



хелатирует макро- и микроэлементы, ограничивая их биодоступность и снижая их усвоение. Методы предварительной обработки для снижения уровня фитатов и повышения пищевой ценности рационов - это ферментация, замачивание, проращивание. Снижение содержания фитатов в продуктах растительного происхождения путем обработки приводит к измеримому улучшению минерального статуса, однако хелатирующие и антиоксидантные свойства фитатов могут быть полезными, и в настоящее время изучаются их возможности в профилактике онкологических, сердечно-сосудистых заболеваний, сахарного диабета и камнеобразования в почках.

**Заключение.** Рекомендуется потреблять пищу, богатую цельными зёрнами, бобовыми, овощами, семенами и орехами, несмотря на то, что большинство из них имеют относительно высокое содержание ФК. Несмотря на некоторые антинутриентные свойства, ФК обладают профилактическими эффектами на здоровье населения.

**Ключевые слова:** фитиновые кислоты; фитаты; биодоступность; антинутриенты; дефицит минеральных веществ; антиоксиданты; веганство

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Вклад авторов.** Концепция и дизайн исследования - Ших Е.В., Махова А.А.; сбор и обработка данных - Дорогун О.Б., Махова А.А.; написание текста - Ших Е.В., Махова А.А., Елизарова Е.В.; редактирование, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи - все авторы.

**Для цитирования:** Ших Е.В., Махова А.А., Дорогун О.Б., Елизарова Е.В. Роль фитатов в питании человека // Вопросы питания. 2023. Т. 92, № 4. С. 20-28. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2023-92-4-20-28> (<https://doi.org/10.33029/0042-8833-2023-92-4-20-28>)

Биодоступность микроэлементов из ежедневного рациона человека зависит от множества факторов, в том числе от содержания микроэлементов в отдельных видах пищевых продуктов, способов их приготовления, активности пищеварительных ферментов, эффективности абсорбции в кишечнике [1]. В настоящее время отмечается дефицит в рационах питания ряда микронутриентов (железо, цинк, селен, йод, витамины) вследствие сформировавшихся у населения пищевых привычек и действия ряда социальных факторов [2]. К группам риска по развитию этих дефицитов относятся дети и подростки в период активного роста; беременные и кормящие женщины [2]; лица, находящиеся под действием хронического стресса, в том числе социального джетлага [3]. Длительный прием ряда лекарственных средств, особенно у пожилых людей, также может негативно влиять на обеспеченность организма некоторыми микронутриентами [4]. Дефицит ряда критических микроэлементов является фактором, предрасполагающим к развитию заболеваний, например к железо- и йоддефицитным состояниям [4]. В частности, дефицит железа отрицательно сказывается на течении и исходах беременности; формировании плода; здоровье новорожденного; на физическом и ментальном развитии детей, устойчивости к инфекциям; трудоспособности взрослого населения; течении хронических заболеваний; продолжительности и качестве жизни. Цинк участвует в росте и дифференцировке клеток, а его дефицит может вызывать нарушение роста, иммунную дисфункцию, аномальное нейробиохимическое развитие, приводит к повышению заболеваемости респираторными инфекциями [5]. С гипомagneмией ассоциировано развитие ряда заболеваний, к числу которых относят аритмию, сахарный диабет, остеопороз и др. [6].

Увеличиваются ограничительные паттерны пищевого поведения среди населения, в том числе веганство, вегетарианство, пищевая аллергия, особенно на белок коровьего молока [6, 7]. Лица, придерживающиеся веганства/вегетарианства, в рационе делают акцент на нерафинированные зерновые и бобовые продукты, но содержащиеся в них макро- и микроэлементы обладают низкой биодоступностью. Биодоступность минеральных веществ *in vitro* значительно варьирует в зависимости от самого элемента, его химических свойств и типа пищевой матрицы. Биодоступность из зерновых культур является низкой как за счет относительно низкого содержания минеральных веществ, так и за счет фитиновой кислоты

CiteScoreTracker 2023 

2.0 =  $\frac{538 \text{ цитирований на текущую дату}}{274 \text{ документов на текущую дату}}$   
Последнее обновление 05 December, 2023 • Обновляется ежемесячно

(<https://www.scopus.com/sourceid/?origin=sbrowse#cc>)

## ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

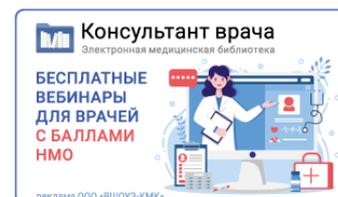
**Тутельян Виктор Александрович** (<http://www.12-16-13-240/29>)

Академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, научный руководитель ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

**ОТПРАВИТЬ СТАТЬЮ**  
([HTTPS://WWW.VOPROSY-PITANIYA.RU/RU/PAGES/PUBLISH-SSR=280134D88A16FFFFFFFFF2732B](https://www.voprosy-pitaniya.ru/ru/pages/publish-SSR=280134D88A16FFFFFFFFF2732B))

Купить номер  
(<https://medknigaservis.ru/product-category/zhurnaly/voprosy-pitaniya/>)

Оформить подписку  
([https://www.akc.ru/itm/voprosy\\_i-pitaniya\\_a/](https://www.akc.ru/itm/voprosy_i-pitaniya_a/))



(<https://www.rosmedlib.ru/pages/onerid=LdtCCK1oe>)



(<https://clck.ru/38EQNV>)

(ФК) и других антинутриентных факторов, снижающих их биодоступность до 5-15% и ниже. В связи с этим при смещении структуры питания в пользу растительной пищи повышаются риски микроэлементных дефицитов. Следует отметить, что содержание минеральных веществ, фосфора и фитата в отрубях намного выше, чем в цельном зерне [8].

Известно, что в зависимости от страны, культуры питания и доступности пищевых продуктов ежедневное потребление фитатов различается. Имеются значимые различия в потреблении фитатов с рационами между западными странами с высоким уровнем дохода и странами с низким уровнем дохода на душу населения в таких регионах, как Южная и Юго-Восточная Азия и Центральная Африка, а также между городскими (крупными городами) и сельскими районами [9].

**Фитиновая кислота (IP6)** представляет собой дигидрогенфосфатный эфир инозитола, также называемый мио-инозитол-1,2,3,4,5,6-гексакисфосфат. Цифры 1-6 означают наличие 6 потенциальных сайтов связывания. ФК - основная форма хранения фосфора и благодаря своему сродству к ионам металлов хелатирует катионы  $Zn^{2+}$  и  $Fe^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Mn^{2+}$  и  $Cu^{2+}$ . Во время развития семян ФК накапливаются в виде смешанных солей, содержащих фосфор, магний и калий, и в меньшей степени кальций, цинк и марганец [10]. Исследования различных культур, отличающихся содержанием ФК, показывают более или менее линейное увеличение биодоступности железа и цинка при снижении содержания ФК в зерне, что связано с линейным уменьшением общих сайтов связывания минеральных веществ при уменьшении содержания ФК [11]. Человек и моногастральные животные не могут метаболизировать ФК из-за отсутствия достаточного уровня активности ферментов эндофитаз, разрушающих фитат в пищеварительном тракте. В связи с этим фитаты не могут расщепляться в желудочно-кишечном тракте. Как следствие, минеральные вещества, связанные фитатами, не являются биодоступными. Связь минеральных веществ с ФК может быть разрушена при обработке пищевых продуктов ферментом фитазой, а также фитазой микробиоты кишечника. Помимо того, что ФК является молекулой, связывающей минеральные элементы, она также может влиять на метаболизм аминокислот и углеводов (путем связывания аминокислот и пептидов); действовать как сильный антиоксидант (например, уменьшая индуцированное железом перекисное окисление липидов) и проявлять антипролиферативную активность (путем снижения сильных прооксидантных свойств свободного железа и усиления процесса апоптоза в опухолевых клетках) [12].

Имеются данные об использовании фитата натрия для обеспечения стабильности пищевых продуктов [13]. В частности, рассматривается возможность использования ФК в качестве консерванта в пищевых продуктах [14]. Сообщается также, что ФК может увеличить окислительную стабильность как сырого, так и приготовленного мяса во время хранения за счет ингибирования перекисного окисления липидов [15].

Имеются данные об использовании ФК с целью предотвращения потемнения фруктов и овощей в процессе хранения. Полифенолоксидазы (ПФО) представляют собой группу окислительных ферментов, которые вызывают ферментативное потемнение фруктов и овощей. Каталитическая активность ПФО частично зависит от меди. По этой причине добавление ФК в пищу в качестве агента, связывающего медь, может быть использовано для предотвращения нежелательного потемнения фруктов/овощей. При переработке фруктов/овощей хлорофилл ( $Mg^{2+}$ ) теряется, что приводит к нежелательному изменению цвета. Добавление ФК может стабилизировать хлорофилл ( $Mg^{2+}$ ) для сохранения цвета [16]. Исследования показали, что добавление 0,1 мМ ФК приводило к ингибированию ПФО в яблочном соке на 99,2% [17].

**Источниками ФК** являются зерновые, бобовые, орехи и семена, которые важны для питания человека (см. таблицу). Фитаты быстро накапливаются в семенах в период созревания. В зерновых, злаках, рисе и пшенице ФК содержится во фракции отрубей, таких как алейроновый слой и околоплодник, в кукурузе она накапливается в эндосперме. Содержание ФК в зародышах пшеницы и пшеничных отрубях составляет 1,1-3,9 и 2,0-5,3% соответственно; в рисовых отрубях - до 8,7%. В семенах бобовых фитаты находятся в эндосперме, а их содержание в целых семенах составляет от 0,2 до 2,9% и выше (>3,7% в семядолях); в семенах бобовых дикого типа содержание ФК составляет 0,98-3,14 г/100 г. В масличных культурах, таких как соевые бобы, семена кунжута, ядра подсолнечника, семена льна и семена рапса, содержание ФК колеблется от 1,0 до 5,4%. Сообщается о максимальном содержании ФК в соевых концентратах (10,7%). Следующей группой богатых фитатом продуктов являются орехи (грецкие, миндаль, кешью), в которых содержание ФК варьирует от 0,1 до 9,4% [18].



([https://5mcc.vshouz.ru/?utm\\_source=geotar.ru&utm\\_medium=](https://5mcc.vshouz.ru/?utm_source=geotar.ru&utm_medium=)



(<http://www.geotar.ru>).



(<http://www.rosmedlib.ru>).



([http://www.lsgeotar.ru?XFrom=journal\\_diet](http://www.lsgeotar.ru?XFrom=journal_diet))



([http://vshouz.ru?XFrom=journal\\_diet](http://vshouz.ru?XFrom=journal_diet))

Содержание фитиновой кислоты в основных зерновых, бобовых, масличных культурах и орехах (по E. Feizollahi и соавт., 2021 [19] с модификацией)

*Phytic acid content in some cereals, legumes, oilseeds, and nuts (according to E. Feizollahi et al., 2021 [19] with modification)*

Продукт / Product	Содержание фитиновых кислот Phytic acid content, %
<b>Злаки / Cereals</b>	
Зародыш кукурузы / Corn germ	6,39
Пшеничные отруби / Wheat bran	2,1–7,3
Зародыши пшеницы / Wheat germ	1,14–3,91
Рисовые отруби / Rice bran	2,56–8,7
Ячмень / Barley	0,38–1,16
Сорго / Sorghum	0,57–3,35
Рожь / Rye	0,54–1,46
Просо / Millet	0,18–1,67
<b>Бобовые / Legumes</b>	
Фасоль / Beans	0,61–2,38
Горох / Peas	0,22–1,22
Нут / Chickpeas	0,28–1,60
Чечевица / Lentils	0,27–1,51
Арахис / Peanut	0,17–4,47
<b>Масличные культуры / Oilseeds</b>	
Соевые бобы / Soya beans	1,0–2,22
Льняное семя / Flax-seed	2,15–3,69
Кунжут / Sesame	1,44–5,36
Шрот подсолнечный / Sunflower meal	3,9–4,3
<b>Орехи / Nuts</b>	
Миндаль / Almond	0,35–9,42
Грецкие орехи / Walnuts	0,20–6,69
Орехи кешью / Cashew nuts	0,19–4,98

### Способы снижения содержания фитатов в рационе

Существует несколько методов, которые разработаны для удаления ФК из цельных зерен, бобовых и других источников пищевых фитатов [18].

**Ферментация** - метаболический процесс, который широко используется в пищевой промышленности для приготовления многих продуктов, при этом ферментация пищевых зерен улучшает биодоступность минеральных веществ. При ферментации создается оптимальный pH, который способствует деградации ФК [19], в результате чего в зерне возрастает количество растворимого железа, цинка и кальция в несколько раз. Согласно опубликованным данным, промышленная ферментация зерна проса в течение 12 и 24 ч может снизить уровень ФК на 45% [20]. Естественная ферментация приводит к значительному снижению ФК в рисовой муке под действием микробных, а также зерновых фитаз. Фитазы восстанавливают гексаформу ФК (IP6, мио-инозитол-1,2,3,4,5,6-гексакисфосфат) в более низшие формы, такие как IP5, IP4, IP3, IP2, IP1 и мио-инозитол [21]. Низшие формы ФК имеют меньшую связующую способность для металлов, таких как железо и цинк. При ферментации проростков жемчужного проса смешанными чистыми культурами *Saccharomyces diasticus*, *S. cerevisiae*, *Lactobacillus brevis* и *L. fermentum* при 30 °C в течение 72 ч было зафиксировано снижение содержания ФК на 88,3% [22]. Как правило, исследования процессов пищеварения *in vitro* подтверждают, что подкисление теста, вызванное ферментацией, снижает содержание фитатов и увеличивает содержание свободных ионизированных минеральных веществ [19]. В настоящее время расширяется перечень ферментированных пищевых продуктов, таких как хлеб, произведенный на закваске, что снижает содержание ФК в тесте и хлебе.

Условия окружающей среды, особенно содержание минеральных веществ в почве, играют определяющую роль в содержании минеральных веществ в зерновой культуре, что также коррелирует с содержанием ФК. Содержание минеральных элементов существенно зависит от типа зерна: в порядке убывания - сорго > дикий рис > кукуруза > рожь, пшеница > овес, ячмень [23]. Следует отметить, что различные бобовые и семена, такие как кунжут, льняное семя, фасоль, кукуруза и соя, как правило, имеют более высокое содержание ФК по сравнению с наиболее часто употребляемыми зерновыми, такими как пшеница. Во время помола отруби и зародыши могут быть отделены от эндосперма, и в результате получается белая мука с очень низким содержанием фитатов и минеральных веществ, как и все другие рафинированные зерновые продукты [24].

Содержание ФК резко снижается за счет гидролиза. Во время **замачивания** и приготовления продуктов предполагается полное погружение зерен в воду на определенный промежуток времени, что приводит к активации эндогенных фитаз. Замачивание при температуре от 45 до 65 °С и значении pH от 5 до 6 приводит к гидролизу значительного процента фитатов. Так, по мере увеличения времени замачивания с 2 до 12 ч содержание ФК в нуте снижалось на 47,4–55,7%. Недостатком метода является потеря наряду с фитатами минеральных веществ и белков [25].

Замачивание широко применяется и является одним из основных методов в процессе прорастания и брожения зерновых культур [26]. Приготовление пищи из вымоченных ингредиентов показало гораздо большую эффективность в снижении содержания ФК, чем только замачивание в течение короткого времени. Следует учитывать, что фитаты, которые присутствуют в хлебе, могут быть частично расщеплены фитазами в кислой среде желудка, более того, в толстой кишке происходит ферментация пищевых волокон в присутствии специфических видов микроорганизмов с высокой фитазной активностью, что приводит к деградации значительной части ФК и солюбилизации минеральных комплексов, увеличению ионизированных свободных минеральных веществ и повышению их абсорбции в кишечнике [27]. При изучении влияния различных режимов замачивания на концентрацию фитатов и минеральных веществ в цельном и измельченном миндале, фундуке, арахисе и грецких орехах применялись следующие способы замачивания: на 12 ч в солевом растворе; на 4 ч в солевом растворе; на 12 ч в воде. Концентрации фитатов анализировали с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии, концентрацию минеральных веществ - с помощью масс-спектрометрии. Результаты исследования показали, что различия в концентрации фитатов между обработанными и необработанными сырыми орехами были статистически незначимыми (в пределах 10%). Замачивание приводило к снижению концентрации полезных минеральных веществ, особенно для измельченных орехов. Это исследование опровергло мнение, что "активация" орехов путем замачивания приводит к лучшему усвоению пищевых веществ [28].

**Проращивание** семян снижает содержание ФК до 40%. В экспериментах продемонстрировано, что солодование проса снижает содержание ФК на 23,9% через 72 ч и на 45,3% через 96 ч [29]. Исследование зерновых культур на содержание ФК показало, что проращивание в течение 10 дней приводило к статистически значимому снижению ( $p < 0,05$ ) содержания фитатов во всех пророщенных зернах злаков. Автоклавные и микроволновые процедуры снижают содержание ФК, что приводит к увеличению общего содержания минеральных веществ и их экстрагируемости соляной кислотой в хлебе из цельной пшеницы [30]. Приготовление под давлением (автоклавирование) обеспечивает более выраженное снижение содержания фитатов, чем приготовление при обычном атмосферном давлении. Фитаты термостабильны и поэтому не разлагаются во время приготовления пищи. Однако на ранних стадиях приготовления активация эндогенных фитаз или фосфатаз может снизить количество ФК. Другой возможной причиной снижения содержания фитатов при приготовлении пищи может быть присутствие щелочей и кислот, которые способствуют гидролизу [31].

Тем не менее увеличение высвобождения макро- и микроэлементов из их связанной с фитатами формы, которое потенциально способствует повышению всасывания в тонкой кишке цинка, железа, магния и кальция, не обязательно приводит к улучшению минерального статуса организма человека. Взаимодействие многих факторов, ингибирующих и стимулирующих биодоступность, определяет абсорбцию минеральных веществ [18, 32]. Исследования *in vitro* при переваривании одной пробной порции пищи в смоделированном отделе кишечника, когда факторы *in vivo* (нейронная регуляция, кровотоки, гормональные реакции и др.) отсутствуют, не дают возможности экстраполировать результаты эксперимента на организм человека. Так, показано, что результаты наблюдений при однократном приеме пищи могут преувеличивать влияние усилителей и ингибиторов на всасывание железа по сравнению с работами по оценке данных при нескольких приемах пищи [33].

Таким образом, полную картину биодоступности макро- и микроэлементов из пищевых продуктов и их влияние на минеральный статус организма можно получить только путем проведения разносторонних комплексных исследований *in vivo* [34].

### **Влияние фитатов на здоровье человека**

Несмотря на то что фитаты классифицируются как антинутриенты, они обладают и полезными свойствами для организма человека, что подтверждается имеющимися международными рекомендациями о целесообразности применения продуктов из цельного зерна за счет полезной клетчатки, при этом с потенциально высоким содержанием ФК [35, 36]. В связи с этим нами проведен анализ данных литературы по влиянию ФК на здоровье человека.

**Рак толстой кишки** - один из наиболее распространенных видов онкологического заболевания как среди мужчин, так и среди женщин, особенно в развитых странах [37]. Рацион питания может иметь значительное влияние на возникновение данной патологии за счет содержания различных пищевых волокон в ежедневно потребляемых пищевых продуктах. Рационы, богатые клетчаткой, источником которой являются содержащие ФК пшеничные отруби, снижают риск развития рака толстой кишки [38]. В экспериментальном исследовании [39] группа крыс, получавшая выделенную из рисовых отрубей ФК с питьевой водой во время постинициационной фазы канцерогенеза, продемонстрировала наибольшее снижение формирования очагов aberrантных крипт, что значимо для профилактики рака толстой кишки. Следует отметить, что роль ФК в профилактике рака толстой кишки может быть ограничена низкой растворимостью фитатов [40]. Механизм ингибирования ФК-окисления линолевой кислоты в толстой кишке в экспериментальных исследованиях также изучается как потенциальный путь профилактики развития онкопатологии [41].

**Рак молочной железы** является наиболее распространенным злокачественным новообразованием [42]. ФК может подавлять рост рака клеток молочной железы и индуцировать апоптоз раковых клеток, модулируя экспрессию генов, регулирующих апоптоз [43]. В клинических наблюдениях установлено, что пероральное применение инозитол гексафосфата (InsP6) может использоваться для снижения выраженности нежелательных явлений при проведении химиотерапии у женщин с раком молочной железы [44].

В экспериментальном исследовании введение в рацион крыс в течение месяца ФК (15 мМ IP6 с питьевой водой или замена 50% рациона на пшеничные отруби или зародыши) привело к снижению окислительного стресса и увеличению апоптической активности, результатом чего стало предотвращение пролиферации клеток рака молочной железы у крыс [45]. Предполагается, что ФК может хелатировать железо и, следовательно, вызывать апоптоз раковых клеток за счет снижения окислительной активности [44]. ФК обладает способностью в зависимости от дозировки и времени экспозиции индуцировать подавление роста и дифференцировку клеток гепатоцеллюлярных линий, что также может быть использовано с целью профилактики онкопатологии [39].

### **Сердечно-сосудистые заболевания**

Известен факт повышения риска развития сердечно-сосудистых заболеваний при высоком уровне в крови общего холестерина и липопротеинов низкой плотности, а также низком уровне липопротеинов высокой плотности [3]. ФК за счет увеличения выведения холестерина и желчных кислот с фекалиями [46] может привести к снижению уровня общего холестерина и липопротеинов низкой плотности, одновременно с этим повысить уровень липопротеинов высокой плотности, что снижает риск развития ишемической болезни сердца. В экспериментальных исследованиях на крысах показано, что снижение уровня общих липидов и триглицеридов в печени происходит при поступлении ФК с высокоуглеводным рационом на уровне 0,02%, холестерина - при 0,1% [47].

### **Сахарный диабет**

Исследования продемонстрировали значительное увеличение активности глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы при дополнительном потреблении крысами в течение 3 нед экстракта ФК из батата, что оказало благоприятное воздействие на гликемический профиль [45]. Таким образом, употребление продуктов, богатых ФК, может способствовать нормогликемии. Кроме того, фитаты могут связываться с металлами, такими как железо, и, следовательно, снижать интенсивность процессов гликирования белка, ответственных за развитие осложнений сахарного диабета [46].

### **Нефролитиаз**

Рацион питания, избыточный по кальцию, в ряде случаев может приводить к образованию камней в почках. Потребление продуктов, содержащих ФК, снижает уровень кальция в моче и приводит к ингибированию кристаллизации оксалата кальция в почках и/или мочевыводящих путях. В связи с этим предлагается применять ФК для профилактики и лечения образования оксалата кальция и фосфатных камней [47]. Инозитолфосфаты (IP), такие как IP2 и IP3, могут предотвратить образование кристаллов гидроксиапатита, которые являются ядрами для образования камней. При изучении влияния ФК и фитата цинка на развитие почечных уrolитов у экспериментальных животных показано, что они обладают потенциалом для лечения пациентов с кальциевым уrolитиазом: фитат может ингибировать кристаллизацию кальция в оксалат и фосфатные соли [48]. Изучено взаимодействие фитата с другими известными ингибиторами кристаллизации оксалата кальция, такими как магний и цитрат [49]. Выявлен синергизм эффектов фитата с магнием. Ингибирующее действие фитатов на камнеобразование может быть объяснено сродством его фосфатных групп к кальцию в кальциево-оксалатных и фосфатно-кальциевых активных участках роста.

## **Заключение**

ФК является основной формой хранения фосфора и составляет 1-5% по массе в зерновых, бобовых, масличных семенах и орехах [50], а 50-85% фосфора в растениях содержится именно в виде ФК. ФК в качестве хелатирующего агента связывается с минеральными веществами, что практически делает их недоступными. В связи с этим ее часто относят к антинутриентам, которые могут привести к дефицитам минеральных элементов [51-53]. Зерновые, содержащие ФК, составляют основную часть пищи и являются главным источником пищевых веществ в питании населения, особенно в развивающихся странах. Однообразный рацион может привести к развитию заболеваний, в связи с чем разрабатываются и используются различные стратегии, направленные на снижение содержания ФК в пищевых продуктах: замачивание, варка, проращивание, ферментация, облучение, обработка ультразвуковыми волнами, применение фитазы и др. Однако такой односторонний подход к оценке функциональной значимости ФК является неоправданным. С одной стороны, ФК может хелатировать кальций и приводить к остеопорозу, с другой стороны, это может предотвращать образование камней в почках. Хелатирование железа ФК может привести

к дефициту железа, но снижает окислительный стресс в организме. В экспериментальных исследованиях подтверждены протективные эффекты ФК в отношении рака толстой кишки, молочной железы, сахарного диабета, заболеваний сердечно-сосудистой системы и др.

ФК не является проблемой для здоровья тех, кто питается разнообразно и сбалансированно. Однако для лиц, которые находятся на обедненном однообразном рационе, наличие большого количества ФК повышает риск развития недостаточности минеральных веществ, в связи с чем и применяются различные технологии с целью снижения уровня фитатов в пище.

Использованию полезных свойств ФК и минимизации антинутриентных эффектов могут способствовать такие стратегии, как включение витаминов, которые хорошо сочетаются с минеральными веществами и повышают их биодоступность (например, комбинация витамин С и железа), или увеличение потребления белков животного происхождения с низким содержанием ФК и богатых макро- и микроэлементами, такими как железо, кальций, цинк, магний.

## **Литература**

1. Коденцова В.М., Вржесинская О.А. К обоснованию уровня обогащения витаминами и минеральными веществами пищевых продуктов массового потребления // Вопросы питания. 2011. Т. 80, № 5. С. 64-70.
2. Погожева А.В., Коденцова В.М. Группы риска множественного дефицита витаминов и минеральных веществ среди населения // Клиническое питание и метаболизм. 2020. Т. 1, № 3. С. 137-143. DOI: <https://doi.org/10.17816/clinutr48744> (<https://doi.org/10.17816/clinutr48744>)
3. Ших Е.В., Махова А.А., Ших Н.В., Никитин Е.Ю. Социальный джетлаг: возможности микронутриентной поддержки // Вопросы питания. 2022. Т. 91, № 3. С. 85-95. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2022-91-3-85-95> (<https://doi.org/10.33029/0042-8833-2022-91-3-85-95>)

4. Ших Е.В., Махова А.А., Чемерис А.В., Тормышов И.А. Ятрогенные дефициты микронутриентов // Вопросы питания. 2021. Т. 90, № 4. С. 53-63. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-4-53-63> (<https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-4-53-63>)
5. Ших Е.В., Махова А.А., Хайтович Е.Д. Детерминанты бесплодного брака и методы их коррекции // Вопросы гинекологии, акушерства и перинатологии. 2021. Т. 20, № 1. С. 105-112. DOI: <https://doi.org/10.20953/1726-1678-2021-1-105-112> (<https://doi.org/10.20953/1726-1678-2021-1-105-112>)
6. Ших Е.В., Махова А.А. Витаминно-минеральный комплекс при беременности. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2022. 432 с. DOI: <https://doi.org/10.33029/9704-6785-5-VMK-2022-1-432> (<https://doi.org/10.33029/9704-6785-5-VMK-2022-1-432>) ISBN 978-5-9704-6785-5.
7. Коденцова В.М., Рисник Д.В. Витаминно-минеральные комплексы для взрослых с высоким содержанием витаминов // Медицинский алфавит. 2018. Т. 2, № 31. С. 15-20.
8. Huang K., Fang H., Yu D., Guo Q., Xu X., Ju L. et al. Usual intake of micronutrients and prevalence of inadequate intake among Chinese adults: data from CNHS 2015-2017 // Nutrients. 2022. Vol. 14, N 22. P. 4714. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu14224714> (<https://doi.org/10.3390/nu14224714>)
9. Kumar A., Singh B., Raigond P., Sahu C., Mishra U.N., Sharma S. et al. Phytic acid: Blessing in disguise, a prime compound required for both plant and human nutrition // Food Res. Int. 2021. Vol. 142. Article ID 110193. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110193> (<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110193>)
10. Dost K., Karaca G. Evaluation of phytic acid content of some tea and nut products by reverse-phase high performance liquid chromatography/visible detector // Food Anal. Methods. 2016. Vol. 9. P. 1391-1397. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12161-015-0319-z> (<https://doi.org/10.1007/s12161-015-0319-z>)
11. Raboy V. Low phytic acid crops: observations based on four decades of research // Plants. 2020. Vol. 9, N 2. P. 140. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants9020140> (<https://doi.org/10.3390/plants9020140>)
12. Wilson M.S., Bulley S.J., Pisani F., Irvine R.F., Saiardi A. A novel method for the purification of inositol phosphates from biological samples reveals that no phytate is present in human plasma or urine // Open Biol. 2015. Vol. 5, N 3. Article ID 150014. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsob.150014> (<https://doi.org/10.1098/rsob.150014>)
13. Wang R., Guo S. Phytic acid and its interactions: contributions to protein functionality, food processing, and safety // Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. 2021. Vol. 20. P. 2081-2105. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12714> (<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12714>)
14. Sakac M., Canadanovic-Brunet J., Misan A., Tumbas V., Medic D. Antioxidant activity of phytic acid in lipid model system // Food Technol. Biotechnol. 2010. Vol. 48, N 4. P. 524-529.
15. Stodolak B., Starzynska A., Czyszczonek M., Zyla K. The effect of phytic acid on oxidative stability of raw and cooked meat // Food Chem. 2007. Vol. 101, N 3. P. 1041-1045. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.02.061> (<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.02.061>)
16. Sathe S.K., Venkatachalam M. Phytates // Handbook of Food Science, Technology, and Engineering. 4 Volume Set / Eds Y.H. Hui, F. Sherkat. CRC Press, 2005. P. 1821-1826. ISBN 9780429096112.
17. Du Y., Dou S., Wu S. Efficacy of phytic acid as an inhibitor of enzymatic and non-enzymatic browning in apple juice // Food Chem. 2012. Vol. 135, N 2. P. 580-582. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.04.131> (<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.04.131>)
18. Brouns F. Phytic Acid and whole grains for health controversy // Nutrients. 2021. Vol. 14, N 1. P. 25. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu14010025> (<https://doi.org/10.3390/nu14010025>)
19. Feizollahi E., Mirmahdi R.S., Zoghi A., Zijlstra R.T., Roopesh M.S., Vasanthan T. Review of the beneficial and anti-nutritional qualities of phytic acid, and procedures for removing it from food products // Food Res. Int. 2021. Vol. 143. Article ID 110284. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110284> (<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110284>)

20. Gupta R.K., Gangoliya S.S., Singh N.K. Reduction of phytic acid and enhancement of bioavailable micronutrients in food grains // *J. Food Sci. Technol.* 2015. Vol. 52, N 2. P. 676-684. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-013-0978-y> (<https://doi.org/10.1007/s13197-013-0978-y>)
21. Coulibaly A., Kouakou B., Chen J. Phytic acid in cereal grains: structure, healthy or harmful ways to reduce phytic acid in cereal grains and their effects on nutritional quality // *Am. J. Plant Nutr. Fertil. Technol.* 2011. Vol. 1. P. 1-22. DOI: <https://doi.org/10.3923/ajpnft.2011.1.22> (<https://doi.org/10.3923/ajpnft.2011.1.22>)
22. Ragon M., Aumelas A., Chemardin P., Santiago S., Moulin G., Boze H. Complete hydrolysis of myo-inositol hexakisphosphate by a novel phytase from *Debaryomyces castellii* CBS 2923 // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2008. Vol. 78. P. 47-53. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-007-1275-3> (<https://doi.org/10.1007/s00253-007-1275-3>)
23. Kaur K.D., Jha A., Sabikhi L., Singh A.K. Significance of coarse cereals in health and nutrition: a review // *J. Food Sci. Technol.* 2014. Vol. 51, N 8. P. 1429-1441. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0612-9> (<https://doi.org/10.1007/s13197-011-0612-9>)
24. Vashishth A., Ram S., Beniwal V. Cereal phytases and their importance in improvement of micronutrients bioavailability // *3 Biotech.* 2017. Vol. 7, N 1. P. 42. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13205-017-0698-5> (<https://doi.org/10.1007/s13205-017-0698-5>)
25. Ertaş N., Türker S. Bulgur processes increase nutrition value: possible role in in-vitro protein digestability, phytic acid, trypsin inhibitor activity and mineral bioavailability // *J. Food Sci. Technol.* 2014. Vol. 51, N 7. P. 1401-1405. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0638-7> (<https://doi.org/10.1007/s13197-012-0638-7>)
26. Perlas L.A., Gibson R.S. Use of soaking to enhance the bioavailability of iron and zinc from rice-based complementary foods used in the Philippines // *J. Sci. Food Agric.* 2002. Vol. 82. P. 1115-1121. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.1156> (<https://doi.org/10.1002/jsfa.1156>)
27. Schlemmer U., Frolich W., Prieto R.M., Grases F. Phytate in foods and significance for humans: Food sources, intake, processing, bioavailability, protective role and analysis // *Mol. Nutr. Food Res.* 2009. Vol. 53, suppl. S2. S330-S375. DOI: <https://doi.org/10.1002/mnfr.200900099> (<https://doi.org/10.1002/mnfr.200900099>)
28. Kumari S., Gray A.R., Webster K., Bailey K., Reid M., Kelvin K.A.H. et al. Does "activating" nuts affect nutrient bioavailability? // *Food Chem.* 2020. Vol. 319. Article ID 126529. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126529> (<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126529>)
29. Duodu K.G., Jideani A.I.O. Effect of malting period on physicochemical properties, minerals, and phytic acid of finger millet (*Eleusine coracana*) flour varieties // *Food Sci. Nutr.* 2018. Vol. 6, N 7. P. 1858-1869. DOI: <https://doi.org/10.1002/fsn3.696> (<https://doi.org/10.1002/fsn3.696>)
30. Marshall A.A., Samuel J.E., Mary U.E., Inegbenose G.I. Effect of germination on the phytase activity, phytate and total phosphorus contents of rice, maize, millet, sorghum and wheat // *J. Food Sci. Technol.* 2011. Vol. 48. P. 724-729. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0186-y> (<https://doi.org/10.1007/s13197-010-0186-y>)
31. Demir M.K., Elgün A. Comparison of autoclave, microwave, IR and UV-C stabilization of whole wheat flour branny fractions upon the nutritional properties of whole wheat bread // *J. Food Sci. Technol.* 2014. Vol. 51, N 1. P. 59-66. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0475-0> (<https://doi.org/10.1007/s13197-011-0475-0>)
32. Buddrick O., Jones O.A., Cornell H.J., Small D.M. The influence of fermentation processes and cereal grains in wholegrain bread on reducing phytate content // *J. Cereal Sci.* 2014. Vol. 59. P. 3-8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.11.006> (<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.11.006>)
33. Cook J.D., Dassenko S.A., Lynch S.R. Assessment of the role of nonheme-iron availability in iron balance // *Am. J. Clin. Nutr.* 1991. Vol. 54. P. 717-722. DOI: <https://doi.org/10.1093/ajcn/54.4.717> (<https://doi.org/10.1093/ajcn/54.4.717>)
34. Schlemmer U., Jany K.D., Berk A., Schulz E., Rechkemmer G. Degradation of phytate in the gut of pigs - pathway of gastro-intestinal inositol phosphate hydrolysis and enzymes involved // *Arch. Tierernähr.* 2001. Vol. 55. P. 255-280. DOI: <https://doi.org/10.1080/17450390109386197> (<https://doi.org/10.1080/17450390109386197>)

35. Sandberg A.S., Scheers N. Phytic Acid: Properties, uses, and determination // Encyclopedia of Food and Health. 2016. P. 365-368. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00544-4> (<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00544-4>) ISBN 978-0-12-384953-3.
36. Nissar J., Ahad T., Naik H.R., Hussain S.Z. A review phytic acid: as antinutrient or nutraceutical // J. Pharmacogn. Phytochem. 2017. Vol. 6, N 6. P. 1554-1560.
37. Thanikachalam K., Khan G. Colorectal cancer and nutrition // Nutrients. 2019. Vol. 11. P. 164. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu11010164> (<https://doi.org/10.3390/nu11010164>)
38. Reddy B.S., Hirose Y., Cohen L.A., Simi B., Cooma I., Rao C.V. Preventive potential of wheat bran fractions against experimental colon carcinogenesis: implications for human colon cancer prevention // Cancer Res. 2000. Vol. 60, N 17. P. 4792-4797. PMID: 10987288.
39. Norazalina S., Norhaizan M.E., Hairuszah I., Norashareena M.S. Anticarcinogenic efficacy of phytic acid extracted from rice bran on azoxymethane-induced colon carcinogenesis in rats // Exp. Toxicol. Pathol. 2010. Vol. 62, N 3. P. 259-268. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.etp.2009.04.002> (<https://doi.org/10.1016/j.etp.2009.04.002>)
40. Tan B.L., Norhaizan M.E., Chan L.C. An intrinsic mitochondrial pathway is required for phytic acid-chitosan-iron oxide nanocomposite (Phy-CS-MNP) to induce G<sub>0</sub>/G<sub>1</sub> cell cycle arrest and apoptosis in the human colorectal cancer (HT-29) cell line // Pharmaceutics. 2018. Vol. 10, N 4. P. 198. DOI: <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics10040198> (<https://doi.org/10.3390/pharmaceutics10040198>)
41. Zajdel A., Wilczok A., Węglarz L., Dzierzewicz Z. Phytic acid inhibits lipid peroxidation in vitro // Biomed. Res. Int. 2013. Vol. 2013. Article ID 147307. DOI: <https://doi.org/10.1155/2013/147307> (<https://doi.org/10.1155/2013/147307>)
42. Tufail M., Cui J., Wu C. Breast cancer: molecular mechanisms of underlying resistance and therapeutic approaches // Am. J. Cancer Res. 2022. Vol. 12, N 7. P. 2920-2949.
43. Al-Fatlawi A.A., Rizvi M.M.A., Ahmad A. Anticarcinogenic activity of rice bran phytic acid against human breast cancer cell line (MCF-7) // Asian J. Pharm. Clin. Res. 2014. Vol. 7, suppl. 2. P. 151-155.
44. Proietti S., Pasta V., Cucina A., Aragona C., Palombi E., Vucenik I. et al. Inositol hexaphosphate (InsP6) as an effective topical treatment for patients receiving adjuvant chemotherapy after breast surgery // Eur. Rev. Med. Pharmacol. Sci. 2017. Vol. 21, suppl. 2. P. 43-50.
45. Hussein M.R., Abd El-Aziz M.A., Ahmad N.S., Omran F., Abdulhameed M. The biochemical changes associated with phytic acid on induced breast proliferative lesions in rats: preliminary findings // Cancer Biol. Ther. 2006. Vol. 5, N 9. P. 1129-1133. DOI: <https://doi.org/10.4161/cbt.5.9.2952> (<https://doi.org/10.4161/cbt.5.9.2952>)
46. Lee S.-H., Park H.-J., Chun H.-K., Cho S.-Y., Jung H.-J., Cho S.-M. et al. Dietary phytic acid improves serum and hepatic lipid levels in aged ICR mice fed a high-cholesterol diet // Nutr. Res. 2007. Vol. 27, N 8. P. 505-510. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2007.05.003> (<https://doi.org/10.1016/j.nutres.2007.05.003>)
47. Onomi S., Okazaki Y., Katayama T. Effect of dietary level of phytic acid on hepatic and serum lipid status in rats fed a high-sucrose diet // Biosci. Biotechnol. Biochem. 2004. Vol. 68, N 6. P. 1379-1381. DOI: <https://doi.org/10.1271/bbb.68.1379> (<https://doi.org/10.1271/bbb.68.1379>)
48. Dilworth L., Stennett D., Omoruyi F. Cellular and molecular activities of IP6 in disease prevention and therapy // Biomolecules. 2023. Vol. 13, N 6. P. 972. DOI: <https://doi.org/10.3390/biom13060972> (<https://doi.org/10.3390/biom13060972>)
49. Sanchis P., Rivera R., Berga F., Fortuny R., Adrover M., Costa-Bauza A. et al. Phytate decreases formation of advanced glycation end-products in patients with type II diabetes: randomized crossover trial // Sci. Rep. 2018. Vol. 8, N 1. P. 9619. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-27853-9> (<https://doi.org/10.1038/s41598-018-27853-9>)

50. Grases F., Rodriguez A., Costa-Bauza A. Efficacy of mixtures of magnesium, citrate and phytate as calcium oxalate crystallization inhibitors in urine // J. Urol. 2015. Vol. 194, N 3. P. 812-819. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.juro.2015.03.099> (<https://doi.org/10.1016/j.juro.2015.03.099>)
51. Grases F., Garcia-Gonzalez R., Torres J.J., Llobera A. Effects of phytic acid on renal stone formation in rats // Scand. J. Urol. Nephrol. 1998. Vol. 32, N 4. P. 261-265. DOI: <https://doi.org/10.1080/003655998750015412> (<https://doi.org/10.1080/003655998750015412>)
52. Phillippy B.Q. Transport of calcium across Caco-2 cells in the presence of inositol hexakisphosphate // Nutr. Res. 2006. Vol. 26. P. 146-149. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2006.02.008> (<https://doi.org/10.1016/j.nutres.2006.02.008>)
53. Petroski W., Minich D.M. Is There such a thing as "anti-nutrients"? A narrative review of perceived problematic plant compounds // Nutrients. 2020. Vol. 12, N 10. P. 2929. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu12102929> (<https://doi.org/10.3390/nu12102929>)

 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru>)

Материалы данного сайта распространяются на условиях лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru>) («Атрибуция - Всемирная»)

## ЖУРНАЛЫ «ГЭОТАР-МЕДИА»



**Журнал основан в 1932 г.**

**Периодичность: 6 номеров в год.**

**Свидетельство о регистрации средства массовой информации от 25.12.2020:**

**ПИ № ФС77-79884**

**Федеральная служба по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.**

Издательская группа "ГЭОТАР-Медиа": 115035, г. Москва, Садовническая ул., д. 11/12 (метро Новокузнецкая).

Телефон: (495) 921-39-07

[www.geotar.ru](http://www.geotar.ru)

(<http://www.geotar.ru/pages/index.html>).