

Роль природных антиоксидантов и ингибиторов ферментов в профилактике старения кожи

С. В. Орлова^{1,2}, Е. В. Прокопенко⁴, Е. А. Никитина^{1,2,5}, Т. Т. Батышева^{1,2}, Н. В. Балашова^{1,3},
М. В. Алексеева², А. Н. Водолазкая

¹ ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН), Москва, Россия

² БУЗ «Научно-практический центр детской психоневрологии Департамента здравоохранения г. Москвы», Россия

³ БУЗ МО «Московский областной научно-исследовательский клинический институт имени М. Ф. Владимирского», Москва, Россия

⁴ ООО «ИНВИТРО», Москва, Россия

⁵ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр терапии и профилактической медицины» Минздрава России, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Старение – это прогрессирующее дегенеративное состояние, сопровождающееся нарастающей потерей физиологической целостности и функции. Старение является неизбежным процессом, который, в частности, включает в себя дисбаланс между антиоксидантной защитой и активными формами кислорода, изменениями в обновлении белков и митохондриях, истощением теломер, клеточным старением, эпигенетическими изменениями и истощением стволовых клеток. Эти состояния связаны с легким и умеренным воспалением, которое всегда сопровождает процесс старения и возрастные заболевания. Старение кожи – это очень сложное биологическое явление, контролируемое многими внутренними и внешними факторами. Природные вещества являются предпочтительными для улучшения здоровья и внешнего вида кожи.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: старение кожи, антиоксиданты, ингибиторы ферментов, воспаление, полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК), L-карнитин, коэнзим Q10 (CoQ10), витамин E, альфа-липоевая кислота (АЛК), витамин D, магний, цинк.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Публикация выполнена при поддержке Программы стратегического академического лидерства РУДН.

The role of natural antioxidants and enzyme inhibitors in the prevention of skin aging

S. V. Orlova^{1,2}, E. V. Prokopenko⁴, E. A. Nikitina^{1,2,5}, T. T. Batyshova^{1,2}, N. V. Balashova^{1,3},
M. V. Alekseeva², A. N. Vodolazkaya

¹ Peoples' Friendship University of Russia» named after Patrice Lumumba (RUDN University), Moscow, Russia

² Scientific and Practical Center for Pediatric Psychoneurology of the Moscow Department of Health, Russia

³ Moscow Regional Research Clinical Institute named after M. F. Vladimirsky, Moscow, Russia

⁴ "INVITRO" LLC, Moscow, Russia

⁵ National Medical Research Center for Therapy and Preventive Medicine, Moscow, Russia

SUMMARY

Aging is a progressive degenerative condition accompanied by an increasing loss of physiological integrity and function. Aging is an inevitable process that includes, among other things, an imbalance between antioxidant defenses and reactive oxygen species, changes in protein and mitochondrial turnover, telomere attrition, cellular senescence, epigenetic changes and stem cell depletion. These conditions are associated with mild to moderate inflammation, which always accompanies the aging process and age-related diseases. Skin aging is a very complex biological phenomenon controlled by many internal and external factors. Natural substances are preferred to improve the health and appearance of the skin.

KEYWORDS: skin aging, antioxidants, enzyme inhibitors, inflammation, polyunsaturated fatty acids (PUFA), L-carnitine, coenzyme Q10 (CoQ10), vitamin E, alpha lipoic acid (ALA), vitamin D, magnesium, zinc.

CONFLICT OF INTEREST. The authors declare no conflict of interest.

The publication was supported by the RUDN Strategic Academic Leadership Program.

Введение

Существует двенадцать общих черт старения: нестабильность генома, истощение теломер, эпигенетические изменения, потеря протеостаза, нарушение макроаутофагии, нарушение регуляции восприятия питательных веществ, митохондриальная дисфункция, клеточное старение, истощение стволовых клеток, изменение межклеточной коммуникации, хроническое воспаление и дисбиоз [1].

Старение приписывается молекулярным сшивкам [2], повреждениям, вызванным свободными радикалами [3], изменениям иммунологических функций [4], укорочению теломер [5] и наличию генов старения в ДНК [6]. Существует множество широко распространенных теорий о том, почему происходит старение. В целом – это запрограммированное развитие [7], хотя многие с этим не согласны, и дебаты продолжают до сих пор. Шесть широко используемых теорий старения включают теорию свободных радикалов,

генетическую теорию, теорию апоптоза, иммунную теорию, теломерную теорию и митохондриальную теорию.

Для выявления биохимических клеточных дефектов, связанных с процессами старения, была предложена «свободнорадикальная теория» старения, которая предполагала, что свободные радикалы играют центральную роль в развитии процессов старения [8]. Согласно «Митохондриальной теории свободнорадикального старения» («The mitochondrial free radical theory of aging», MFRTA), предложенной Харманом в 1970-х годах [9], накопление активных форм кислорода (АФК), вырабатываемых митохондриями в течение жизни, приводит к окислительному повреждению белков, липидов и ДНК. Это, в свою очередь, способствует снижению функциональности митохондрий и процессу старения. Благодаря своим свойствам молекулы антиоксидантов должны сдерживать выработку митохондриальных АФК и продлевать продолжительность жизни [10].

Первый удар на себя чаще всего принимают высокоспециализированные клетки, которые весьма чувствительны к любому минимальному нарушению процессов митохондриального синтеза энергии, очень быстро и закономерно приводящих к нарушению клеточного метаболизма и энергетического обмена. Такими являются прежде всего клетки нервной ткани, половые клетки (сперматозоиды у мужчин и яйцеклетки у женщин), а также быстро обновляющиеся клетки крови и кожного покрова. Кожа выступает в качестве основного визуального сигнала прогрессирования старения, проявляя такие признаки, как складки, мелкие линии, обвисание, истончение, недостаток влаги и неравномерная пигментация [11].

Старение кожи – это сложный биологический процесс, на который влияет сочетание эндогенных или внутренних (генетика, клеточный метаболизм, гормоны и метаболические процессы) и экзогенных, или внешних (хроническое воздействие света, загрязнение окружающей среды, ионизирующее излучение, химические вещества, токсины), факторов [12]. Эти факторы вместе приводят к кумулятивным структурным и физиологическим изменениям и прогрессивным изменениям в каждом слое кожи. Физиологические изменения в стареющей коже включают изменения в биохимии, проницаемости, васкуляризации и терморегуляции, реакции на раздражители, иммунной реакции, способности к восстановлению и реакции на травмы, нейросенсорного восприятия, а также изменения на уровне генома [13].

Помимо усиленного окислительного стресса и хронического воспаления также происходит потеря коллагена, эластина и гиалуроновой кислоты. Коллаген, который составляет примерно 30% всех белков организма, снижается со скоростью 1–1,5% каждый год после 20 лет [14]. Потеря коллагена, эластина и гиалуроновой кислоты вызывает значительные изменения фенотипа кожи, суставов, хрящей и костей, уникальные для старения. Повышенная активность ферментов коллагеназы, матриксных металлопептидаз (ММП) и эластазы ответственна за снижение уровня коллагена и эластина. Усиленный окислительный стресс увеличивает активность этих ферментов. Снижение активности синтетического фермента синтазы гиалуроновой кислоты, вызывающего потерю гиалуроновой кислоты, отвечающей за поддержание влаги в коже, происходит с возрастом [15]. Общий уровень гиалуроновой

кислоты (ГК) в дерме кожи с возрастом остается стабильным; однако эпидермальная ГК заметно снижается [Elsner P., Maibach H. I. Cosmeceuticals and Active Cosmetics: Drugs versus Cosmetics (2nd edn). Marcel Dekker: New York, 2005].

Заметная потеря фибриллин-позитивных структур, а также снижение содержания коллагена типа VII (Col-7) могут способствовать образованию морщин за счет ослабления связи между дермой и эпидермисом внешне стареющей кожи. Стареющая кожа, подвергающаяся воздействию солнечных лучей, характеризуется солнечным эластозом. Редкое распределение и снижение содержания коллагена в фотостареющей коже может быть связано с усилением деградации коллагена различными матриксными металлопротеиназами, сериновыми и другими протеазами независимо от производства одного и того же коллагена. В более взрослой коже коллаген выглядит неравномерным и дезорганизованным, соотношение Col-3 и Col-1 увеличивается, в значительной степени из-за потери Col-1. Известно, что общее содержание коллагена на единицу площади поверхности кожи снижается примерно на 1% в год [16]. Гликозаминогликаны (ГАГ) являются одними из основных компонентов кожного матрикса кожи, помогающих связывать воду. В фотостареющей коже ГАГ могут быть связаны с аномальным эластотическим материалом и, следовательно, не способны эффективно функционировать [17]. Следовательно, восстановление нормального уровня коллагена, эластина и гиалуроновой кислоты будет иметь важное значение для замедления процессов старения.

Дефекты митохондрий связаны с воспалительным фенотипом, что приводит к дальнейшей дисфункции митохондрий, способствуя порочному циклу [18]. Хроническое воспаление и истончение эпидермиса можно объяснить дисфункцией митохондрий, поскольку активация инфламмасом и гибель клеток являются признаками, которые, как известно, сопровождают поврежденные митохондрии [19]. Модулировать воспалительные процессы, в том числе в коже, и действовать как антиоксиданты, регулируя антиоксидантный сигнальный путь, способны *полиненасыщенные жирные кислоты* (ПНЖК) [20]. Митохондриальные мембраны имеют высокое содержание жирной докозагексаеновой кислоты (ДГК, омега-3 ПНЖК), и исследования показывают, что ДГК имеет решающее значение для синтеза аденозинтрифосфата путем окислительного фосфорилирования. ДГК снижает митохондриальный окислительный стресс и активность цитохром-С-оксидазы, одновременно повышая активность марганец-зависимой супероксид-дисмутазы [20]. Комбинированное назначение омега-6 ПНЖК (линолевая кислота и гамма-линоленовая кислота) с омега-3 ПНЖК (ЭПК [эйкозапентаеновая кислота] и ДГК) может уменьшить воспалительные процессы в коже [20]. ПНЖК обладают многочисленными полезными эффектами, борясь с большинством механизмов старения кожи: ПНЖК осуществляют поддержание барьерной функции, созревание и дифференцировку рогового слоя, образование ламеллярных телец, ингибирование провоспалительных эйкозаноидов, ингибирование цитокинов, подавление, ингибирование дегрануляции тучных клеток и модуляцию других иммунных клеток [21].

Для многочисленных физиологических процессов, связанных с поддержанием здоровья кожи, необходимы производство и использование энергии в клетках кожи. Производство

и клеточный уровень энергии в виде аденозинтрифосфата (АТФ) уменьшаются в процессе старения. Воздействие ультрафиолетового (УФ) излучения также быстро снижает уровень АТФ в клетках кожи. В совокупности как процесс старения, так и внешняя агрессия могут серьезно повлиять на снижение доступных энергетических резервов кожи.

L-карнитин действует как биокатализатор, облегчая перенос жирных кислот в митохондрии для метаболизма с образованием АТФ. [22]. Помимо своей критической роли в энергетическом метаболизме, L-карнитин проявляет антиоксидантные и антиапоптозные свойства. L-карнитин удаляет супероксидный анион-радикал и сильный окислитель перекись водорода. Кроме того, он удаляет гидроксильный радикал и предотвращает его образование. L-карнитин также увеличивает активность и экспрессию антиоксидантных ферментов супероксиддисмутазы и каталазы [23]. Благодаря своим антиоксидантным свойствам L-карнитин может защищать от повреждений кожи, вызванных как УФ-излучением, так и АФК.

Коэнзим Q10 (CoQ10, убихинон) – уникальный жирорастворимый антиоксидант, который вырабатывается *de novo* у животных [24]. Он противодействует процессам старения, улучшая функцию митохондрий, снижая окислительный стресс и защищая от окислительного повреждения. CoQ10 необходим для аэробной биоэнергетики и антиоксидантной защиты клеточных мембран и липопротеинов плазмы крови. CoQ10 является компонентом цепи переноса электронов в митохондриях и трансплазматического транспорта электронов через мембрану. CoQ10 также усиливает антиоксидантную активность витаминов и ферментов, таких как глутатион, супероксиддисмутазы и каталазы [25].

Витамин Е оказывает профилактическое действие на перекисное окисление липидов и другие радикальные окислительные процессы [26]. Этот витамин играет важную роль в поддержании целостности богатых липидами органелл, таких как мембраны [27]. В то время как β -токоферол в основном локализован во фракциях митохондрий, α -токоферол играет важную роль в поддержании целостности митохондрий [27].

Переработку клеточных антиоксидантов, включая коэнзим Q, витамины С и Е, глутатион, хелаты железа и меди обеспечивает **альфа-липоевая кислота** (АЛК) [28]. АЛК, которая участвует во многих мультиферментных комплексах в митохондриях, необходима для метаболизма углеводов, белков и жиров и преобразования их в АТФ. АЛК является окислительно-восстановительным регулятором таких белков, как миоглобин, пролактин, фактор транскрипции ядерного фактора каппа-бета (NF- κ B) [29]. В литературе есть данные, доказывающие эффективность системного применения препаратов АЛК при лечении возраст-ассоциированных заболеваний кожи, опубликованные в т. ч. более 50 лет назад и показавшие способность АЛК улучшать обмен веществ в коже, способствовать восстановлению коллагена и т. д. [30]. Предполагается, что АЛК может способствовать элиминации поврежденного коллагена, оказывать превентивный эффект на процессы гликозилирования протеинов, которые предупреждают преждевременное старение и повреждение кожи [31]. АЛК может замедлить проявление старения лица [32, 33].

Нарушение регуляции гомеостаза **витамина D** связано с преждевременным старением, вызванным различными

клеточными процессами, включая окислительный стресс и клеточное старение. Различные исследования показали, что витамин D может ослаблять окислительный стресс и задерживать клеточное старение, улучшая в том числе митохондриальный гомеостаз, что делает этот витамин отличным кандидатом для замедления старения. Однако механизмы этих процессов еще не до конца изучены. Хотя витамин D не обладает активностью поглотителя свободных радикалов, как витамины Е или С, он повышает уровень основных белков для клеточного ответа, таких как фактор 2, связанный с ядерным фактором эритроида 2 (Nrf2), и антиоксидантных ферментов глутатионпероксидазы и редуктазы, среди прочих. С другой стороны, витамин D действует на митохондрии, по-видимому, способствуя энергосберегающему состоянию, способствуя слиянию, митофагии и биогенезу для общего обновления митохондрий, поддержания энергетического метаболизма и смягчения окислительного стресса [34].

Старение часто связано с дефицитом **магния** (Mg). Дефицит магния, помимо негативного влияния на путь производства энергии, необходимый митохондриям для выработки АТФ, также снижает пороговую антиоксидантную способность стареющего организма и его устойчивость к повреждению свободными радикалами. Магний также действует как антиоксидант против повреждения митохондрий свободными радикалами. Хронический дефицит магния приводит к чрезмерному производству свободных радикалов кислорода и хроническому вялотекущему воспалению [35]. Еще один незаменимый элемент в *anti-age* терапии – это **цинк**. Благодаря своей роли в делении и дифференциации клеток, запрограммированной гибели клеток, транскрипции генов, функционировании биомембран и, очевидно, множеству ферментативных активностей, цинк считается основным элементом, обеспечивающим правильное функционирование организма с самых первых эмбриональных стадий до последних периодов жизни [36].

Заключение

Механизмы старения до сих пор неясны, и поиск эффективного *anti-age* средства продолжается. Снижение окислительного стресса, удаление свободных радикалов и улучшение функции митохондрий могут быть надежными стратегиями для управления процессами старения.

Однако важно помнить, что низкие уровни АФК могут быть полезными и могут играть положительную роль в продолжительности жизни [37]. Выбор и введение дополнительно антиоксидантов должны происходить по показаниям, обеспечивая в первую очередь обогащение ежедневного рациона питания эссенциальными нутриентами, в том числе биологически активными добавками к пище [38].

Список литературы / References

1. López-Otin C., Blasco M. A., Partridge L., Serrano M., Kroemer G., Hallmarks of aging: An expanding universe. *Cell*. 2023; 186 (2): 243–278. ISSN 0092–8674, <https://doi.org/10.1016/j.cell.2022.11.001>
2. Bjorksten J. The crosslinkage theory of aging. *J. Am. Geriatr Soc.* 1968; 16: 408–427.
3. Harman D. Free radical involvement in aging. *Drugs Aging*. 1993; 3: 60–80.
4. Effros RB. Roy Walford and the immunologic theory of aging. *Immun Ageing*. 2005; 2: 7.
5. Kruk PA, Rampino NJ, Bohr VA. DNA damage and repair in telomeres: relation to aging. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 1995; 92: 258–262.
6. Warner HR, Sprott RL, Schneider EL, Butler RN. Modern biological theories of aging 1987.
7. Tower J. Programmed cell death in aging. *Ageing Res Rev*. 2015a; 23 (Pt A): 90–100.
8. Harman D. Aging: a theory based on free radical and radiation chemistry. *J. Gerontol*. 1956 Jul; 11 (3): 298–300. DOI: 10.1093/geronj/11.3.298. PMID: 13332224.
9. Harman D. The biologic clock: the mitochondria? *Journal of the American Geriatrics Society*. 1972; 20 (4): 145–147.
10. Napolitano G., Fasciolo G., Venditti P. Chapter 5 – Aging, mitochondrial dysfunctions, and vitamin E. Editor(s): Sergej M. Ostojic, Molecular Nutrition and Mitochondria, Academic Press, 2023. P. 131–165. ISBN 9780323902564, <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90256-4.00025-4>

11. Farage MA, Miller KW, Elsner P, Maibach HI. Functional and physiological characteristics of the aging skin. *Aging Clin. Exp. Res.* 2008; 20 (3): 195–200.
12. Cevenini E, Invidiá L, Lescai F, Salvioli S, Trieri P, Castellani G, et al. Human models of aging and longevity. *Expert Opin Biol. Ther.* 2008; 8: 1393–405. DOI: 10.1517/14712598.8.9.1393
13. Farage, M.A., Miller, K.W., Maibach, H.I. (2017). *Degenerative Changes in Aging Skin*. In: Farage, M., Miller, K., Maibach, H. (eds) *Textbook of Aging Skin*. Springer, Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-47398-6>
14. Reilly DM, Lozano J. Skin collagen through the lifestages: importance for skin health and beauty. *Plast Aesthet Res.* 2021; 8: 2. <http://dx.doi.org/10.20517/2347-9264.2020.153>
15. Papakonstantinou E, Roth M, Karakiulakis G. Hyaluronic acid: A key molecule in skin aging. *Dermatoendocrinol.* 2012 Jul 1; 4 (3): 253–8. DOI: 10.4161/derm.21923. PMID: 23467280; PMCID: PMC3583886.
16. Ganceviciene R, Liakou AI, Theodoridis A, Makrantonaki E, Zouboulis CC. Skin anti-aging strategies. *Dermatoendocrinol.* 2012 Jul 1; 4 (3): 308–19. DOI: 10.4161/derm.22804. PMID: 23467476; PMCID: PMC3583892.
17. Bernstein EF, Underhill CB, Hahn PJ, Brown DB, Uitto J. Chronic sun exposure alters both the content and distribution of dermal glycosaminoglycans. *Br. J. Dermatol.* 1996; 135: 255–62. DOI: 10.1111/j.1365-2133.1996.tb01156.x
18. López-Aranda M.J., Riveiro-Naveira R.R., Vaamonde-García C., Valcárcel-Ares M.N., Mitochondrial dysfunction and the inflammatory response. *Mitochondrion.* 2013; 13: 106–118.
19. Missirolì S., Genovese I., Perrone M., Vezzani B., V.A.M. Vitto, C. Giorgi. The role of mitochondria in inflammation: from cancer to neurodegenerative disorders. *J. Clin. Med.* 2020; 9: 740.
20. Balić A, Vlačić D, Žužul K, Marinović B, Bukvić Mokos Z. Omega-3 Versus Omega-6 Polyunsaturated Fatty Acids in the Prevention and Treatment of Inflammatory Skin Diseases. *Int J. Mol. Sci.* 2020 Jan 23; 21 (3): 741. DOI: 10.3390/ijms21030741
21. Prokopenko E. V., Orlova S. V., Nikitina E. A., Vodolazkaya A. N., Balashova N. V., Pigareva Yu. A. The role of omega PUFAs in the comprehensive prevention and treatment of certain skin diseases. *Medical alphabet.* 2023; (8): 53–63. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-8-53-63>
22. Longo N, Frigeni M, Pasquali M. Carnitine transport and fatty acid oxidation. *Biochim Biophys Acta.* 2016 Oct; 1863(10):2422–35. doi: 10.1016/j.bbamcr.2016.01.023. Epub 2016 Jan 29. PMID: 26828774; PMCID: PMC4967041.
23. Samir A. Salama, Hany H. Arab, Hany A. Omar, Hesham S. Gad, Gamil M. Abd-Allah, Ibrahim A. Maghrabi, Majed M. Al Abirani, L-carnitine mitigates UVA-induced skin tissue injury in rats through downregulation of oxidative stress, p38/c-Fos signaling, and the proinflammatory cytokines. *Chemo-Biological Interactions.* 2018; 285: 40–47. ISSN 0009-2797, <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2018.02.034>
24. Laredj L.N., Licitra F., Puccio H.M. (2014). The molecular genetics of coenzyme Q biosynthesis in health and disease. *Biochimie.* 100: 78–87. DOI: 10.1016/j.biochi.2013.12.006
25. López-Lluch G., Rodríguez-Aguilera J. C., Santos-Ocana C., Navas P. (2010). Is coenzyme Q a key factor in aging? *Mech. Ageing Dev.* 131: 225–235. DOI: 10.1016/j.mad.2010.02.003
26. Greene L. E., Lincoln R., Cosa G. Rate of lipid peroxyl radical production during cellular homeostasis unraveled via fluorescence imaging. *J. Am. Chem. Soc.* 2017; 139: 15801–15811.
27. Li X., May J.M. Location and recycling of mitochondrial α -tocopherol. *Mitochondrion.* 2003; 3: 29–38.
28. Moini H., Packer L., Saris N.-E.L. Antioxidant and prooxidant activities of alipoic acid and dihydro-lipoic acid. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 2002; 182: 84–90.
29. Fuchs J. In: *Lipoic Acid in Health and Disease*. CRC Press, 1997, pp. 504., Packer L., Witt E.H., Tritschler H. J. Alpha-lipoic acid as a biological antioxidant. *Free Radic. Biol. Med.* 1995; 19: 227–250.
30. Podda M., Zollner T.M., Grundmann-Kollmann M. et al. Activity of alpha-lipoic acid in the protection against oxidative stress in skin. *Curr. Probl. Dermatol.* 2001; 29: 43–51.
31. Thirunavukkarasu V., Nandhini A. T., Anuradha C. V. Fructose diet-induced skin collagen abnormalities are prevented by lipoic acid. *Exp. Diabetes. Res.* 2004; 5 (4): 237–44.
32. Perricone N. *The Wrinkle Cure, Chapter 6 «Alpha Lipoic Acid»*. P. 71–72. Warner Books., 2000
33. Mohamed El-Komy, Suzan Shalaby, Rehab Hegazy, Rania Abdel Hay, Saly Sherif, Ehab Bendas. Assessment of cubosomal alpha lipoic acid gel efficacy for the aging face: a single-blinded, placebo-controlled, right-left comparative clinical study. *J. Cosmet. Dermatol.* 2017 Sep; 16 (3): 358–363. DOI: 10.1111/jocd.12298. Epub 2016 Nov 22.
34. Emilio Sosa-Díaz, Estefani Yaquelein Hernández-Cruz, José Pedraza-Chaverri, The role of vitamin D on redox regulation and cellular senescence. *Free Radical Biology and Medicine.* 2022; 193 (1): 253–273. ISSN 0891-5849, <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2022.10.003>
35. Barbagallo M., Dominguez L. J. Chapter 16 – Magnesium, Oxidative Stress, and Aging Muscle, Editor(s): Victor R. Freedy, Aging, Academic Press, 2014. P. 157–166. ISBN 9780124059337, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-405933-7.00016-0>
36. Fabris N, Mocchegiani E. Zinc, human diseases and aging. *Aging (Milano).* 1995 Apr; 7 (2): 77–93. DOI: 10.1007/BF03324297. PMID: 7548268.
37. Lee SJ, Hwang AB, Kenyon C. Inhibition of respiration extends C. elegans life span via reactive oxygen species that increase HIF-1 activity. *Curr Biol.* 2010; 20: 2131–2136.
38. Bjelakovic G, Nikolova D, Gluud C. Antioxidant supplements and mortality. *Curr Opin Clin. Nutr. Metab. Care.* 2014; 17: 40–44.

Статья поступила / Received 01.07.24
Получена после рецензирования / Revised 07.08.24
Принята в печать / Accepted 12.07.24

Сведения об авторах

Орлова Светлана Владимировна, д.м.н., проф., зав. кафедрой диетологии и клинической нутрициологии, главный научный сотрудник^{1,2}. E-mail: orlova-sv@rudn.ru. ORCID: 0000-0002-4689-3591

Прокопенко Елена Валерьевна, врач-эндокринолог, диетолог, руководитель отдела развития и сопровождения медицинских информационных систем и сервисов⁴. E-mail: elvprokopenko@gmail.com. ORCID: 0000-0002-3811-9459

Никитина Елена Александровна, к.м.н., доцент кафедры диетологии и клинической нутрициологии¹, научный сотрудник², эксперт Методического аккредитационно-симуляционного центра³. E-mail: nikitina-ea1@rudn.ru. ORCID: 0000-0003-3220-0333

Батышева Татьяна Тимофеевна, д.м.н., проф., заслуженный врач РФ, директор², глав. внештатный детский специалист невролог ДЗМ, глав. внештатный детский специалист по медицинской реабилитации МЗ РФ, зав. кафедрой неврологии, физической, реабилитационной медицины и психологии детского возраста¹. ORCID: 0000-0003-0928-2131

Балашова Наталья Валерьевна, к.б.н., доцент кафедры диетологии и клинической нутрициологии¹, доцент кафедры клинической лабораторной диагностики факультета усовершенствования врачей³. E-mail: BalashovaN77@mail.ru. SPIN: 2355-6837. Author ID: 832745. ORCID: 0000-0002-0548-3414

Алексеева Марина Валерьевна, к.м.н., зам. директора по организационно-методической работе². ORCID: 0000-0001-8448-8493

Водолазкая Ангелина Николаевна, врач-диетолог. E-mail: drvodolazkaya@gmail.com. ORCID: 0000-0002-5203-1082

¹ ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН), Москва, Россия

² ГБУЗ «Научно-практический центр детской психоневрологии Департамента здравоохранения г. Москвы», Россия

³ ГБУЗ МО «Московский областной научно-исследовательский клинический институт имени М. Ф. Владимирского», Москва, Россия

⁴ ООО «ИНВИТРО», Москва, Россия

⁵ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр терапии и профилактической медицины» Минздрава России, Москва, Россия

Автор для переписки: Орлова Светлана Владимировна. E-mail: rudn_nutr@mail.ru

Для цитирования: Орлова С. В., Прокопенко Е. В., Никитина Е. А., Батышева Т. Т., Балашова Н. В., Алексеева М. В., Водолазкая А. Н. Роль природных антиоксидантов и ингибиторов ферментов в профилактике старения кожи. *Медицинский алфавит.* 2024; (16): 8–12. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-16-8-12>

About authors

Orlova Svetlana V., DM Sci (habil.), professor, head of Dept of Dietetics and Clinical Nutritionalogy, Chief Researcher^{1,2}. E-mail: rudn_nutr@mail.ru. ORCID: 0000-0002-4689-3591

Prokopenko Elena V., endocrinologist, dietitian⁴. E-mail: elvprokopenko@gmail.com. ORCID: 0000-0002-3811-9459

Nikitina Elena A., PhD Med, associate professor at Dept of Dietetics and Clinical Nutrition¹, Research Fellow², Expert of the Methodological Accreditation and Simulation Center³. E-mail: nikitina-ea1@rudn.ru. ORCID: 0000-0003-3220-0333

Batyshova Tatyana T., DM Sci (habil.), director², head, freelance pediatric specialist neurologist at Dept of Healthcare, head, freelance children's specialist in medical rehabilitation of the Ministry of Health of the Russian Federation, head of Dept of Neurology, Physical, Rehabilitation Medicine and Childhood Psychology¹, Honored Doctor of the Russian Federation. ORCID: 0000-0003-0928-2131

Balashova Natalya V., PhD Bio Sci, assistant professor at Dept of Clinical Laboratory Diagnostics of the Faculty of Advanced Training of Doctors³, assistant professor at Dept of Dietetics and Clinical Nutritionalogy¹. E-mail: BalashovaN77@mail.ru SPIN: 2355-6837. Author ID: 832745. ORCID: 0000-0002-0548-3414

Alekseeva Marina V., PhD Med, deputy director for Organizational and Methodological Work². ORCID – 0000-0001-8448-8493

Vodolazkaya Angelina N., dietitian. E-mail: drvodolazkaya@gmail.com. ORCID: 0000-0002-5203-1082

¹ Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University), Moscow, Russia

² Scientific and Practical Center for Pediatric Psychoneurology of the Moscow Department of Health, Russia

³ Moscow Regional Research Clinical Institute named after M. F. Vladimirsky, Moscow, Russia

⁴ «INVITRO» LLC, Moscow, Russia

⁵ National Medical Research Center for Therapy and Preventive Medicine, Moscow, Russia

Corresponding author: Orlova Svetlana V. E-mail: rudn_nutr@mail.ru

For citation: Orlova S. V., Prokopenko E. V., Nikitina E. A., Batysheva T. T., Balashova N. V., Alekseeva M. V., Vodolazkaya A. N. The role of natural antioxidants and enzyme inhibitors in the prevention of skin aging. *Medical alphabet.* 2024; (16): 8–12. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-16-8-12>



Информация о компании Nature's Bounty

Nature's Bounty – профессиональный бренд, производящий нутриенты высокого качества на протяжении более 50 лет.

Продукты Nature's Bounty – это оптимально сбалансированные формулы, новейшие технологии производства и натуральные ингредиенты.

Производственные мощности Nature's Bounty соответствуют международным стандартам GMP. Продукция представлена в аптеках.

Официальный сайт компании **www.naturesbounty.ru**