

© Коллектив авторов  
УДК 615.849.19  
DOI – [https://doi.org/10.24412/2304-0343-2024\\_3\\_146](https://doi.org/10.24412/2304-0343-2024_3_146)

## СОВРЕМЕННАЯ КОНЦЕПЦИЯ СОЧЕТАННОГО И КОМБИНИРОВАННОГО ПРИМЕНЕНИЯ ФОТОТЕРАПИИ И НИЗКОИНТЕНСИВНОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТЕРАПИИ В МЕДИЦИНСКОЙ ПРАКТИКЕ (обзор литературы)

<sup>1,2</sup>Куликова Н. Г., <sup>2</sup>Ткаченко А. С., <sup>3</sup>Некрасова А. Н.

<sup>1</sup>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН), г. Москва, Россия

<sup>3</sup>Клинический медицинский центр «Ремейк», г. Москва, Россия

## MODERN CONCEPT OF COMPLEX AND COMBINED USE OF PHOTOTHERAPY AND LOW-INTENSITY ULTRASOUND THERAPY IN MEDICAL PRACTICE (literature review)

<sup>1,2</sup>Kulikova N. G., <sup>2</sup>Tkachenko A. S., <sup>3</sup>Nekrasova A. N.

<sup>1</sup>Federal State Autonomous Institution of Higher Education I.M. Sechenov First Moscow Medical University, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Federal State Autonomous Institution of Higher Education «Peoples Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba», Moscow, Russia

<sup>3</sup>Clinical Medical Centre «Remake», Moscow, Russia

### РЕЗЮМЕ

На основе мет-анализа представлены современные научные теории об оптических факторах и низкоинтенсивном ультразвуковом влиянии на органно-клеточные и тканевые системы, вегетативные центры нервной и иммунной регуляции организма человека при их сочетанном и комбинированном исполнении. Изучение и анализ российских и зарубежных источников последних 10 лет позволил провести оценку динамики научных представлений о фотофакторных и ультразвуковых источниках разной длины волны и модуляций, параметрах плотности мощности и интенсивности с учетом научных достижений в области физики и в контексте механизма действия. Использовали метод оценки первичных данных оригинальных исследований и обобщающие методы анализа опубликованных (вторичных) результатов исследований, посвящённых данной проблеме, включая аналитический метод. Особенности сочетанного метода и при комбинировании фотофакторов с ультразвуком низкой интенсивности при лечении и реабилитации пациентов с различной патологией, позволяют сформировать у специалистов научную концепцию, как об их монофакторном влиянии, так и об их суммации, по ряду физиологических реакций. Современная подача систематизированной информации ориентирована на своевременное и более широкое применение новых достижений с использованием представленных факторов.

**Ключевые слова.** Фотофактор, ультразвуковая терапия, сочетанное воздействие, комбинированная терапия.

### ABSTRACT

On the basis of meta-analysis, the article presents modern scientific theories about optical factors and low-intensity ultrasound influence on organ-cellular and tissue systems, autonomic centres of nervous and immune regulation of the human body with their complex and combined performance. The study and analysis of Russian and foreign sources of the last 10 years made it possible to assess the dynamics of scientific ideas about photofactor and ultrasonic sources of different wave lengths and modulations, parameters of power density and intensity taking into account scientific achievements in the field of physics and in the context of the mechanism of action. We used a method for evaluating primary data from original studies and generalizing methods for analyzing published (secondary) research results on this problem including the analytical method. The features of the combined method and the combination of photofactors with low-intensity ultrasound in the treatment and rehabilitation of patients with various pathologies allow specialists to form a scientific concept of both their monofactorial influence and their summation according to a number of physiological reactions. The modern presentation of systematized information is focused on the timely and wider application of new achievements using the presented factors. **Keywords:** Photofactor, ultrasound therapy, combined exposure, combined therapy.

**Для цитирования:** Куликова Н. Г., Ткаченко А. С., Некрасова А. Н. СОВРЕМЕННАЯ КОНЦЕПЦИЯ СОЧЕТАННОГО И КОМБИНИРОВАННОГО ПРИМЕНЕНИЯ ФОТОТЕРАПИИ И НИЗКОИНТЕНСИВНОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТЕРАПИИ В МЕДИЦИНСКОЙ ПРАКТИКЕ. Курортная медицина. 2024; 3: 146-157 DOI – [https://doi.org/10.24412/2304-0343-2024\\_3\\_146](https://doi.org/10.24412/2304-0343-2024_3_146)

**For citation:** Kulikova N. G., Tkachenko A. S., Nekrasova A. N. MODERN CONCEPT OF COMPLEX AND COMBINED USE OF PHOTOTHERAPY AND LOW-INTENSITY ULTRASOUND THERAPY IN MEDICAL PRACTICE (literature review). Resort medicine. 2024; 3: 146-157 DOI – [https://doi.org/10.24412/2304-0343-2024\\_3\\_146](https://doi.org/10.24412/2304-0343-2024_3_146)

Развитие физиотерапии и ежегодное появление новых научных данных о физике факторных внешних источников, которые генерируются различными медицинскими аппаратами, позволило по-новому оценить их перспективу для терапии и реабилитации пациентов с различной патологией [1]. Особенно активно развиваются направления, в которых комбинируются такие преформированные факторы, как низкоинтенсивный импульсный свет ультрафиолетового спектра и электромагнитное лазерное излучение красного, инфракрасного диапазона; инфракрасного и широкополосного спектра лазерного излучения и переменного низкоинтенсивного магнитного поля (30-100 мТл) («Матрикс», «Лазмик», «Оптодан», «Геске», Россия).

Появились аппараты, которые генерируют ультразвуковую акустическую волну низкой интенсивности (880 кГц) при комбинированном воздействии с красным (600 нм) и инфракрасным спектром (840-950 нм) некогерентного излучения («Аврора», Россия) [2].

Акцент на сочетанное и комбинированное их применение в лечебных и реабилитационных технологиях делается давно. При этом ряд авторов считает, что для лучшей гармонизации систем и органов, на которые направлены представленные факторы, лучше использовать методики сочетанного воздействия, что высоко эффективно на фоне определенной линейки лекарственных препаратов [3, 4, 5, 6, 7, 8]. Ряд авторов, напротив, делают акцент на последовательное комбинированное их применение при отпуске через день [9, 10, 11, 12, 13]. Важно подчеркнуть, что основная концепция сочетанного или комбинированного применения сводится не только к взаимному усилению механизма действия физических факторов путем их суммации или наложения, но и к формированию более статистически значимых эффектов при минимизации вероятных побочных реакций. Такие технологии не только призваны обеспечить доминирование перед рядом фармакологических схем лечения, вызывающих аллергические реакции, дерматозы, вегетативные реакции и другие осложнения, но и формируют трендовый подъем сагенеза и адаптивных реакций, что крайне важно в любых условиях функционирования организма человека [14, 15, 16, 17, 18].

Положительное влияние света на течение многих заболеваний и психосоматический статус человека, известен давно [19, 20]. Согласно теории, выдвинутой Ричардом Роксом Андерсоном (R. R. Anderson) и Джоном Пэрришом (J. Parrish) в 1983 году поглощение световых волн определенного спектра (диапазона) осуществляется специфическими молекулами – хромофорами [21, 22, 23]. С учетом большой площади кожных тканей (1,5-1,8 м<sup>2</sup>) и постоянного (всесезонного) пребывания в контакте с солнечным спектром электромагнитного излучения (ультрафиолетовое излучение всех длин волн, включая экстремальный ультрафиолет, граничащий с рентгеновскими лучами длиной волны 10 нм), важно знать не только о его влиянии с учетом всех спектров, но и о нежелательных абберациях наложения при взаимодействии с внешними факторами.

Солнечный свет примерно на 50% состоит из инфракрасного излучения (660-700 нм), на 40% - из видимого света (680-400 нм) и на 10% - ультрафиолетового (100-400 нм) света, при общей интенсивности около 1400 Вт / м [24, 25, 26]. Так при преобразовании энергии квантов красного и инфракрасного излучений в нервных клетках (а именно в нейронах) формируются токи высокой частоты, ориентированные на восстановление функциональных нарушений в системе передачи нервного импульса [26]. При этом именно красный и инфракрасный спектры электромагнитных излучений обладают стимулирующим действием на активность тканевых ферментов, биосинтез

белков, макроэргов, что значительно повышает окислительно-восстановительный потенциал и оксигенацию нервных клеток [27]. Весьма активно фотовоздействию подвергается кровь и лимфа, что формирует системную реакцию в организме, направленно воздействующую на усиление коллатерального кровообращения, противовоспалительные, противоотечные, застойные процессы в организме человека [28].

Исследования последних лет дают все больше доказательств того, что воздействие ультрафиолетового излучения окружающей среды может существенно менять активность и распределение некоторых клеток, ответственных за запуск иммунных реакций у человека [29]. Как следствие, не только пребывание на солнце, но и нецелелевое использование преформированного фотофактора или, при условиях его неадекватного дозирования, может снизить защитные силы организма и усилить онкологические риски [30]. Появились работы, которые доказывают, что ультрафиолетовое излучение может способствовать развитию рака двумя различными способами: непосредственно вызывая повреждение ДНК и в результате ослабления иммунной системы. На сегодняшний день проведено крайне мало исследований для описания потенциального влияния на эти процессы, как и на другие системно-организующие физиологические реакции при комбинировании наиболее часто применяемых преформированных физических факторов.

Все диапазоны ультрафиолетового излучения повреждают коллагеновые волокна и ускоряют старение кожи [30]. Как УФ-А, так и УФ-В разрушают витамин А в коже, что может вызвать дальнейшее повреждение. Ультрафиолетовое излучение способно вызвать прямое повреждение ДНК, а фотоны UVB - прямое повреждение ДНК, и РНК [28, 30]. УФ-В излучение возбуждает молекулы ДНК в клетках кожи, вызывая образование аберрантных ковалентных связей между соседними пиримидиновыми основаниями, образуя димеры. Большинство индуцированных ультрафиолетом пиримидиновых димеров в ДНК удаляются с помощью процесса, известного как эксцизионная репарация нуклеотидов, в котором задействовано около 30 различных белков. Те димеры пиримидина, которые избегают этого процесса репарации, могут индуцировать форму запрограммированной гибели клеток (апоптоз) или могут вызывать ошибки репликации ДНК, приводящих к системно-клеточным мутациям.

За предыдущие пять лет для генерации УФО стали доступны светодиоды UV-A с длиной волны 365 нм и большей длины волны (КПД - 50%, мощность - 1,0 Вт) [30]. В настоящее время наиболее распространенными типами УФ-светодиодов являются светодиоды с длинами волн 395 нм и 365 нм, оба из которых относятся к спектру UV-A.

На сегодняшний день разработано множество видов фототерапевтического лечения с применением широкополосного ультрафиолетового-В излучения (BBUVB) длиной волны (290 нм, 320 нм) и узкополосного спектра ультрафиолетового-В излучения (NB-UVB) длиной волны 311 нм. Высокая эффективность УФ-излучения отмечена в дерматологии, при соматической и дегенеративной патологии, сделав акцент на механизмы, ориентированные на апоптоз патогенных Т-клеток и кератиноцитов, местные и системные иммуносупрессивные реакции, при которых Th17-лимфоциты определяют роль и эффекты действия NB-UVB [28]. Отмечено, что под действием УФ-излучения (NB-UVB) в мононуклеарных клетках периферической крови, наблюдается снижение уровня мРНК IL-17A, TNF- $\alpha$  и IL-6, убиквитинирование и подавление цепи рецептора интерферона I типа (IFNAR1) с последующим подавлением передачи сигналов интерферона и экспрессией родственных цитокинов [28, 30]. Ряд специалистов отмечают, что на фоне узкополосной фототерапии UVB 311 нм происходит увеличение количества Treg-клеток и восстановление их функций посредством активации FOXP3, что основано на принципиально новом механизме NB-UVB, ориентированном на снижение уровня плазмидина – мощного активатора воспалительных клеток [31].

По сравнению с BBUVB спектр NB-UVB более эффективно способствует регрессу псориазических высыпаний, дерматозов и воспалительных элементов на кожных тканях, вызывая более длительную ремиссию заболевания и, обладая хорошим профилем безопасности [31, 32].

Доказано, что при воздействии определенными длинами волн электромагнитного излучения волнового фотofактора высокой интенсивности обеспечивается процесс селективного фототермолиза посредством хромофорных систем - порфиринов (в их основе находятся молекулы из четырех колец пиррола, соединенных мостиками метана), копропорфиринов III и протопорфиринов IX, являющихся выраженными фотосенсибилизаторами [31]. Порфирины имеют более слабые пики поглощения (Q полосы) на длинных волнах – от 450 до 700 нм [30].

Воздействие голубого и красного спектра видимого света на порфирин приводит к образованию свободных радикалов – синглетного кислорода, который обладает бактерицидным эффектом [28]. При этом для достижения максимального бактерицидного эффекта, необходимо достичь максимальной скорости образования возбужденных молекул порфиринов с целью управления концентрацией фотонов и температурой в подлежащих тканях. Установлено, что пик поглощения света порфиринами приходится на полосу Core – длина волны 405 нм, что усиливает бактерицидность воздействия [31, 32].

Красный спектр электромагнитного фотofактора индуцирует высвобождение цитокинов макрофагами, которые, стимулируют пролиферацию фибробластов. Arsiwala N.Z. et al. (2020), что поглощение красного света фотоакцепторами способно приводить к изменениям со стороны окислительно-восстановительных процессов в клетках, синтезу нуклеиновых кислот, изменению скорости митотических процессов в тканях, в том числе в виде активации факторов роста коллагена [25]. Авторы доказали не только высокие противомикробные результаты, но и значимые эффекты сокращения микрокапилляров и сальных желез, направленных в том числе, на активацию системы порфиринов и стимуляцию ПОЛ с образованием свободных радикалов кислорода.

Работы Russell B. A., Kellett N., Reilly L. R. свидетельствуют о том, что использование светодиодов с длиной волны 600-670 нм способно активировать регенерацию тканей и обеспечить эффект фотоомоложения [4, 25]. Тепловая энергия, сопровождающая фототерапию, обеспечивает выведение свободных жирных кислот и протеаз, активируя нейтрофилы и мононуклеарные клетки, участвующие в местном иммунном ответе.

Отдельные исследования российских специалистов демонстрируют высокие эффекты и безопасность применения для терапии больных с дерматологической патологией интенсивного импульсного фотofактора (600-670 нм). При этом авторы широко обсуждают новые представления о механизме действия интенсивного импульсного света при воздействии на кожные ткани и в целом на морфотип пациента, давая оценку возможностям его эффективного сочетанного применения с другими физическими факторами [30, 32, 33]. Последнее основано на изучении клеток-мишеней светового излучения при модуляции разной длины волны: гемоглобин, вода, меланин порфирины, рецепторы, сосуды, сальные железы, др., что позволяет более широко применять фототерапию и ультрафонофорез для комбинированного и сочетанного воздействия при лечении пациентов с аутоиммунными заболеваниями (псориаз, аллергические дерматозы с распространенными поражениями, др.) [30]. Важно понимать, что гемоглобин в сосудах, кровоснабжающих сальные железы, также является хромофором, но только для волн «сосудистого спектра». Связывание железа в гемоглобине с молекулой кислорода приводит к изменениям спектра поглощения - коротковолновый максимум, которого смещается в еще более коротковолновую область, а в длинноволновом спектре к 555 нм, 540 и 576 нм.

Запатентована методика использования сочетанного воздействия импульсного света, галогеновыми источниками 600-700 нм и др. с рядом лекарственных препаратов, в том числе в косметологии с 5-аминолевулиновой кислотой, что обеспечивает более высокие противовоспалительные результаты, нежели при использовании монотерапии импульсным светом такой же длины волны и, что, по мнению ученых, может усилить эффекты ультразвуковой терапии [25].

С учетом параметров возрастающей интенсивности (мощности) монохроматического, когерентного поляризованного света, каким является электромагнитное лазерное излучение, предполагается преимущественное его воздействие на целевой хромофор, что требует последующей реабилитации и правильного дозирования фактора. Так аналогичные исследования проведены

специалистами с использованием электромагнитного лазерного излучения длиной волны 1320 нм (CoolTouch СТ3), 1450 нм (SmoothBeam Кандела), 1540-нм (эрбий на стекле Aramis) и индоцианинового зеленого (ICG) с диодным лазером 810-900 нм, что позволило получить не только антибактериальный, но и значительный противовоспалительный эффекты. Эффективное воздействие на порфирины, может быть достигнуто лазерами, работающих с длиной волны 532 нм (зеленый свет), импульсными лазерами на красителях с длиной волны 585-595 нм (желтый свет) [29, 34].

В целом можно отметить, что практической медицины стали более широко доступны лазеры, которые охватывают весь диапазон ультрафиолетового излучения. Так в азотном газовом лазере используется электронное возбуждение молекул азота для излучения, преимущественно в ультрафиолетовом диапазоне, среди которых по мощности занимают волны 337,1 нм и 357,6 нм. УФ-излучающие лазерные диоды также широко доступны для косметологических и дерматологических воздействий при длине волны в 375 нм. Текущий предел длины волны для получения когерентного УФ-излучения составляет около 1260 нм, что характерно для эксимерного лазера Ar. В лазерах с большей длиной волны используется комбинация с лазерным излучением вакуумного ультрафиолетового (V-UV) диапазона (до 2000 - 2500 нм), генерируемого нелинейным 4-волновым смешиванием в газах модуляций разной частоты [28, 30]. В частности, смешивание двух фотонов эксимерного лазера с разностной частотой  $\text{ArF}$  (193 нм) видимого или ближнего ИК-диапазона (лазеры на водороде или криптоне) обеспечивает усиленную резонансную подачу фотofактора и улучшенное влияние V-UV в диапазоне от 100 до 200 нм.

В ряде исследований отмечена высокая эффективность лазерного излучения синего диапазона (405 нм)», посвященной терапии легких и среднетяжелых форм акне с использованием лазерного излучения синего спектра длиной волны 405 нм было отмечено, что спустя 8 недель после завершения лечения, отмечается более выраженная положительная динамика у большинства пациентов [4, 29]. Использование лазерного излучения в синем диапазоне (405-470 нм) обеспечивает, более высокие антибактериальные эффекты, при равноценно селективному фототермолизу в сосудах.

Важно отметить, что современные лазеры могут работать в условиях косвенной генерации некогерентного экстремального ультрафиолетового (E-UV) излучения с длиной волны 1305 нм, что усиливает эффекты ультрафиолетового излучения (100 до 200 нм). Так фотofактор NB-UVB можно комбинировать с другими физическими факторами (ультразвук, электрофорез, магнитотерапия) и наружными средствами, такими как глюкокортикостероиды, что существенно отражается на эффектах клинического результата [28, 30, 34]. Доказано, что узкополосную фототерапию высоко эффективно комбинировать с системными лекарственными препаратами на фоне ультразвуковой терапии, что ингибирует активность янусных киназ [34].

Разработаны комбинированные аппараты, включающие сочетанное использование вакуумного воздействия на ткани и фотofактора - фотопневматическая система Isolaz (Aesthera, Плезантон, Калифорния), которая получила широкое одобрение FDA [35]. Российскими учеными разработан и начал активно применяться в практике при лечении различной патологии аппарат «Аврора» (880 кГц), который уникален тем, что включает возможность комбинированной терапии ультразвуковым фактором (880 кГц, при интенсивности от 0,5 до 1,0 Вт/см<sup>2</sup>), красного (660 нм) и инфракрасного некогерентного электромагнитного излучения (840-950 нм), обеспечивающих раздельное монофакторное воздействие и сочетанное влияние на подлежащие ткани [2].

Доказано, что длина волны излучения красного спектра (660 нм) и инфракрасного (от 840 до 950 нм) диапазона при плотности мощности излучения на длине волны 660 нм не менее 0,35 мВт/см и не более 1,8 мВт/см при плотности мощности излучения на длинах волн от 840 до 950 нм, что обеспечивает высокую суммарную плотность мощности излучения: в красных лучах не менее 0,6 мВт/см и не более 6,0 мВт/см; в инфракрасных лучах - не менее 2,2 мВт/см и не более 8,0 мВт/см при одновременном красном и инфракрасном некогерентном воздействии. Наличие волн различной длины и ультразвукового акустического фактора, позволяют получить высокоэффективный вариант

комбинации представленных физических факторов для практической медицины, о чем свидетельствуют разработанные методические рекомендации для лечения пациентов с различной патологией [2].

Особой дискуссии подвергается безопасность отпуска процедур с включением электромагнитного оптического излучения разной длиной волны при их сочетанном воздействии с другими физическими факторами, среди которых наиболее часто используют низкочастотное переменное или импульсное магнитное поле и ультразвуковая акустическая волна низкой интенсивности (880-900 кГц) [35]. Так при сочетанной физиотерапии практикуется назначение меньших по интенсивности параметров физического фактора, которые при условиях однонаправленного их влияния на органно-системные среды формируют эффекты суммации или наложения, в несколько раз усиливающих лечебный терапевтический эффект [10, 32]. Сочетанное применение двух факторов одной направленности усиливает их потенцирование в отношении применяемых лекарственных препаратов, которые снижаются в дозированном применении, уменьшая фармакологическую нагрузку на пациента [36]. Сочетанное, а в ряде случаев и комбинированное (через один или два дня) использование физических факторов одной направленности повышает резервные возможности саногенеза и моделирует в организме оптимальный адаптационный режим восприятия, более выраженный в отдаленном периоде наблюдения, чем при монофакторном воздействии [37]. В целом следует отметить высокую физиологичность, как фотофакторов, так и акустических ультразвуковых волн [9, 37].

Все ультразвуковые аппараты базируются на пьезоэлектрическом (пьезоэффект) или магнитострикционном эффектах: прямой пьезоэлектрический эффект основан на возникновении электрической поляризации в кристаллах твердого диэлектрика при механической деформации (растяжении или сжатии) кристаллов (кварц, сегнетова соль, пьезокерамики); обратный пьезоэлектрический эффект – явление возникновения деформации в кристаллическом диэлектрике под воздействием разности потенциалов, вызывающих изменение размеров подлежащих структур под действием внешнего электрического поля благодаря более мощным механическим колебаниям и волнам ультразвуковой частоты [11, 25, 37]. Благодаря представленным характеристикам ультразвуковой волны доказаны три основных направления в механизме действия УЗ: прессо-механический, физико-химический и тепловой (более 0,4 Вт/см<sup>2</sup>), обеспечивающих выраженное обезболивающее, сосудорасширяющее, спазмолитическое, противовоспалительное, десенсибилизирующее, общетонизирующее, дефиброзирующее, регенерирующее и гормоноактивирующее действие [3, 38, 39]. В тканях при этом увеличивается обмен веществ, усиливается синтез белков и нуклеиновых кислот, повышается проницаемость клеточных мембран, а при УЗ малой интенсивности (менее 1 Вт/см<sup>2</sup>) наблюдаются процессы активизации внутриклеточных реакций в тканях (биосинтез белка, образование биологически активных веществ, усиление активности ферментов и т.п.).

Для врача исследователя и практического специалиста важно четко представлять физическую сущность акустических волн, как колебательных движений частиц упругой среды, распространяющихся в газообразной, жидкой или твердой средах в зависимости от мощности источника генерации и частотной линейки диапазона акустических волн: инфразвук, звук, ультразвук, гиперзвук. Звуковыми колебаниями (звук) - колебания частиц в упругих средах, воспринимаемых человеческим ухом (от 16–20 до 16 000–20 000 Гц), не слышимые человеком звуки с частотой ниже этой границы - инфразвук, ультразвук - выше 20 000 Гц; гиперзвук - высокочастотные упругие волны в диапазоне от 10<sup>9</sup> до 10<sup>12</sup>–10<sup>13</sup> Гц. Распространение ультразвука в живых тканях зависит от их плотности: ткани легкого – высокая (1,200 м/с) скорость распространения ультразвука в связи с высоким содержанием воздуха; костная ткань – низкая (3,350 м/с) скорость распространения УЗ, как и средняя - в паренхиматозных (1,520 м/с) тканях с большим содержанием воды (до 80 %), что формирует «эффект накопления» в последних [31]. Особый интерес вызывают костные ткани, для которых характерны не только скорость ультразвука и сильное его затухание, но и сравнительно сильный разброс значений скорости ультразвука в зависимости от частоты (дисперсия) [31], что связывают с особенностью структуры костной ткани, обладающей сильной анизотропией, ведущей к усилению

накопления УЗ в плотной среде в 12-15 раз [31]. Так, в зависимости от типа кости и направления, распространение звуковой волны и величина разброса значений скорости продольных волн, может меняться от 1 до 12 % и в частотном диапазоне от 1 до 3 МГц [26, 32]. Для сравнения, дисперсия скорости ультразвука в мозге, в том же частотном диапазоне, не превышает 0,2 % [32]. Важен и коэффициент отражения при распределении ультразвуковой волны на границах раздела тканевых сред: коэффициент отражения мышцы/кровь - 0,3, мягкие ткани/вода - 0,05, жировая прослойка/мышцы - 0,10, костная ткань/мышцы - 0,64, мозг/кость черепа - 0,66, мягкие ткани/воздух - 0,9995, что характеризует особенности распространения УЗ при переходе из среды, граничащей с воздухом (99,9 %) и на границе между тканями [9, 26, 32]. Поэтому при терапевтическом воздействии ультразвуком необходимо следить за тем, чтобы между излучателем ультразвука и поверхностью тела всегда была прослойка (жидкость, специальный гель, глицерин, вазелиновое масло, раствор или кремевая форма лекарства), что определяет глубину проникновения ультразвука в сантиметрах (от 0,5 мм 3,5 см), в том числе в зависимости от интенсивности и частотных параметров воздействия [32].

Доказано, что ультразвуковая терапия при частоте 880 – 900 кГц эффективна при заболеваниях внутренних органов (хронический бронхит, бронхиальная астма, язвенная болезнь желудка и двенадцатиперстной кишки, хронический колит, поликистоз, холецистит, пиелонефрит, панкреатит, патоспермия), а при ультразвуковых волнах частотой 990 – 3000 кГц они высоко эффективны в косметологии и дерматологической практике, хирургии [7, 8, 13, 28].

К анатомическим структурам, которые избирательно накапливают энергию УЗ, относятся богатые коллагеном поверхностные слои кости, надкостница, суставные мениски, синовиальная жидкость, суставные сумки, соединительные ткани, внутримышечные рубцы, мышечные волокна, оболочки сухожилий и главные нервные стволы [9], что, как указывалось ранее и является предметом наибольшего распространения и накопления фотофакторных воздействий, вызывая суммацию эффектов [8]. Последнее, как нельзя лучше, формирует фармако-физиологические эффекты – ультрафонофорез (фонофорез) в виде одновременного воздействия ультразвука, фотофактора и лекарственных препаратов. Если ультразвуковые колебания увеличивают мембранную проницаемость кожи для молекул лекарственного вещества, ускоряя их проникновение в ткани, то фотофактор активизирует эти лекарственные вещества посредством фотоэффектов [29]. С помощью фонофореза лекарство поступает не в межклеточную жидкость, а точно по назначению, в клетки. В некоторых случаях, чтобы лекарство проникло и в клетки, и в межклеточную жидкость, например, при лечении опухолей, фонофорез используют в сочетании с электрофорезом. Весьма перспективной оказалась транспортировка в ткани липосом – жировых микрокапсул, заполненных лекарственным препаратом и предварительно подверженных воздействию ультразвуком. В тканях под действием ультразвука липосомы разрушаются, а лекарственное вещество попадает внутрь клеток сквозь мембраны, проницаемость которых под действием ультразвука увеличивается. Липосомный транспорт чрезвычайно важен при лечении некоторых острых воспалительных заболеваний, а также в химиотерапии опухолей, поскольку лекарства концентрируются только в определенной области, почти не затрагивая другие ткани [13]. Одно из наиболее распространенных применений ультразвука в физиотерапии – это ускорение регенерации тканей и заживления ран. Восстановление тканей можно разделить на три фазы. В течение воспалительной фазы фагоцитарная активность макрофагов и полиморфнонуклеарных лейкоцитов ведет к удалению клеточных фрагментов и патогенных частиц. Переработка этого материала происходит главным образом при помощи лизосомальных ферментов макрофагов. Известно, что ультразвук терапевтических интенсивностей может вызвать изменения в лизосомальных мембранах, тем самым ускоряя прохождение этой фазы. Вторая фаза при лечении ран – пролиферация или фаза разрастания. Клетки мигрируют в область поражения и начинают делиться. Фибробласты начинают синтезировать коллаген. Интенсивность заживления начинает увеличиваться и специальные клетки, миофибробласты, заставляют рану стягиваться. Показано, что ультразвук значительно ускоряет синтез коллагена фибробластами как *in vitro*, так и *in vivo*. Если диплоидные

фибробласты человека облучить ультразвуком частотой 3 МГц и интенсивностью 0,5 Вт/см<sup>2</sup> in vitro, то количество синтезированного белка увеличится. Исследование таких клеток с помощью электронного микроскопа показало, что по сравнению с контрольными клетками в них содержится больше свободных рибосом, шероховатой эндоплазматической сети. Третья фаза – восстановление. Эластичность (упругость) нормальной соединительной ткани обусловлена упорядоченной структурой коллагеновой сетки, позволяющей ткани сокращаться и расслабляться без заметных деформаций. В рубцовой ткани волокна часто располагаются нерегулярно и запутаны, что не позволяет ей растягиваться без разрывов. Рубцовая ткань, формировавшаяся при воздействии ультразвука, прочнее и эластичнее по сравнению с «нормальной» рубцовой тканью [8]. Ультразвук может способствовать ускорению рассасывания отеков, вызванных повреждениями мягких тканей, что, скорее всего, обусловлено усилением кровотока или местными изменениями в тканях под действием акустических микропотоков. В ряде случаев ультразвук может быть более эффективной формой диатермии, чем коротковолновые излучения, парафиновые аппликации и инфракрасное излучение. При экспериментальном исследовании заживления переломов малой берцовой кости у крыс было обнаружено, что ультразвуковое облучение во время воспалительной и ранней пролиферативной фаз ускоряет и улучшает выздоровление. Костная мозоль у таких животных содержала больше костной ткани и меньше хрящей. Однако 105 в поздней пролиферативной фазе приводило к негативным эффектам – усиливался рост хрящей и задерживалось образование костной ткани. В дерматологии ультразвуковые методы используются для лечения таких заболеваний, как хроническая рецидивирующая крапивница, хроническая экзема, кожный зуд, нейродермит, псориаз, красный плоский лишай, трофические язвы, подошвенные бородавки, опоясывающий лишай [25].

При приближении частоты вынуждающей силы к собственной частоте колеблющегося тела наблюдается резонанс (механический резонанс) – резкое увеличение амплитуды вынужденных колебаний. Такая частота называется резонансной частотой колебаний  $\omega_{рез}$  ( $\omega_{рез} = \omega_0$ ). При распространении продольной волны в среде создаются чередующиеся сгущения и разрежения частиц вдоль направления распространения волны. Упругие продольные волны могут возникнуть как в твердых средах, так и в жидкой и газообразной средах.

Весьма востребованными в разных направлениях медицины являются аппараты фототерапевтической направленности, которые генерируют импульсный свет ультрафиолетового спектра, электромагнитное красное лазерное излучение, инфракрасный спектр лазерного излучения, ультрафиолетовый спектр и видимый спектр разной длины волны, др. Следует отметить, что каждый фототерапевтический фактор имеет определенный механизм действия не только на кожные клетки, но и на провоспалительные клетки-мишени в организме человека.

В последние годы большое внимание уделяется разработке комбинированных физиотерапевтических технологий в лечении кожных заболеваний, обеспечивающих возможность воздействовать на несколько патогенетических звеньев заболевания. Большинство серийных ультразвуковых терапевтических аппаратов, как и аппарат «Аврора», работают на одной из фиксированных частот этого диапазона (880-900 кГц), что устраняет перегрев глубоко расположенных тканей, даже при использовании, так называемых тепловых параметров интенсивности (0,4-1,2 Вт/см<sup>2</sup>) [2, 37]. Уменьшение выраженности тепловой нагрузки на ткани при озвучивании достигается путем снижения интенсивности и применения импульсного режима, когда энергия подается в виде отдельных порций с различной частотой (50, 100, 200 Гц), различной формой импульса и разной скважностью и др. [10]. Так в урологии ультразвук применяют как физиотерапевтический фактор, усиливающий местные и обменные процессы, улучшающий трофику тканей, способствующий рассасыванию и размягчению воспалительных инфильтратов, рубцовых элементов и др. [9]. Он обладает противовоспалительным, анальгезирующим, гипотензивным действием. Ультразвук, влияя на нервно-мышечный аппарат гладкой мускулатуры мочевых путей, усиливает их сокращение и улучшает уродинамику. Под действием ультразвука улучшается секреторная и экскреторная функции почек,

почечный кровоток и др. [9]. Учитывая вышеизложенное, разработанная новая эффективная технология лечения больных с экскреторной и секреторной формами патоспермии и наличием сопутствующих заболеваний имеет большое медицинское и социальное значение. Накожное воздействие ультразвуком на область яичек при экскреторной и секреторной формах патоспермии обладает высокой эффективностью и сокращением сроков лечения, возможностью применения при наличии сопутствующих заболеваний. Воздействие ультразвуком на область яичек у больных с патоспермией способствует усилению локального кровообращения в паренхиме яичек, в том числе извитых семенных каналах яичек, содержащих эпителиосперматогенный слой, состоящий из сперматогенных клеток с разными стадиями развития и поддерживающих эпителиоцитов (клеток Сертоли), лежащих на базальной мембране с близко расположенными кровеносными капиллярами. Это приводит к повышению концентрации фолликулостимулирующего гормона, стимулирующего через клетки Сертоли синтез андрогенсвязывающего белка, переносящего мужские половые гормоны к сперматогенным клеткам, и ЛГ. Последний через клетки Лейдига (расположены между извитыми семенными канальцами вблизи капилляров) стимулирует продукцию тестостерона (андрогена). В результате усиления микроциркуляции большое количество тестостерона попадает в извитые семенные каналцы, активизируя обменные процессы в них и ускоряя образование нормальных сперматозоидов. Поэтому усиление сперматогенеза после применения новой технологии связано с повышением уровня фолликулостимулирующего гормона, лютеинизирующего гормона и тестостерона и уменьшением эстрадиола в крови, а также улучшением микроциркуляции в мужских половых органах, в том числе в яичках и семявыносящих путях у больных с патоспермией. Кроме того, данная технология улучшает копулятивную функцию за счет, по-видимому, рефлекторного усиления локального кровообращения в кавернозной ткани полового члена.

Использование лазерно-ультразвуковой терапии в комплексном лечении больных хроническими обструктивными заболеваниями легких позволяет достигнуть максимального эффекта по критериям: выделение мокроты (количество отделяемой мокроты за сутки); субъективная оценка кашля и мокроты с помощью визуальной аналоговой шкалы; улучшение показателей периферической крови; снижение уровня системных биомаркеров; улучшение функции внешнего дыхания и общего состояния пациентов.

Следует отметить, что, как и при монофакторном воздействии, так и при комбинации физических факторов, важно выделить противопоказания, которые для ультразвукового и фотофакторного сочетанного и комбинированного отпуска. Большинство исследователей отмечают следующие противопоказания:

Общие противопоказания: онкологические заболевания; нарушение двигательных функций (паралич); гипотония, вегетососудистые дисфункции; беременность разных сроков; тромбоз, хронические дерматозы в зоне воздействия; острые инфекционные заболевания; острые и гнойные воспалительные процессы; присутствие в зоне воздействия металлических материалов (протезы и штифты в костях и суставах). Противопоказания при работе на лице: паралич лицевого нерва; невралгия тройничного и глазодвигательного нерва в стадии обострения; состояния после операции на глазном яблоке; гайморит и синуситы в стадии обострения; золотые и платиновые нити; наличие филлеров из полимерных материалов. Противопоказания при работе на теле: внутриматочная спираль (при работе в проекции матки); камни в почках, желчном пузыре и печёночных протоках (при работе в соответствующих проекциях); тромбоз; гвозди, штифты, вследствие остеосинтеза в соответствующих проекциях воздействия. Относительные противопоказания: расширенная капиллярная сеть, розацеа, множественные телеангиоэктазии; костные выступы (лодыжка, надколенник, локоть, скуловые кости, челюсти, др.); ткани с тяжёлым нарушением кровообращения и чувствительностью; нежелательно применять фотофактор и ультразвуковое воздействие на область сердца, головного и спинного мозга; нежелательно воздействие над глазным яблоком (воздействие

ограничивают костным краем орбиты); осторожно подходить к озвучиванию эндокринных органов, вегетативных симпатических узлов и сплетений, лимфатических узлов.

Таким образом, применение таких исследований позволит снизить формирование антибиотикорезистентной флоры, которая чувствительна, как к УФ-А, УФ-В, УФ-С спектру, так и к видимым электромагнитным воздействиям и может быть весьма актуальным в отношении оценки рядов физиологических реакций организма человека, в том числе на ультразвук, который при различных частотах с учетом разной плотности тканей человека, проникает в них и накапливает дифференцированные эффекты.

**Участие авторов:** концепция и дизайн – Куликова Н.Г.; набор и обработка материала – Некрасова А.Н.; статистическая обработка данных – Ткаченко А.С.; написание текста – Некрасова А.Н., Ткаченко А.С.; редактирование – Куликова Н.Г.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.  
**Conflict interest.** The authors declare no conflicts of interest.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Васильева Е. С., Куликова Н. Г. Косметологические программы anti-aging в восстановительной медицине с применением физиотерапевтических технологий. Физиотерапевт, 2019; 1: 63-67.
2. Пономаренко Г. Н. Физиотерапия. ГЭОТАР-Медиа, 2023; 580с.
3. Сьютковский А. А. Методические рекомендации применения аппарата «Аврора». Санкт-Петербург. 2023; 35с.
4. Карпухин И. В., Кияткин В. А., Казанцев С. Н. Медицинская технология применения ультразвуковой терапии на поликлиническом, стационарном и санаторно-курортном этапах медицинской реабилитации больных с патоспермией: пособие для врачей и научных работников. Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2013; 5; 58-66.
5. Колодий А. А., Шатохина Е. А., Халилуллин Р. И. Обзор современных физиотерапевтических методов лечения акне. Медицинский алфавит. 2019; 7(382): 15-18.
6. Монахов С. А. Оптимальные направления наружной противогрибковой терапии. Дерматология в России. 2018; 51: 110-112.
7. Уйба В. В., Котенко К. В., Корчажкина Н. Б., Бабякин А. Ф. Природные и преформированные физические факторы в курортном лечении артроза крупных суставов. Том 1. Пятигорск, 2011.
8. Корчажкина Н. Б., Голобородько Е. В., Капитонова Н. В., Петрова М. С. Применение комплексных немедикаментозных методов при синдроме хронической усталости. В сборнике: Санаторно-курортное оздоровление, лечение и реабилитация больных социально значимыми и профессиональными заболеваниями. 2012; 105-107.
9. Монахов С. А., Бобровская Л. В. Фоточувствительность и антиандрогенная терапия акне. Актуальные вопросы дерматовенерологии, дерматоонкологии и косметологии. Материалы Межрегиональной научно-практической конференции. М., 2018; 54-56.
10. Назаренко А. Р. Влияние широкополосного импульсного света на состав микробиоты кожи у пациентов с акне. Кремлевская медицина. Клинический вестник. 2023; 3: 73-77.
11. Никитин В. А., Попов А. В., Титова Л. А., Ваильева Л. В. Лазерно-ультразвуковая терапия в комплексном лечении хронической обструктивной болезни легких. Туберкулез и болезни легких. 2018; 96(8): 31-36. <https://doi.org/10.21292/2075-1230-2018-96-8-31-36>
12. Корчажкина Н. Б. Методы физиотерапии в дентальной имплантологии : диссертация на соискание ученой степени доктора медицинских наук / Корчажкина Наталья Борисовна. Москва, 2002. 236 с. EDN ТКМВКР.
13. Орехова Э. М., Кончугова Т. В., Кульчицкая Д. Б., Корчажкина Н. Б., Егорова Л. А., Чуич Н. Г. Современные подходы к применению трансцеребральной магнитотерапии при артериальной гипертензии. Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2016; 93(3): 53-55.
14. Ефименко Н. В., Кайсинова А. С., Чалая Е. Н. Санаторно-курортное лечение постковидного синдрома с гастроэнтерологическими проявлениями. Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2024; 101(3-2): 78.
15. Котенко К. В., Епифанов В. А., Епифанов А. В., Корчажкина Н. Б. Боль в спине: диагностика и лечение. Москва, 2016.
16. Котенко К. В., Фролков В. К., Нагорнев С. Н., Корчажкина Н. Б., Гусакова Е. В., Челомбитько Е. Г. Перспективы применения питьевых минеральных вод в реабилитации пациентов с коронавирусной (COVID-19) инфекцией: анализ основных саногенетических механизмов. Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2021; 98(6-2): 75-84.
17. Федоров А. А., Оранский И. Е., Чудинова О. А., Милованкина Н. О. Опыт реализации технологий восстановительной медицины в системе оздоровления работающего населения Среднего Урала. Курортная медицина. 2014; 4: 73-76.
18. Эфендиева М. Т., Бадтиева В. А., Русенко Н. И. Магнийсодержащие минеральные воды в лечении больных с кардиальными проявлениями гастроэзофагеальной рефлюксной болезни. Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2006; 6: 31-34.
19. Поважная Е. С., Пеклун И. В. Адаптационная физиотерапия кожных болезней. Торсуевские чтения: научно-практический журнал по дерматологии, венерологии и косметологии. 2021; 3(33): 64-73.
20. Подчасов В. Н., Ковалевская-Кучерявенко Т. В., Кох Н. В. Высокочастотное ультразвуковое сканирование кожи как метод

- контроля биологической терапии воспалительных заболеваний кожи. Южно-Уральский медицинский журнал. 2022; 1: 17-31.
21. Сапожников О. А., Хохлова В. А., Андреев В. Г. Мощный фокусированный ультразвук для неинвазивной хирургии: монография. 2021; 206 с.
  22. Тутова А. Ю., Перепелкина М. Ультразвук в медицине. Вестник науки. 2020; 3(1): 206-208.
  23. Резников И. И., Федорова В. Н., Фаустов Е. В. [и др.] Физические основы использования ультразвука в медицине: учебное пособие. М: Российский национальный исследовательский университет им. Н.И. Пирогова, 2015; 97 с.
  24. Щербаков Р. Н. Первейший русский физик-философ. Успехи физических наук (К 175-летию со дня рождения Н.А. Умова). 2020; с. 1-9. <https://ufn.ru/tribune/trib132.pdf> (дата обращения: 30.04.2021).
  25. Arsiwala N Z, Inamadar A C, Aadya K A. A Comparative Study to Assess the Efficacy of Fractional Carbon Dioxide Laser and Combination of Fractional Carbon Dioxide Laser with Topical Autologous Platelet-rich Plasma in Post-acne Atrophic Scars. *J Cutan Aesthet Surg.* 2020; 13(1): 11-17.
  26. Daood U, Fawzy A S. Macrophage response and surface analysis of dental cementum after treatment with high intensity focused ultrasound. *Arch Oral Biol.* 2019; 98: 195–203. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2018.10.019>
  27. Daood U, Fawzy A S, Kaur H, El-Bialy T. Shortening of Overall Orthodontic Treatment Duration with Low-Intensity Pulsed Ultrasound (LIPUS). *J Clin Med.* 2020; 9(5): 1303. <https://doi.org/10.3390/jcm9051303>
  28. Hranchi A, Badiie M, Younessian F. [et al.] Effect of Low-intensity Pulsed Ultrasound on Postorthognathic Surgery Healing Process. *Ann Maxillofac Surg.* 2017; 7(1): 25-29. [https://doi.org/10.4103/ams.ams\\_57\\_17](https://doi.org/10.4103/ams.ams_57_17)
  29. Rangel K, Cabral F O, Lechuga G C. [et al.] Effectiveness evaluation of a UV-C-photoactivator against selected ESKAPE-E pathogens. *Int J Environ Res Public Health.* 2022; 19(24): 16559.
  30. Zhong H, Li X, Zhang W [et al.] Efficacy of a New Non-drug Acne Therapy: Aloe Vera Gel Combined With Ultrasound and Soft Mask for the Treatment of Mild to Severe Facial Acne. *Front Med (Lausanne).* 2021; 8: 662640. <https://doi.org/10.3390/ijerph192416559>
  31. Kruglikov I L, Scherer P E. Caveolin as a universal target in dermatology. *Int J Mol Sci.* 2019; 21(1): 80.
  32. Kruglikov I L, Scherer P E. Caveolin-1 as a pathophysiological factor and target in psoriasis. *NPJ Aging Mech Dis.* 2019; 5(1): 4.
  33. Физическая и реабилитационная медицина : Национальное руководство / К. В. Котенко, С. А. Ковалев, Г. П. Абусева [и др.]. 2-е издание, переработанное и дополненное. Москва: "ГЭОТАР-Медиа", 2023; 912 с. ISBN 978-5-9704-7710-6. EDN STQNKВ.
  34. McDicken W N, Anderson T. Basic physics of medical ultrasound. Chapter 1. <https://www.shdmu.com/uploadfile/files/20120629063208.pdf> (date of address: 21.06.2021).
  35. McGinn C, Scott R, Ryan C. Rapid disinfection of radiology treatment rooms using an autonomous ultraviolet germicidal irradiation robot. *Am J Infect Control.* 2022; 50(8): 947 – 953.
  36. Kim Y J, Moon I J, Lee H W. [et al.] The Efficacy and Safety of Dual-Frequency Ultrasound for Improving Skin Hydration and Erythema in Patients with Rosacea and Acne. *J Clin Med.* 2021; 10(4): 834.
  37. Astrid F, Beata Z, Van den Nest M. [et al.] The use of a UV-C disinfection robot in the routine cleaning process: a field study in an Academic hospital. *Antimicrob Resist Infect Control.* 2021; 10(1): 84.

## REFERENCES

1. Vasil'eva E S, Kulikova N G. Anti-aging cosmetology programs in restorative medicine using physiotherapeutic technologies. *Fizioterapevt*, 2019; 1: 63-67. (In Russian)
2. Ponomarenko G. N. *Fizioterapiya*. GEOTAR-Media, 2023. (In Russian)
3. S'kyutovskij A A. *Metodicheskie rekomendacii primeneniya apparata «Avrora»*. Sankt-Peterburg, 2023. (In Russian)
4. Karpuhin I V, Kiyatkin V A, Kazancev S N. Medical technology of using ultrasound therapy at the outpatient, inpatient and sanatorium-resort stages of medical rehabilitation of patients with pathospermia: a manual for doctors and researchers. *Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoj fizicheskoy kul'tury*. 2013; 5: 58-66. (In Russian)
5. Kolodij A A, SHatohina E A, Halilullin R I. Review of modern physiotherapeutic methods for acne treatment. *Medicinskij alfavit*. 2019; 7(382): 15-18. (In Russian)
6. Monahov S A. Optimal Directions for External Anti-Acne Therapy. *Dermatologiya v Rossii*. 2018; 51: 110-112. (In Russian)
7. Ujba V V, Kotenko K V, Korchazhkina N B, Babyakin A F. *Prirodnye i preformirovannye fizicheskie faktory v kurortnom lechenii artroza krupnyh sustavov*. Tom 1. Pyatigorsk, 2011. (In Russian)
8. Korchazhkina N B, Goloborod'ko E V, Kapitonova N V, Petrova M S. *Primenenie kompleksnyh nemedikamentoznyh metodov pri sindrome hronicheskoy ustalosti*. [The conference proceedings] Sanatorno-kurortnoe ozdorovlenie, lechenie i reabilitaciya bol'nyh social'no znachimymi i professional'nymi zabollevanijami. 2012; 105-107. (In Russian)
9. Monahov S A, Bobrovskaya L V. *Fotochuvstvitel'nost' i antiandrogennaya terapiya akne*. Aktual'nye voprosy dermatovenerologii, dermatoonkologii i kosmetologii. [The conference proceedings]. M., 2018; 54-56. (In Russian)
10. Nazarenko A R. Effect of broadband pulsed light on skin microbiota composition in acne patients. *Kremlevskaya medicina. Klinicheskij vestnik*. 2023; 3: 73-77. (In Russian)
11. Nikitin V A, Popov A V, Titova L A, Vail'eva L V. Laser-ultrasound therapy in the complex treatment of chronic obstructive pulmonary disease. *Tuberkulez i bolezni legkih*. 2018; 96(8): 31-36. (In Russian)
12. Korchazhkina N B. *Metody fizioterapii v dental'noj implantologii*. [Dissertation] Moskva, 2002.
13. Orekhova E M, Konchugova T V, Kul'chickaya D B, Korchazhkina N B, Egorova L A, CHuich N G. Modern approaches to the use of transcerebral magnetic therapy in arterial hypertension. *Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoj fizicheskoy kul'tury*. 2016; 93(3): 53-55. (In Russian)
14. Efimenko N V, Kajsinova A S, CHalaya E N. Sanatorium and resort treatment of post-covid syndrome with gastroenterological manifestations. *Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoj fizicheskoy kul'tury*. 2024; 101(3-2): 78. (In Russian)
15. Kotenko K V, Epifanov V A, Epifanov A V, Korchazhkina N B. *Bol' v spine: diagnostika i lechenie*. Moskva, 2016. (In Russian)
16. Kotenko K V, Frolkov V K, Nagornev S N, Korchazhkina N B, Guskova E V, CHelombit'ko E G. Prospects for the use of drinking mineral waters in the rehabilitation of patients with coronavirus (COVID-19) infection: analysis of the main sanogenetic

- mechanisms. *Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoj fizicheskoy kul'tury*. 2021; 98(6-2): 75-84. (In Russian)
17. Fedorov A A, Oranskij I E, CHudinova O A, Milovankina N O. Experience of implementing restorative medicine technologies in the health improvement system of the working population of the Middle Urals. *Kurortnaya medicina*. 2014; 4: 73-76. (In Russian)
  18. Efendieva M T, Badtieva V A, Rusenko N I. Magnesium-containing mineral waters in the treatment of patients with cardiac manifestations of gastroesophageal reflux disease. *Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoj fizicheskoy kul'tury*. 2006; 6: 31-34. (In Russian)
  19. Povazhnaya E S, Peklun I V. Adaptive physiotherapy of skin diseases. *Torsuevskie chteniya: nauchno-prakticheskij zhurnal po dermatologii, venerologii i kosmetologii*. 2021; 3(33): 64-73. (In Russian)
  20. Podchasov V N, Kovalevskaya-Kucheryavenko T V, Koh N V. High-frequency ultrasound scanning of the skin as a method for monitoring biological therapy of inflammatory skin diseases. *YUzhno-Ural'skij medicinskij zhurnal*. 2022; 1: 17-31. (In Russian)
  21. Sapozhnikov O A, Hohlova V A, Andreev V G. *Moshchnyj fokusirovannyj ul'trazvuk dlya neinvazivnoj hirurgii: monografiya*. 2021. (In Russian)
  22. Tutova A YU, Perepelkina M. Ultrasound in medicine. *Vestnik nauki*. 2020; 3(1): 206-208. (In Russian)
  23. Reznikov I I, Fedorova V N, Faustov E V. [i dr.] *Fizicheskie osnovy ispol'zovaniya ul'trazvuka v medicine: uchebnoe posobie*. M., 2015. (In Russian)
  24. SHCHerbakov R N. Perveshij russkij fizik-filosof. *Uspekhi fizicheskikh nauk (K 175-letiyu so dnya rozhdeniya N.A. Umova)*. 2020. <https://ufn.ru/tribune/trib132.pdf> (date of address: 30.04.2021). (In Russian)
  25. Arsiwala N Z, Inamadar A C, Adya K A. A Comparative Study to Assess the Efficacy of Fractional Carbon Dioxide Laser and Combination of Fractional Carbon Dioxide Laser with Topical Autologous Platelet-rich Plasma in Post-acne Atrophic Scars. *J Cutan Aesthet Surg*. 2020; 13(1): 11-17.
  26. Daood U, Fawzy A S. Macrophage response and surface analysis of dental cementum after treatment with high intensity focused ultrasound. *Arch Oral Biol*. 2019; 98: 195-203. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2018.10.019>
  27. Daood U, Fawzy A S, Kaur H, El-Bialy T. Shortening of Overall Orthodontic Treatment Duration with Low-Intensity Pulsed Ultrasound (LIPUS). *J Clin Med*. 2020; 9(5): 1303. <https://doi.org/10.3390/jcm9051303>
  28. Hranchi A, Badiee M, Younessian F. [et al.] Effect of Low-intensity Pulsed Ultrasound on Postorthognathic Surgery Healing Process. *Ann Maxillofac Surg*. 2017; 7(1): 25-29. [https://doi.org/10.4103/ams.ams\\_57\\_17](https://doi.org/10.4103/ams.ams_57_17)
  29. Rangel K, Cabral F O, Lechuga G C. [et al.] Effectiveness evaluation of a UV-C-photoactivator against selected ESKAPE-E pathogens. *Int J Environ Res Public Health*. 2022; 19(24): 16559.
  30. Zhong H, Li X, Zhang W [et al.] Efficacy of a New Non-drug Acne Therapy: Aloe Vera Gel Combined With Ultrasound and Soft Mask for the Treatment of Mild to Severe Facial Acne. *Front Med (Lausanne)*. 2021; 8: 662640. <https://doi.org/10.3390/ijerph192416559>
  31. Kruglikov I L, Scherer P E. Caveolin as a universal target in dermatology. *Int J Mol Sci*. 2019; 21(1): 80.
  32. Kruglikov I L, Scherer P E. Caveolin-1 as a pathophysiological factor and target in psoriasis. *NPJ Aging Mech Dis*. 2019; 5(1): 4.
  33. Kotenko K V, Kovalev S A, Abuseva G R. [i dr.]. *Fizicheskaya i reabilitacionnaya medicina: Nacional'noe rukovodstvo*. Moskva: "GEOTAR-Media", 2023. (In Russian)
  34. McDicken W N, Anderson T. Basic physics of medical ultrasound. Chapter 1. <https://www.shdmu.com/uploadfile/files/20120629063208.pdf> (date of address: 21.06.2021).
  35. McGinn C, Scott R, Ryan C. Rapid disinfection of radiology treatment rooms using an autonomous ultraviolet germicidal irradiation robot. *Am J Infect Control*. 2022; 50(8): 947 – 953.
  36. Kim Y J, Moon I J, Lee H W. [et al.] The Efficacy and Safety of Dual-Frequency Ultrasound for Improving Skin Hydration and Erythema in Patients with Rosacea and Acne. *J Clin Med*. 2021; 10(4): 834.
  37. Astrid F, Beata Z, Van den Nest M. [et al.] The use of a UV-C disinfection robot in the routine cleaning process: a field study in an Academic hospital. *Antimicrob Resist Infect Control*. 2021; 10(1): 84.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Куликова Наталья Геннадьевна**, д-р мед. наук, профессор, Академик РАМТН, главный научный сотрудник Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России, Москва, Россия и заведующая кафедрой физиотерапии ФГАОУ ВО Российский университет дружбы народов (РУДН) Минобрнауки РФ, г. Москва; e-mail: kulikovang777@mail.ru, <https://org/0000-0002-6895-0681>

**Ткаченко Альбина Сергеевна**, канд. мед. наук, доцент кафедры физиотерапии факультета непрерывного медицинского образования ФГАОУ ВО Российский университет дружбы народов (РУДН) Минобрнауки РФ, г. Москва; e-mail: rockstartofutre@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8506-8562>

**Некрасова Анна Николаевна**, врач-дерматолог, заведующий лабораторией кафедры физиотерапии ФГАОУ ВО «Российский университет им. П. Лумумбы» (РУДН) Минобрнауки РФ, руководитель медицинского лечебно-косметологического центра «Ремейк» г. Москва; E-mail: ANevckya@maile.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8506-8562>