



БИОХИМИЯ/BIOCHEMISTRY

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.168.109> EDN: MJZELW

КОРРЕЛЯЦИЯ МЕЖДУ ДЕФИЦИТОМ НУТРИЕНТОВ (D, B, CA, MG) И СТАТУСОМ ЖИРОРАСТВОРИМЫХ ВИТАМИНОВ (A, E) У КРЫС

Научная статья

Садовская Т.А.¹, Кравченко А.Л.^{2,*}, Филякин А.М.³, Соловьева Е.А.⁴¹ORCID : 0009-0003-2170-8200;^{1,2,3,4}Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии им. К.И. Скрябина, Москва, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (tohj85[at]yandex.ru)

Предложена: 25.03.2026; Принята: 01.06.2026; Опубликовано: 17.06.2026

Аннотация

Изучено влияние наиболее распространенных среди населения РФ алиментарных дефицитов (витамины D, группы B, а также кальций и магний) на обеспеченность организма витаминами A и E. В двух экспериментах на крысах-самцах Wistar оценивали концентрации ретинола и альфа-токоферола в плазме крови, печени и головном мозге методом ВЭЖХ. Установлено, что недостаток изучаемых нутриентов приводит к повышению уровня холестерина в плазме крови и значительному накоплению альфа-токоферола в печени (в 2,2 раза выше контроля), что, вероятно, связано с нарушением липидного обмена и развитием жировой инфильтрации печени. Концентрация ретинола в плазме и печени не изменялась. Полученные результаты обосновывают необходимость коррекции микронутриентного статуса для профилактики метаболических нарушений и использования липид-скорректированных показателей при оценке обеспеченности витамином E.

Ключевые слова: витамин A, витамин E, витамин D, витамины группы B, кальций, магний, дефицит, липидный обмен, крысы, ВЭЖХ.

THE CORRELATION BETWEEN NUTRIENT DEFICIENCIES (D, B, CA, MG) AND THE STATUS OF FAT-SOLUBLE VITAMINS (A, E) IN RATS

Research article

Sadovskaya T.A.¹, Kravchenko A.L.^{2,*}, Filyakin A.M.³, Soloveva Y.A.⁴¹ORCID : 0009-0003-2170-8200;^{1,2,3,4}Skryabin Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology, Moscow, Russian Federation

* Corresponding author (tohj85[at]yandex.ru)

Suggested: 25.03.2026; Accepted: 01.06.2026; Published: 17.06.2026

Abstract

The influence of the most common dietary deficiencies in the Russian population (vitamins D and B, as well as calcium and magnesium) on the body's supply of vitamins A and E was studied. In two experiments on male Wistar rats, the concentrations of retinol and alpha-tocopherol in blood plasma, liver and brain were assessed using HPLC. It was found that a deficiency of the studied nutrients leads to an increase in plasma cholesterol levels and a significant accumulation of alpha-tocopherol in the liver (2.2 times higher than the control), which is likely associated with impaired lipid metabolism and the development of hepatic steatosis. The concentration of retinol in plasma and the liver remained unchanged. The obtained results substantiate the need to correct micronutrient status for the prevention of metabolic disorders and the use of lipid-corrected indices when assessing vitamin E intake.

Keywords: vitamin A, vitamin E, vitamin D, B vitamins, calcium, magnesium, deficiency, lipid metabolism, rats, HPLC.

Введение

Витамины A и E, известные соответственно как ретинол и альфа-токоферол, представляют собой важные жирорастворимые микронутриенты, которые играют незаменимую роль в функционировании человеческого организма. Ретинол, или витамин A, необходим для множества жизненно важных процессов, включая рост организма, репродуктивные функции, дифференцировку тканей, а также поддержание нормальной работы иммунной системы и зрения. Это делает его важным элементом в рационе человека, поскольку его недостаток может привести к серьезным нарушениям.

Альфа-токоферол, в свою очередь, является мощным антиоксидантом, который защищает клеточные мембраны и полиненасыщенные жирные кислоты от окислительного стресса, вызванного перекисным окислением. Это свойство делает его особенно ценным для поддержания здоровья клеток и тканей, так как окислительный стресс может приводить к повреждениям и различным заболеваниям.

Важно отметить, что транспортировка и накопление витаминов A и E в организме тесно связаны с метаболизмом липидов. Эти витамины всасываются в кишечнике в составе мицелл, а затем транспортируются с помощью липопротеидов, что позволяет им достигать различных тканей, где они могут накапливаться. Таким образом,

состояние липидного обмена и наличие жиров в рационе напрямую влияют на уровень этих витаминов в организме [7], [9], [11], [12].

На основе многократных эпидемиологических исследований, проведенных в Федеральном исследовательском центре питания и биотехнологии, стало известно о распространенности дефицитов витаминов D и группы B, а также таких минеральных веществ, как кальций и магний, среди населения России. Дефицит этих нутриентов может приводить к развитию окислительного стресса и нарушению липидного обмена, что, в свою очередь, может негативно сказаться на общем состоянии здоровья.

Например, недостаток витаминов B2 и B6 может оказывать влияние на синтез аполипопротеинов, которые играют ключевую роль в транспортировке липидов в организме. Дефицит витамина D и магния, в свою очередь, может снижать активность ферментов, отвечающих за регуляцию липидного профиля, что также может привести к нарушениям в обмене веществ и повышению риска различных заболеваний.

Учитывая, что усвоение витаминов A и E зависит от состояния липидного метаболизма, возникает предположение, что распространенные дефициты питательных веществ могут опосредованно влиять на уровень этих витаминов в организме. В связи с этим целью данной работы стало изучение влияния сочетанного недостатка витаминов D, группы B, а также кальция и магния в рационе на биомаркеры обеспечения организма крыс витаминами A и E. Это исследование может дать важные данные о взаимосвязи между различными нутриентами и их влиянием на состояние здоровья, что особенно актуально в условиях современного общества, где правильное питание и баланс витаминов и минералов становятся все более важными для поддержания здоровья и профилактики заболеваний [2], [4], [6], [10].

Методы и принципы исследования

Работа выполнена на базе лаборатории витаминов и минеральных веществ ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии». Исследования проведены на 60 крысах-самцах линии Wistar с исходной массой 40–60 г. Содержание животных соответствовали принципам надлежащей лабораторной практики (ГОСТ Р 53434-2009). Дизайн исследования включал два эксперимента.

Эксперимент 1 (n=33) длительностью 30 суток был направлен на изучение влияния дефицита витаминов D и группы B. Животные были разделены на 3 группы: контроль (полноценный рацион), группа «-B-D/-B+D» (дефицит витаминов группы B на всем протяжении с восполнением витамина D на 7-й день) и группа «-B-D/+B+D» (восполнение всех витаминов на 7-й день).

Эксперимент 2 (n=15) длительностью 30 суток моделировал сочетанный дефицит. Крысы контрольной группы (n=9) получали полноценный полусинтетический рацион [10]. Опытная группа (n=6) получала рацион со сниженным в 5 раз содержанием витаминов D и группы B и в 2 раза сниженным содержанием кальция и магния относительно контроля.

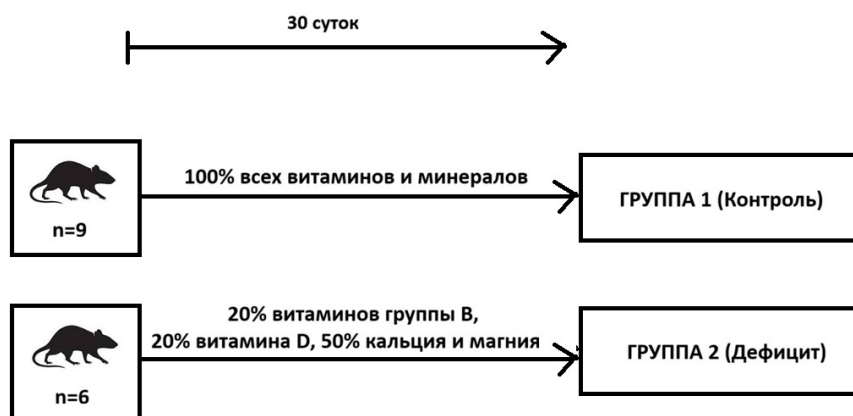


Рисунок 1 - Схема эксперимента

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.168.109.1>

По окончании экспериментов животных декапитировали под эфирным наркозом. Определение концентраций ретинола и альфа-токоферола в плазме крови, лиофилизированных образцах печени и головного мозга проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (система Agilent 1100 с диодно-матричным детектором) после экстракции n-гексаном [11]. Детектирование осуществляли при длинах волн 325 нм (ретинол) и 292 нм (альфа-токоферол). В печени также определяли содержание ретинола пальмитата. Концентрации триглицеридов (ТГ) и холестерина (ХС) в плазме измеряли на биохимическом анализаторе «KoneLab 200i».

Статистическую обработку данных проводили с использованием программ Microsoft Office Excel 2007 и SPSS Statistics 23.0. Результаты представлены в виде медианы и минимальных и максимальных значений (Me (min-max)). Для сравнения независимых выборок применяли непараметрический критерий Манна-Уитни. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$, тенденцию отмечали при $0,05 \leq p < 0,10$.

Основные результаты

Влияние на антропометрические показатели. В обоих экспериментах у крыс, получавших дефицитные рационы, наблюдалось статистически значимое снижение конечной массы тела по сравнению с контролем (в эксперименте 2 — на 7,0%, $p=0,019$), что косвенно подтверждает развитие алиментарной недостаточности. При этом абсолютная масса печени и мозга не изменялась, что приводило к достоверному увеличению их относительной массы за счет меньшей массы тела.

Влияние на статус витамина А. В ходе обоих экспериментов не было выявлено статистически значимых изменений концентрации ретинола в плазме крови, а также содержания его депонированной формы (ретинола пальмитата) в печени. Это свидетельствует о том, что синтез ретинол-связывающего белка и механизмы гомеостазирования витамина А, по-видимому, не нарушаются при данных уровнях сочетанного дефицита, в отличие от полного исключения витаминов группы В [1].

Влияние на статус витамина Е и липидный обмен. Наиболее выраженные изменения были зафиксированы для витамина Е. В эксперименте 1 у крыс с дефицитом витаминов группы В (группа №3) наблюдалась тенденция к повышению абсолютной концентрации альфа-токоферола в плазме крови (на 7%, $p<0,10$) и достоверное повышение уровня холестерина ($p<0,10$) (таблица 1).

Таблица 1 - Концентрация биомаркеров обеспеченности витаминами А и Е, триглицеридов и холестерина в плазме крови крыс

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.168.109.2>

Показатель	Группа №1 (контроль)	Группа №2 (-В-D/+В+D)	Группа №3 (-В-D/-В+D)
Ретинол, мкМ	1,19 (0,96-1,62)	1,26 (0,64-1,50)	1,25 (0,55-1,49)
Ретинол / ТГ, мкМ/ммМ	1,62 (0,49-3,21)	1,67 (0,77-2,56)	1,15 (0,70-2,44)
Ретинол / ХС, мкМ/ммМ	0,681 (0,440-1,259)	0,741 (0,489-0,993)	0,606 (0,256-0,809)
Ретинол / (ТТ+ХС), мкМ/ммМ	0,456 (0,256-0,905)	0,523 (0,318-0,656)	0,411 (0,208-0,587)
Альфа-токоферол, мкМ	25,8 (14,6-46,2)	26,1 (12,3-29,7)	27,6*(1,2) (20,2-36,4)
Альфа-токоферол ТГ, мкМ/ммМ	31,8 (19,5-59,0)	29,5 (14,9-53,0)	30,5 (21,8-45,1)
Альфа-токоферол / ХС, мкМ/ммМ	17,70 (7,80-25,80)	13,95 (8,80-19,60)	15,80 (10,40-18,80)
Альфа-токоферол, (ТТ+ХС), мкМ/ммМ	11,3 (6,3-15,0)	9,3 (6,0-12,8)	10,2 (7,4-12,0)
Триглицериды, ммМ	0,69 (0,46-1,95)	0,78 (0,49-1,33)	0,96 (0,49-1,31)
Холестерин, ммМ	1,78 (1,29-2,78)	1,71 (1,18-2,20)	1,92*(2) (1,55-2,30)

Примечание: ТГ – триглицериды, ХС – холестерин, * - статистически значимое отличие на уровне тенденции при $p<0,10$ от показателя соответствующей группы (указана в скобках)

В эксперименте 2 дефицит по витаминам и минералам привел к еще более выраженным изменениям: абсолютное содержание альфа-токоферола в печени возросло в 2,2 раза ($p=0,018$) по сравнению с контролем [3].

Обсуждение

Полученные данные позволяют предположить, что дефицит витаминов группы В и D, а также Са и Mg, приводит к нарушению липидного обмена. Повышение уровня холестерина в плазме и, вероятно, накопление жира в печени (гепатостеатоз) создает «липидное депо», которое аккумулирует жирорастворимый витамин Е. Это объясняет парадоксальное, на первый взгляд, повышение концентрации альфа-токоферола в гепатоцитах, несмотря на дефицит других микронутриентов. Отсутствие аналогичных изменений для витамина А может быть связано с более жестким белково-опосредованным контролем его метаболизма. Транспорт витамина Е, хоть и зависит от белка-переносчика (альфа-ТТР), в большей степени коррелирует с общим пулом липидов [8].

Это подтверждает тезис о том, что для корректной оценки Е-витаминного статуса необходимо использовать не абсолютные значения, а показатели, соотношенные с уровнем липидов (ХС, ТГ), что нивелирует различия, обусловленные дислипидемией.

Заключение

1. Совместный дефицит витаминов D, группы В, кальция и магния в рационе растущих крыс не оказывает статистически значимого влияния на биомаркеры обеспеченности организма витамином А (концентрацию ретинола в плазме и его эфиров в печени).

2. Установлено, что данные нутриентные дефициты приводят к нарушению липидного обмена, что проявляется повышением уровня холестерина в плазме крови и выраженным (в 2,2 раза) накоплением альфа-токоферола в печени, что, вероятно, связано с развитием жировой инфильтрации.

3. Выявленные изменения обосновывают необходимость коррекции микронутриентного статуса для профилактики метаболического синдрома и подтверждают целесообразность использования липид-скорректированных показателей (альфа-токоферол/ХС, альфа-токоферол/ТГ) при диагностике обеспеченности организма витамином Е.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Кузнецова Н.С., Забайкальский государственный университет, Чита Российская Федерация
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.168.109.3>

Conflict of Interest

None declared.

Review

Kuznetsova N.S., Transbaikal State University, Chita Russian Federation
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.168.109.3>

Список литературы / References

1. Апрытин С.А. Влияние В-витаминного дефицита на биохимические, иммунологические показатели / С.А. Апрытин // Вопросы питания. — 2018. — 4. — С. 14–24.
2. Вржесинская О.А. Влияние алиментарной недостаточности кальция, магния и йода на витаминный статус крыс / О.А. Вржесинская // Микроэлементы в медицине. — 2021. — 1. — С. 52–59.
3. Вржесинская О.А. Экспериментальная модель алиментарного полигиповитаминоза / О.А. Вржесинская // Вопросы питания. — 2012. — 2. — С. 51–56.
4. Вербовая А.Ф. Многоликий витамин D / А.Ф. Вербовая // Фарматека. — 2020. — 4. — С. 12–21.
5. Коденцова В.М. Витаминная обеспеченность взрослого населения Российской Федерации: 1987–2017 гг. / В.М. Коденцова // Вопросы питания. — 2018. — 4. — С. 62–68.
6. Коденцова В.М. Витамины и окислительный стресс / В.М. Коденцова // Вопросы питания. — 2013. — 3. — С. 11–18.
7. Орлова С.В. Витамин А: позиция диетолога / С.В. Орлова // Медицинский алфавит. — 2020. — 21. — С. 49–57.
8. Спиричев В.Б. Методы оценки витаминной обеспеченности населения: Учебно-методическое пособие / В. Б. Спиричев, В. М. Коденцова, О. А. Вржесинская [и др.] – Москва: ПКЦ Альтекс, 2001. – 68 с
9. Шамитова Е.Н. Витамин А и его роль в организме человека / Е.Н. Шамитова // Международный студенческий научный вестник. — 2019. — 3. — С. 1–15.
10. Bian X. Riboflavin deficiency affects lipid metabolism partly by reducing apolipoprotein B100 synthesis in rats / X. Bian // J Nutr Biochem. — 2019. — 70. — P. 75–81.
11. Kono N. Intracellular Transport of Fat-Soluble Vitamins A and E / N. Kono // Traffic. — 2014. — 16. — P. 19–34.
12. Jiang Q. Natural forms of vitamin E: metabolism, antioxidant, and anti-inflammatory activities / Q. Jiang // Free Radical Biology and Medicine. — 2014. — 72. — P. 76–90.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Apryatin S.A. Vliyanie V-vitamininogo deficita na bioximicheskie, immunologicheskie pokazateli [The effect of B-vitamin deficiency on biochemical and immunological parameters] / S.A. Apryatin // Nutrition issues. — 2018. — 4. — P. 14–24. [in Russian]
2. Vrzhesinskaya O.A. Vliyanie alimentarnoj nedostatochnosti kal'ciya, magniya i joda na vitaminnyj status kry's [The effect of nutritional deficiencies of calcium, magnesium and iodine on the vitamin status of rats] / O.A. Vrzhesinskaya // Trace elements in medicine. — 2021. — 1. — P. 52–59. [in Russian]
3. Vrzhesinskaya O.A. E'ksperimental'naya model' alimentarnogo poligipovitaminoza [An experimental model of nutritional polyhypovitaminosis] / O.A. Vrzhesinskaya // Nutrition issues. — 2012. — 2. — P. 51–56. [in Russian]
4. Verbovaya A.F. Mnogolikij vitamin D [The many faces of vitamin D] / A.F. Verbovaya // Pharmateca. — 2020. — 4. — P. 12–21. [in Russian]
5. Kodenczova V.M. Vitaminnaya obespechennost' vzroslogo naseleniya Rossijskoj Federacii: 1987–2017 gg. [Vitamin availability of the adult population of the Russian Federation: 1987–2017] / V.M. Kodenczova // Nutrition issues. — 2018. — 4. — P. 62–68. [in Russian]
6. Kodenczova V.M. Vitaminy' i okislitel'nyj stress [Vitamins and oxidative stress] / V.M. Kodenczova // Nutrition issues. — 2013. — 3. — P. 11–18. [in Russian]
7. Orlova S.V. Vitamin A: poziciya dietologa [Vitamin A: the position of a nutritionist] / S.V. Orlova // The Medical alphabet. — 2020. — 21. — P. 49–57. [in Russian]
8. Spirichev V.B. Metody ocenki vitaminnoj obespechennosti naseleniya: Uchebno-metodicheskoe posobie [Methods for assessing vitamin availability of the population: An educational and methodical manual] / V. B. Spirichev, V. M. Kodentsova, O. A. Vrzhesinskaya [et al.] – Moscow: PKTS Altex, 2001. – 68 p. [in Russian]
9. Shamitova E.N. Vitamin A i ego rol' v organizme cheloveka [Vitamin A and its role in the human body] / E.N. Shamitova // International Student Scientific Bulletin. — 2019. — 3. — P. 1–15. [in Russian]
10. Bian X. Riboflavin deficiency affects lipid metabolism partly by reducing apolipoprotein B100 synthesis in rats / X. Bian // J Nutr Biochem. — 2019. — 70. — P. 75–81.
11. Kono N. Intracellular Transport of Fat-Soluble Vitamins A and E / N. Kono // Traffic. — 2014. — 16. — P. 19–34.
12. Jiang Q. Natural forms of vitamin E: metabolism, antioxidant, and anti-inflammatory activities / Q. Jiang // Free Radical Biology and Medicine. — 2014. — 72. — P. 76–90.