin D and the skin: Physiology and pathophysiology. *Rev Endocr Metab Disord*, 2012, vol. 13(1), pp. 3–19. DOI: 10.1007/s11154-011-9194-0.
16. Mahmoud A.M., Szczurek M., Hassan C., Masrur M., Gangemi A., Phillips S.A. Vitamin D Improves Nitric Oxide-Dependent Vasodilation in Adipose Tissue Arterioles from Bariatric Surgery Patients. *Nutrients*, 2019, vol. 18, no. 11(10), p. 2521. DOI: 10.3390/nu11102521.
17. Abugoukh T.M., Al Sharaby A., Elshaikh A.O., Joda M., Madni A., Ahmed I., Abdakka R.S., Ahmed K., Elazrag S.E., Abdelrahman N. Does Vitamin D Have a Role in Diabetes? *Cureus*, 2022, vol. 18, no. 14(10), p. e30432. DOI: 10.7759/ cureus.30432.
18. Charlotte D., Speeckaert M.M. Vitamin D and Vitamin D-Binding Protein in Health and Disease. *International journal of molecular sciences*, 2023, vol. 24(5), pp. 46–42. DOI: 10.3390/ijms24054642.
19. Shannon G., David S., Subih H.S., Boylan M. Improving vitamin D status in bariatric surgery subjects with monthly high-dose ergocalciferol. *Int J Vitam Nutr Res*, 2022, vol. 92, no. 2, pp. 109–117. DOI: 10.1024/0300-9831/a000728.
20. Merchant R.A., van Dam R.M., Tan L.W.L., Lim M.Y., Low J.L., Morley J.E. Vitamin D Binding Protein and Vitamin D Levels in Multi-Ethnic Population. *J. Nutr. Health. Aging*, 2018, vol. 22(9), pp. 1060–1065. DOI: 10.1007/s12603-018-1114-5.
21. Luchnikova T.A., Prikhod'ko O.B. Features of clinical course of asthma in pregnant women depending on the level of exhaled nitrogen oxide and vitamin D in the organism. *Bulletin of physiology and pathology of respiration*, 2016, vol. 62, pp. 35–39. (in Russ.)

22. Bratke K., Wendt A., Garbe K., Kuepper M., Julius P., Lommatzsch M., Virchow J.C. Vitamin D binding protein and vitamin D in human allergen-induced endobronchial inflammation. *Clinical and experimental immunology*, 2014, vol. 177, no. 1, pp. 366–372. DOI: 10.1111/cei.12346.
23. Jolliffe D.A., Greenberg L., Hooper R.L., Griffiths C.J., Camargo C.A. Jr., Kerley C.P., Jensen M.E., Mauger D., Stelmach I., Urashima M., Martineau A.R. Vitamin D supplementation to prevent asthma exacerbations: a systematic review and meta-analysis of individual participant data. *Lancet Respir Med*, 2017, vol. 5(11), pp. 881–890. DOI: 10.1016/S2213-2600(17)30306-5.
24. Luchnikova T.A., Prikhodko O.B. The relationship between Vitamin D levels, Vitamin D binding protein and bronchial asthma. *Russian Journal of Allergy*, 2020, vol. 17, no. S, p. 20.
25. Qin R., Huang R., Fu W. et al. Sputum vitamin D binding protein: A potential biomarker of airway vitamin D axis in asthma. *Ann Allergy Asthma Immunol*, 2020, vol. 125(3), pp. 350–352. DOI: 10.1016/j.anai.2020.06.005.
26. Wang M., Liu M., Wang C., Feng M., Li J. Association between vitamin D status and asthma control: A meta-analysis of randomized trials. *Respir Med*, 2019, vol. 150, pp. 85–94. DOI: 10.1016/j.rmed.2019.02.016.
27. Gromova O.A., Torshin I.Yu., Putilina M.V., Sardaryan I.S., Fedotova L.E., Limanova O.A. Nociception: the roles of vitamin D. *Nevrologiya, neiropsikhiatriya, psikhosomatika*, 2021, vol. 1, pp. 145–152. (in Russ.)
28. Jassil N.K., Sharma A., Bikle D., Wang X. Vitamin D binding protein and 25-hydroxyvitamin D levels: emerging clinical applications. *Endocr Pract*, 2017, vol. 23(5), pp. 605–613. DOI: 10.4158/EP161604.RA.
29. Sassi F., Tamone C., D'Amelio P. Vitamin D: Nutrient, Hormone, and Immunomodulator. *Nutrients*, 2018, vol. 3, no. 10(11), p. 1656. DOI: 10.3390/nu10111656.
30. Doskina E.V. The role of various forms of vitamin D in the treatment of patients with vitamin D deficiency (clinical case). *Endokrinologiya: novosti, mneniya, obuchenie*, 2021, vol. 2(35), pp. 123–128. (in Russ.)
31. Kovaleva E.V., Ajnetdinova A.R., Eremkina A.K., Mokrysheva N.G. Influence of deficiency or insufficiency of vitamin D on the circadian rhythm of serum calcium level. *Obesity and metabolism*, 2020, no. 3, pp. 283–291. (in Russ.)
32. Holick M.F. Sunlight and vitamin D for bone health and prevention of autoimmune diseases, cancers, and cardiovascular disease. *Am. J. Clin. Nutr*, 2004, vol. 80, pp. 1678S–1688S.
33. Chang S-W., Lee H-C. Vitamin D and health – The missing vitamin in humans. *Pediatr Neonatol*, 2019, vol. 60(3), pp. 237–244.
34. Kalajian T.A, Aldoukhi A., Veronikis A.J., Persons K., Holick M.F. Ultraviolet B Light Emitting Diodes (LEDs) Are More Efficient and Effective in Producing Vitamin D_3 in Human Skin Compared to Natural Sunlight. *Sci Rep.*, 2017, vol. 13, no. 7(1), p. 11489. DOI: 10.1038/s41598-017-11362-2.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Юлия Викторовна Болдырева – кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры биологической химии, ФГБОУ ВО Тюменский ГМУ Минздрава России, Тюмень, e-mail: tgma.06@mail.ru.
Денис Геннадьевич Губин – доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры биологии, ФГБОУ ВО Тюменский ГМУ Минздрава России, Тюмень, e-mail: dgubin@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Yulia V. Boldyreva – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Biological Chemistry, Tyumen State Medical University, Tyumen, e-mail: tgma.06@mail.ru.
Denis G. Gubin – Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor of the Department of Biology, Tyumen State Medical University of the Ministry of Health of Russia, Tyumen, e-mail: dgubin@mail.ru.

Для цитирования: Болдырева, Ю. В. Витамин Д и солнечный свет / Ю. В. Болдырева, Д. Г. Губин // Современные вопросы биомедицины. – 2024. – Т. 8. – № 4(30). DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_04_4

For citation: Boldyreva Yu.V., Gubin D.G. Vitamin D and sunlight. *Modern Issues of Biomedicine*, 2024, vol. 8, no. 4(30). DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_04_4