

# Аппаратные методы лечения онихомикозов (обзор литературы)

М. И. Арабаджян, Р. Ю. Майоров

ФГБУ ДПО «Центральная государственная медицинская академия» Управления делами Президента Российской Федерации, Москва

## РЕЗЮМЕ

**Введение.** Лечение грибковой инфекции ногтей сопряжено с рядом сложностей, таких как завышенные ожидания, низкая комплаентность пациента к длительной терапии, нерациональный подбор противогрибковых препаратов и, как следствие, развитие резистентности. На данный момент применяется большое количество аппаратных методов лечения онихомикоза, которые могут значительно ускорить выздоровление и повысить эффективность терапии.

**Обсуждение.** В статье описаны такие методы физиотерапевтического лечения грибковой инфекции ногтей, как лазерные технологии, низкотемпературная плазма, фотодинамическая терапия, ионофорез, ультразвук, ультратонотерапия. Часть из них способствуют непосредственно элиминации микотического агента из пораженных тканей, другие позволяют совершенствовать процесс введения противогрибковых препаратов в толщу ногтевой пластины и ногтевое ложе. Лазерные технологии позволяют комбинировать эти патогенетически значимые механизмы воздействия на заболевание, что значительно расширяет возможность их применения.

**Заключение.** На данный момент, несмотря на большое разнообразие методов и схем терапии онихомикозов, аппаратные методики являются перспективным полем для дальнейших исследований. Исходя из анализа отечественной и зарубежной литературы ни один метод не может быть признан универсальным и применяться как монотерапия. Однако комбинация медикаментозной терапии и аппаратных способов лечения может давать более успешные результаты как в плане терапевтической эффективности, так и в отношении противорецидивных ожиданий. Необходимо разрабатывать более четкие протоколы применения физиотерапевтических методик, чтобы повысить результативность ведения пациентов, страдающих поражением ногтей грибковой инфекцией.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** онихомикоз, лазер, низкотемпературная плазма, фотодинамическая терапия, ультратонотерапия, ионофорез, ультразвук.

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Overview of hardware methods of treatment of onychomycosis (literature review)

M. I. Arabadzhyan, R. Yu. Mayorov

Central State Medical Academy, Moscow, Russia

## SUMMARY

**Introduction.** Treatment of fungal infection of nail plates is associated with a number of difficulties, such as high expectations, low patient compliance to long-term therapy, irrational selection of antifungal drugs and, as a consequence, the development of resistance. Currently, there are many hardware methods of treating onychomycosis, which can significantly accelerate recovery and increase the effectiveness of therapy.

**Discussion.** The article describes such methods of physiotherapeutic treatment of fungal nail infection as laser technology, low-temperature plasma, photodynamic therapy, iontophoresis, ultrasound, ultrasonotherapy. Some of them contribute directly to the elimination of the mycotic agent from the affected tissues; others allow improving the process of introducing antifungal drugs into the thickness of the nail plate and nail bed. Laser technologies make it possible to combine these pathogenetically significant mechanisms of influence on the disease, which considerably expands the possibility of their use.

**Conclusions.** At the present, despite the wide variety of methods and treatment regimens for onychomycosis, hardware techniques are a promising field for further research. Based on the analysis of domestic and foreign literature, there is no method, which we can use as monotherapy. However, a combination of drug therapy and hardware methods of treatment can give successful results both in terms of therapeutic efficacy and in terms of anti-relapse expectations. It is necessary to develop precise protocols for the use of physiotherapeutic techniques in order to increase the effectiveness of the management of patients suffering from fungal infection of the nail plates.

**KEYWORDS:** onychomycosis, laser, low-temperature plasma, photodynamic therapy, ultrasonotherapy, iontophoresis, ultrasound.

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

## Введение

Онихомикоз – это инфекционное заболевание ногтей, вызываемое грибковыми агентами (дерматофитами, недерматофитами, дрожжами). При данном заболевании могут быть поражены и ногтевая пластина, и матрикс, и ногтевое ложе. Патологический процесс может быть представлен изменением цвета и конфигурации, а также истончением ногтевой пластины, подногтевым гиперкератозом, онихолизисом [1, 2].

Лечение онихомикоза – долгий и кропотливый процесс, в котором должны одинаково активно принимать участие

как врач, так и пациент. Так как главной задачей в лечении является элиминация гриба, важно объяснить пациенту, что основной терапевтический эффект будет достигнут не ранее 12 месяцев в случае ногтей стопы и не ранее 6 месяцев в случае ногтей кисти, когда произойдет полная смена ногтевой пластины [3].

Помимо широко распространенных наружных и системных антимикотиков, в терапии онихомикоза также есть физиотерапевтические методы лечения. Стоит отметить, что они не заменяют противогрибковых препаратов, но мо-

гут значительно улучшить результаты лечения, закрепить процесс восстановления, а в некоторых случаях и ускорить рост здоровой ногтевой пластины.

### Обсуждение

**Лазерные технологии** в лечении онихомикоза отметились в XX веке, когда в 1984 году Apfelberg начал использовать CO<sub>2</sub>-лазер для воздействия на инфицированную микотическими агентами ногтевую пластину [4]. С этого момента начали применяться такие методы лазерного лечения онихомикоза, как длинноимпульсный Nd:YAG (твердотельный неодимовый лазер на алюмо-иттриевом гранате) лазер с длиной волны 1064 нм, короткоимпульсный Nd:YAG-лазер с длиной волны 1064 нм, CO<sub>2</sub>-лазер и лазеры с длинами волн 870, 930, 1320, 1444 нм [5].

Грибы чрезвычайно чувствительны к температуре выше 50 °С, поэтому воздействие лазерного излучения обеспечивает противогрибковый эффект, развивающийся благодаря фототермической реакции мицелия – денатурации белковых структур. Выборочный фототермолиз возникает из-за хромофоров (хитина, ксантомегнина, меланина) в составе клеточной стенки гриба. Важно, чтобы длительность лазерного импульса была и достаточно короткой в отношении времени тепловой релаксации грибковой мишени для обеспечения постепенного накопления тепла, и достаточно длинной, чтобы тепло могло рассеиваться в коже для предотвращения некроза тканей и болезненности [6]. Лечение онихомикоза CO<sub>2</sub>-лазером происходит за счет vaporization и разрушения непосредственной тканевой мишени, а также бактерицидного действия. Помимо вышеописанного, воздействие CO<sub>2</sub>-лазера может усилить абсорбцию местных противогрибковых препаратов, тем самым повышая эффективность их применения. Побочные эффекты проявляются редко, чаще всего обусловлены нерационально подобранными параметрами. Дискомфорт во время процедуры для некоторых пациентов представляет болезненность средней интенсивности [7]. Nd:YAG-лазер имеет возможность генерировать длины волн 1064, 940, 1320, 1440 нм. Кроме того, неодимовый лазер на алюмоиттриевом гранате может быть модифицирован для работы в непрерывном, длинноимпульсном, Q-switched- (переключения добротности) и КТР- (титанилфосфат калия) режимах. Наиболее эффективно в лечении онихомикоза зарекомендовал себя 0,65 мс Nd:YAG-лазер с длиной волны 1064 нм благодаря более глубокой пенетрации тканей ногтевой пластины и воздействию на рост патогена в ногтевом ложе [8]. При применении комбинированной терапии Nd:YAG-лазером и топическим антимикотиком возможно добиться 87,5%-ной негативации лабораторных показателей после завершения курса лечения, а также приемлемого уровня комфорта процедуры и отсутствия значительных осложнений. Из побочных эффектов можно выделить болезненность (ощущение горячей точки или булавочного укола) и временное потемнение ногтевой пластины [9]. При применении диодного лазера, помимо фототермической реакции, сообщалось о неспецифическом эффекте прогревания тканей с последующим увеличением кровообращения за счет расширения сосудов,

стимуляции иммунологической реакции в лечении [10]. Возможно, приток крови к тканям увеличивается за счет выработки NO<sub>2</sub> и продукции свободных радикалов, что создает токсичную среду для грибковых структур [11]. Несмотря на возможную болезненность во время процедуры, использование анестетиков не рекомендуется из-за невозможности контроля глубины воздействия.

Er:YAG (эрбиевый лазер на алюмо-иттриевом гранате) лазер с длиной волны 2940 нм наносит незначительный сопутствующий ущерб ногтевой пластине, обладая при этом одной из лучших скоростей абляции. Эрбиевый лазер обладает высокой степенью аффинности к воде, за счет чего воздействует на ногтевую пластину путем vaporization ткани. Таким образом, благодаря созданным эрбиевым лазером отверстиям практически на всю толщину ногтевой пластины можно добиться более глубокой пенетрации топических антимикотиков [12].

Использование лазера с двойной длины волны 870/930 нм показало высокую фунгицидную активность и клинические результаты, причем температура на поверхности ногтевой пластины не превышала 38 °С. Несмотря на физиологическую температуру в месте воздействия при проведении процедуры, побочными эффектами могут быть жар и (или) покалывание [13].

Фемтосекундный инфракрасный титан-сапфировый лазер с длиной волны 800 нм, поддерживающий длительность импульса 10<sup>-15</sup> с, предположительно, разрушает прозрачные и полупрозрачные биологические структуры за счет того, что поглощение лазерной энергии происходит нелинейно, а тепловые и механические воздействия реализуются с минимальным потенциалом. В исследовании *in vitro* было показано, что существует достаточное терапевтическое окно, при котором рост грибов может быть полностью подавлен без ущерба для структуры ногтевой пластины [14].

**Низкотемпературная плазма** (НТП) является частично ионизированным газом, полученным при атмосферном давлении и имеющим температуру, близкую к температуре окружающей среды. Составом факела НТП являются заряженные частицы, нейтральные активные частицы (свободные радикалы и частицы в метастабильных состояниях), а также ультрафиолетовое излучение. Биологические эффекты низкотемпературной плазмы объясняются совместным гармоничным действием вышеописанных факторов, имеющих подпороговую концентрацию, которая, в свою очередь, не вызывает изменений в биологическом объекте.

Заряженные частицы в плазме действуют за счет кулоновских сил притяжения и отталкивания, убывающими с расстоянием довольно медленно. Благодаря этому на частицы довольно быстро воздействуют локальные изменения состояния. Также на плазму имеют сильное воздействие электрические и магнитные поля, вызывающие появление объемных зарядов и токов. Именно эти явления приводят к колебательным и волновым движениям [15].

Одним из первых было изучено важное свойство НТП инактивировать микроорганизмы широкого спектра, в том числе с высокой множественной антибиотикорезистент-

ностью, вирусы, грибы и споры. В ходе изучения НТП в отношении к различным штаммам микроорганизмов стало известно, что бактериальная клетка подвергается изменениям на различных клеточных уровнях – наружная клеточная мембрана, внутренняя клеточная мембрана, цитоплазматические белки, РНК, ДНК, что приводит к ее гибели. При изучении корреляции интенсивности НТП и типа воздействия на клетки было показано, что НТП низкой интенсивности (не более 0,2 Дж/см<sup>2</sup>) приводит к пролиферации клеток, НТП средней интенсивности (0,2–0,6 Дж/см<sup>2</sup>) не вызывает никаких изменений клеток млекопитающих, а НТП высокой интенсивности (более 0,6 Дж/см<sup>2</sup>) вызывает апоптотическую гибель клеток. Благодаря проведению большого количества доклинических исследований началась исследовательская работа в области применения НТП в дерматологии: ведение хронических (трофические) язв, в том числе инфицированных резистентными штаммами микроорганизмов; лечение дерматозов и инфекций кожи, онихомикоза [16].

Проводилось исследование воздействия НТП (98% гелия, 2% кислорода) на суспензию конидий *Trichophyton rubrum* с длительностью обработки 90, 120, 150 и 180 с. Рост культуры оценивали путем подсчета колониеобразующих единиц (КОЕ). Сухой вес грибкового субстрата, биосинтез эргостерола и активность кератиназы проходили сравнительную оценку обработанного НТП *T. rubrum* и контрольной группы. Значительное ингибирование роста *T. rubrum* наблюдалось в 62–91% случаев. НТП сильно подавил биосинтез грибкового эргостерола в 27–54% случаев. Благодаря воздействию НТП в течение 120 с активность кератиназы была увеличена на 7,30–21,88% [17].

В исследовании 2020 года Lux *et al.* сравнивалась эффективность применения НТП в комбинации с антимикотическими препаратами, НТП с механической обработкой ногтевых пластин и одиночная механическая обработка ногтевых пластин. Методики применялись на ногтевых пластинах, пораженных *T. rubrum* и *T. interdigitale*. По итогам исследования определено, что значительный эффект возымела синергия НТП с механической обработкой ногтевых пластин. При применении данного сочетания методов удалось добиться микологического излечения у 85,7% пациентов. В случае применения механической обработки и НТП с применением антимикотических препаратов негативация лабораторных показателей не верифицировалась ни у одного из пациентов, а клинический эффект наблюдался в 50,0 и 36,4% случаев соответственно [18].

**Фотодинамическая терапия (ФДТ)** – один из самых изученных методов терапии онихомикоза с использованием световых установок, который заключается в развитии фотохимической реакции ткани за счет инициирования действия фотосенсибилизатора (ФС) источником света с длиной волны, коррелятивной максимуму поглощения, применяемого ФС. В итоге из нетоксичного триплетного кислорода образуется синглетный кислород, который селективно разрушает патологические ткани и обладает токсичным действием в отношении бактерий и грибов [19]. При применении в качестве ФС 5-аминолевуленовой кис-

лоты была обнаружена фунгицидная активность в отношении *Candida albicans* (90% снижения жизнеспособности) и *Trichophyton interdigitale* (79% снижения жизнеспособности), из чего можно сделать вывод, что дерматофитные онихомикозы сложнее поддаются лечению с помощью ФДТ [20]. Стоит отметить, что из-за низкой степени абсорбции препаратов ногтевой пластиной, экспозиция ФС должна быть увеличена, а также следует предварительно уменьшить компактность ткани ногтя с помощью применения аппликаций мочевины или салициловой кислоты высоких концентраций (20–40%) [21]. Для лечения онихомикоза необходимы 1–9 сеансов кратностью раз в неделю с излучением красного спектра (37 Дж/см<sup>2</sup>).

**Ионофорез** основан на применении электрического тока малой силы для воздействия на биологические мембраны посредством увеличения молекулярного транспорта. Эффект ионофореза реализуется за счет электромиграции и электроосмоса. Благодаря ионофорезу можно вводить противогрибковые препараты в более глубокие слои ногтевой пластины, создавать депо антимикотика в ткани ногтя и ожидать дальнейшей диффузии препарата в ногтевое ложе [22]. Электрод (плотность тока 100 мА/см<sup>2</sup>) с противогрибковым препаратом накладывают на ногтевую пластину на ночь (6–8 ч) 5 дней в неделю с продолжительностью 4 недели. Из побочных эффектов отмечались покалывание, местное раздражение и дискомфорт во время процедуры [23].

**Ультратонотерапия** – применение переменного тока надтональной частоты высокого напряжения и малой силы для улучшения пенетрации противогрибковых препаратов в ногтевую пластину. Этот метод является перспективным направлением в менеджменте онихомикоза. Ультратонотерапия проявляет, с одной стороны, фунгицидное и фунгистатическое действие за счет вырабатываемого озона, а с другой – микроциркуляторное и антигипоксическое действие, реализующееся благодаря тепловому эффекту [24]. В исследовании применения ультратонотерапии *in vivo* на трех пациентах были получены удовлетворительные результаты как микологической излеченности, так и улучшения внешнего вида ногтевой пластины [25].

**Ультразвук (УЗ)** в лечении онихомикоза используют для усиления доставки противогрибковых препаратов в толщу ногтевой пластины и ногтевое ложе. Этот эффект достигается благодаря образованию пор в барьере посредством расширения и сжатия пузырьков – кавитации и вызванному уменьшением ультразвуковых волн из-за их поглощения и рассеивания потоку [26]. В исследовании 2017 года Kline-Schoder *et al.* было показано, что такие высоты частот УЗ, как 800 кГц и 1 МГц, обеспечивают наибольшую диффузию лекарственного средства в ногтевую пластину. Для предотвращения повышения локальной температуры может быть эффективным использование УЗ в пульсирующем режиме, что требует дальнейших исследований в этой области [27].

## Заключение

Как показывают практика и анализ литературы зарубежных и отечественных специалистов, лечение грибкового поражения ногтей – полидименсиональный процесс, требующий тщательно выверенного лечения. Успех курации пациентов с онихомикозами зависит от сочетания большого количества факторов: полиморбидность, комплаентность пациента к длительной терапии, соблюдение режима применения антимикотических препаратов, уменьшение воздействия экзогенных факторов, соблюдение правил личной гигиены, а также грамотное комбинирование лекарственного и физиотерапевтического лечения. С развитием аппаратных методов лечения, доступных для применения в отношении онихомикоза, перед современным врачом раскрывается целый арсенал возможных терапевтических путей. На данном этапе требуется доработка четких протоколов использования каждого физиотерапевтического метода для достижения максимальной эффективности терапии.

## Список литературы / References

1. K. C. Leung A., M Lam J., Leong K.F., Hon K.L., Barankin B., A.M. Leung A., & H. C. Wong A. Onychomycosis: An updated review. *Recent Patents on Inflammation & Allergy Drug Discovery*. 2019; 13. <https://doi.org/10.2174/1872213x136619102609>
2. Nenoff P., Ginter-Hanselmayer G., & Tietz H.-J. Onychomycose – ein update. *Der Hautarzt*. 2011; 63 (1), 30–38. <https://doi.org/10.1007/s00105-011-2251-5>
3. Тлиш М. М., Карташевская М. И., Кузнецова Т. Г., Ж. Ю. Наатыж, Е. Б. Поповская, Ф. А. Псавок, Н. Л. Сычева, П. С. Осмоловская, Н. В. Сорокина. Грибковые поражения ногтевого комплекса. Принципы терапии. Учебно-методическое пособие для последипломного образования. 2016. 48 с.
4. Tlish M. M., Kartashevskaya M. I., Kuznetsova T. G., Zh. Yu. Naatyzh, E. B. Popovskaya, F. A. Psavok, N. L. Sycheva, P. S. Osmolovskaya, N. V. Sorokin. Fungal lesions of the nail complex. Principles of therapy. Teaching aid for postgraduate education. 2016. 48 p.
5. Apfelberg DB, Rothermel E, Widfield A, et al. Preliminary report on use of carbon dioxide laser in podiatry. *J Am Podiatry Assoc* 1984; 74: 509–13. <https://doi.org/10.7547/187507315-74-10-509>
6. Ledon J. A., Savas J., Franca K., Chacon A., & Nouri K. Laser and light therapy for onychomycosis: A systematic review. *Lasers in Medical Science*. 2012; 29 (2), 823–829. <https://doi.org/10.1007/s10103-012-1232-y>
7. Zhou B. R., Lu Y., Permatasari F., Huang H., Li J., Liu J., Zhang J. A., Luo D., Xu Y. The efficacy of fractional carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) laser combined with luliconazole 1% cream for the treatment of onychomycosis. *Medicine*. 2016; 95 (44), e5141. <https://doi.org/10.1097/md.0000000000005141>
8. Potekaev N. N., Kruglova L. S. *Лазер в дерматологии и косметологии*. Москва. МДВ. 2018. 280 с.
9. Potekaev N. N., Kruglova L. S. *Laser in dermatology and cosmetology*. Moscow. MDV. 2018. 280 p.
10. Zhou B. R., Lu Y., Permatasari F., Huang H., Li J., Liu J., Zhang J. A., Luo D., Xu Y. The efficacy of fractional carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) laser combined with luliconazole 1% cream for the treatment of onychomycosis. *Medicine*. 2016; 95 (44), e5141. <https://doi.org/10.1097/md.0000000000005141>
11. Ledon J. A., Savas J., Franca K., Chacon A., & Nouri K. Laser and light therapy for onychomycosis: A systematic review. *Lasers in Medical Science*. 2012; 29 (2), 823–829. <https://doi.org/10.1007/s10103-012-1232-y>
12. Hochman L. G. Laser treatment of onychomycosis using a novel 0.65-millisecond pulsed Nd: YAG 1064-nm laser. *Journal of Cosmetic and Laser Therapy*. 2011; 13 (1), 2–5. <https://doi.org/10.3109/14764172.2011.552616>
13. Weber G. C., Firouzi P., Baran A. M., Bökle E., Schrupf H., Bühren B. A., Homey B., Gerber P. A. Treatment of onychomycosis using a 1064-nm diode laser with or without topical antifungal therapy: A single-center, retrospective analysis in 56 patients. *European Journal of Medical Research*. 2018; 23 (1). <https://doi.org/10.1186/s40001-018-0340-y>
14. Francuzik W., Fritz K., & Salavastru C. Laser therapies for onychomycosis – critical evaluation of methods and effectiveness. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology*. 2016; 30 (6), 936–942. <https://doi.org/10.1111/jdv.13593>
15. Morais O. O. de, Costa I. M. C., Gomes C. M., Shinzato D. H., Ayres G. M. C. & Cardoso R. M. The use of the Er: YAG 2940nm laser associated with amorolfine lacquer in the treatment of onychomycosis. *Anais Brasileiros de Dermatologia*. 2013; 88 (5), 847–849. <https://doi.org/10.1590/abd1806-4841.20131932>
16. Ledon J. A., Savas J., Franca K., Chacon A., & Nouri K. Laser and light therapy for onychomycosis: A systematic review. *Lasers in Medical Science*. 2012; 29 (2), 823–829. <https://doi.org/10.1007/s10103-012-1232-y>
17. Manevitch Z., Lev D., Hochberg M., Palhan M., Lewis A., & Enk C. D. Direct Antifungal Effect of Femtosecond Laser on *Trichophyton rubrum* Onychomycosis. *Photochemistry and Photobiology*. 2010; 86 (2), 476–479. <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.2009.00672.x>
18. Янин С. Н. Лекции по основам физики плазмы. Часть I. Томский политехнический университет. Томск. Издательство Томского политехнического университета. 2012. 78 с.
19. Yanin S. N. Lectures on the fundamentals of plasma physics. Part I. Tomsk Polytechnic University. Tomsk. Tomsk Polytechnic University Publishing House, 2012. 78 p.
20. Короткий В. Н. Низкотемпературная атмосферная плазма в дерматологии. *Клиническая дерматология и венерология*. 2017; 16 (5): 4–11. <https://doi.org/10.17116/kiindema20171654-10>
21. Karatkiy V. N. Low-temperature atmospheric plasma in dermatology. *Clinical dermatology and venereology*. 2017; 16 (5): 4–11. <https://doi.org/10.17116/kiindema20171654-10>
22. Shapourzadeh A., Rahimi-Verki N., Atyabi S.-M., Shams-Ghafarokhi M., Jahanshahi Z., Irani S., & Razzaghi-Abyaneh M. Inhibitory effects of cold atmospheric plasma on the growth, ergosterol biosynthesis, and keratinase activity in *Trichophyton rubrum*. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 2016; 608, 27–33. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2016.07.012>
23. Lux J., Dobiáš R., Kuklová I., Litvik R., Scholtz V., Soušková H., Khun J., Mrázek J., Kantorová M., Jaworská P., Prejďavová T., Šnupárková J., Hamal P., Julák J. Inactivation of Dermatophytes Causing Onychomycosis and Its Therapy Using Non-Thermal Plasma. *Journal of Fungi*. 2020; 6 (4), 214. <https://doi.org/10.3390/jof6040214>
24. Круглова Л. С., Суркин С. И., Грязева Н. В., Холупова Л. С. Фотодинамическая терапия в дерматологии и косметологии: руководство. Москва: ГОЭТАР-Медиа. 2020. 144 с. <https://doi.org/10.33029/9704-6026-9-FDT-2020-1-144>
25. Kruglova L. S., Surkin S. I., Gryazeva N. V., Kholupova L. S. Photodynamic therapy in dermatology and cosmetology: a guide. Moscow: GOETAR-Media. 2020. 144 p. <https://doi.org/10.33029/9704-6026-9-FDT-2020-1-144>
26. Donnelly R. F., McCarron P. A., Lightowler J. M., & Woolfson A. D. Bioadhesive patch-based delivery of 5-aminolevulinic acid to the nail for photodynamic therapy of onychomycosis. *Journal of Controlled Release*. 2005; 103 (2), 381–392. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2004.12.005>
27. Gilaberte Y., Aspiroz C., Martes MP, Alcalde V, Espinel-Ingroff A, Rezusta A. Treatment of refractory fingernail onychomycosis caused by nondermatophyte molds with methylaminolevulinic acid photodynamic therapy. *J Am Acad Dermatol*. 2011; 65 (3): 669–671. <https://doi.org/10.1016/j.jaad.2010.06.008>
28. Delgado-Charro M. B. Iontophoretic drug delivery across the nail. *Expert Opinion on Drug Delivery*. 2011; 9 (1), 91–103. <https://doi.org/10.1517/17425247.2012.642364>
29. Amichai B., Nilzan B., Mosckovitz R., & Shemer A. Iontophoretic delivery of terbinafine in onychomycosis: a preliminary study. *British Journal of Dermatology*. 2010; 162 (1), 46–50. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2133.2009.09414.x>
30. Тлиш М. М., Шавилова М. Е., Матишев А. А. Механизмы действия и клиническая эффективность ультратонотерапии в комплексном лечении онихомикозов стоп. Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2020; 97 (3): 76–82. <https://doi.org/10.17116/curort20209703176>
31. Tlish M. M., Shavilova M. E., Matishev A. A. Mechanisms of action and clinical efficacy of ultratonoherapy in the complex treatment of foot onychomycosis. *Issues of Balneology, Physiotherapy and Therapeutic Physical Culture*. 2020; 97 (3): 76–82. <https://doi.org/10.17116/curort20209703176>
32. Silva J. L. M. da, Doimo G., & Faria D. P. Uso de ondas de alta frequência no tratamento de onicomicose: comunicação preliminar de três casos. *Anais Brasileiros de Dermatologia*. 2011; 86 (3), 598–600. <https://doi.org/10.1590/s0365-05962011000300033>
33. Kline-Schoder A., Le Z., Sweeney L., & Zderic V. Optimization of Ultrasound-Mediated Drug Delivery for Treatment of Onychomycosis. *Journal of the American Podiatric Medical Association*. 2019. <https://doi.org/10.7547/18-084>
34. Kline-Schoder A., Le Z., & Zderic V. Ultrasound-Enhanced Drug Delivery for Treatment of Onychomycosis. *Journal of Ultrasound in Medicine*. 2017; 37 (7), 1743–1752. <https://doi.org/10.1002/jum.14526>

Статья поступила / Received 03.11.22  
Получена после рецензирования / Revised 07.11.22  
Принята в печать / Accepted 10.11.22

## Сведения об авторах

**Арабаджян Мария Игоревна**, врач-дерматовенеролог, аспирант кафедры дерматовенерологии и косметологии. E-mail: arabadzhyan@bk.ru. ORCID: 0000-0001-7648-4310

**Майоров Роман Юрьевич**, врач-дерматовенеролог, аспирант кафедры дерматовенерологии и косметологии. ORCID: 0000-0003-1911-6743

ФГБУ ДПО «Центральная государственная медицинская академия»  
Управления делами Президента Российской Федерации, Москва

Автор для переписки: Арабаджян Мария Игоревна. E-mail: arabadzhyan@bk.ru

**Для цитирования:** Арабаджян М. И., Майоров Р. Ю. Аппаратные методы лечения онихомикозов (обзор литературы). *Медицинский алфавит*. 2022; (27): 7–10. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2022-27-10>.

## About authors

**Arabadzhyan Maria I.**, dermatovenereologist, post-graduate student of Dept of Dermatovenereology and Cosmetology. E-mail: arabadzhyan@bk.ru. ORCID: 0000-0001-7648-4310

**Mayorov Roman Yu.**, dermatovenereologist, post-graduate student of Dept of Dermatovenereology and Cosmetology. ORCID: 0000-0003-1911-6743

Central State Medical Academy, Moscow, Russia

Corresponding author: Arabadzhyan Maria I. E-mail: arabadzhyan@bk.ru

**For citation:** Arabadzhyan M. I., Mayorov R. Yu. Overview of hardware methods of treatment of onychomycosis (literature review). *Medical alphabet*. 2022; (27): 7–10. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2022-27-10>.

