

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2022

Саркисян Н.Г., Пасхина А.И., Шагеев Г.Ю., Меликян С.Г.

ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В МЕДИЦИНСКОЙ ПРАКТИКЕ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России, 620028, Екатеринбург, Россия

В настоящее время в медицине широко применяются физиотерапевтические методы. Одним из них является использование ультрафиолетового (УФ) излучения. Оно обладает широким спектром биологических эффектов. Цель данного обзора литературы — определение возможности применения УФ-излучения в медицине, в частности в стоматологии. **Материал и методы.** В данной статье были изучены оригинальные научные работы с использованием следующих баз данных: PubMed, Google School, eLibrary, РИНЦ, UpToDate, Elsevier, Scopus. Нами было рассмотрено 65 статей англо- и русскоязычных авторов. При поиске научных работ для определения возможности применения УФ в медицине было решено разделить его применение на 4 основных раздела: влияние на организм, дезинфекция, диагностика и лечение. **Результат.** УФ является эффективным средством, используемым при лечении различных соматических и стоматологических заболеваний. Возможно применять ультрафиолетовое излучение в качестве дополнительного антисептического средства, обладающего малым количеством побочных эффектов.

Ключевые слова: ультрафиолет; стоматология; медицина; дезинфекция; антисептика.

Для цитирования: Саркисян Н.Г., Пасхина А.И., Шагеев Г.Ю., Меликян С.Г. Применение ультрафиолетового излучения в медицинской практике. *Клиническая медицина*. 2022;100(6):278–284. DOI: <http://dx.doi.org/10.30629/0023-2149-2022-100-6-278-284>

Для корреспонденции: Шагеев Глеб Юрьевич — e-mail: shagagleb@gmail.com

Sarkisyan N.G., Pashkina A.I., Shageev G.Y., Melikyan S.G.

THE USE OF ULTRAVIOLET RADIATION IN MEDICAL PRACTICE

Ural State Medical University, 620028, Yekaterinburg, Russia

Currently, different physiotherapy methods are widely used in medicine. One of these methods is ultraviolet (UV) treatment. It is frequently used in healthcare practice as a disinfectant. However, it has a wide range of biological effects. **The aim** of this study is to summarize known effects of ultraviolet radiation and evaluate applications of UV treatment in medicine, especially in dentistry. **Methods.** We conducted literature review using PubMed, Google School, eLibrary, РИНЦ, UpToDate, Elsevier, Scopus databases. 65 articles were analyzed during the research. The study is divided into 4 sections describing biological effect of UV and its usage in disinfection, diagnosis and treatment. **Results.** The study confirms that UV is an effective method used for treating somatic and dental diseases. The results show potential benefits of UV application as an additional antiseptic and disinfectant that has very few side effects.

Keywords: ultraviolet; dentistry; medicine; disinfection; antiseptics.

For citation: Sarkisyan N.G., Pashkina A.I., Shageev G.Y., Melikyan S.G. The use of ultraviolet radiation in medical practice. *Klinicheskaya meditsina*. 2022;100(6):278–284. DOI: <http://dx.doi.org/10.30629/0023-2149-2022-100-6-278-284>

For correspondence: Shageev Gleb Yurievich — e-mail: shagagleb@gmail.com

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

Acknowledgments. The study had no sponsorship.

Received 25.03.2022

Влияние на организм человека

Организм человека ежедневно подвергается воздействию ультрафиолетового (УФ) излучения. Большую часть дозы ультрафиолета человек получает во время пребывания на улице и инсоляции. УФ-излучение принято делить на 3 группы в зависимости от длины волны: УФ-А соответствует длина волны 315–400 нм, УФ-В — 280–315 нм, УФ-С — 100–280 нм [1].

Влияние на кожу

Существует обратная зависимость между длиной волны и энергией излучения, то есть чем короче длина волны, тем выше ее проникающая активность. УФ-В способен глубже проникать в эпидермис, чем УФ-А, который обладает более низкой энергией фотонов. Однако эпидермис содержит большое количество макромолекул, которые поглощают УФ-В-излучение практически полностью, но менее эффективно поглощают УФ-А, из-

за чего эти лучи способны проникать на глубину дермы и воздействовать на нее [2]. УФ-В-лучи, проникающие в кожу, воздействуют на меланоциты, вызывая увеличение продукции меланина. Меланин действует как экран, поглощающий поступающее излучение и преобразующий это излучение в тепло [3].

УФ-В оказывает прямое повреждающее действие, вызывая образование циклопиримидиновых димеров и пиримидин-пиримидиновых фотопродуктов, обладающих мутагенными свойствами [4]. УФ-А, глубже проникающий в кожу, способен вызывать образование активных форм кислорода, которые повреждают РНК- и ДНК-клетки, приводят к нарушению регуляции экспрессии антиоксидантных генов, генов, детоксифицирующих липиды, и генов регуляции клеточного цикла [5]. Кроме прямого повреждающего действия, активные формы кислорода могут приводить к возникновению фоточувствительности [6]. Ультрафиолетовое излучение ин-

дуцирует апоптоз кератиноцитов в течение 48 ч после облучения, вызывает воспалительный ответ организма, миграцию нейтрофилов и макрофагов, выделение цитокинов [7]. При воздействии на ДНК клетки ультрафиолет может вызывать мутации в некоторых генах. При возникновении мутации в гене-супрессоре опухолей p53 возможна неограниченная пролиферация клеток эпидермиса, приводящая к актиническому кератозу. Наличие повреждения в обоих аллелях гена-супрессора опухолей p53 может стать причиной развития плоскоклеточного рака кожи. Излишняя инсоляция также может привести к развитию другой крайне агрессивной опухоли — меланоме. В восстановлении ДНК после воздействия УФ-излучения участвует механизм эксцизионной репарации нуклеотидов [8]. Наличие наследственного дефекта в данном механизме может быть причиной некоторых заболеваний, например пигментной ксеродермы, синдрома Коккейна, синдрома чувствительности к УФ и трихотриодистрофии. УФ-А, проникающий в толщу дермы, нарушает образование коллагена и вызывает преждевременное старение кожи.

Несмотря на негативное действие УФ-излучения, оно необходимо для правильного роста и развития организма человека. При воздействии УФ-В с длиной волны 290–350 нм происходит синтез витамина D₃ из 7-дегидрохолестерола [9]. Витамин D способен связываться с ядерными рецепторами многих клеток и тканей, таких как макрофаги, мозг, молочные железы, простата, кишечник, кожа, и активировать генетическую информацию, которая кодирует процессы восстановления ДНК, пролиферацию и дифференциацию клеток [10].

Влияние на нервную систему

Ультрафиолетовое излучение играет большую роль в регуляции циркадных ритмов. В глазах человека имеются рецепторы, воспринимающие излучение в синем спектре, которое вызывает снижение выработки мелатонина [11]. Воздействие малых доз УФ-А и УФ-В вызывает синтез бета-эндорфина в кератиноцитах, что приводит к улучшению настроения.

Воздействие на сердечно-сосудистую систему

А. Juzeniene и соавт. [12] в своем исследовании указывают, что под действием УФ-излучения клетки кожи человека способны синтезировать оксид азота (NO), который является вазодилататором, помогает снижать давление и улучшать оксигенацию миокарда.

Использование УФ-света в медицинской практике

Широкий диапазон свойств УФ-света дает возможность использовать его в различных областях медицины. Большое количество его эффектов обусловлено различной длиной волны, в зависимости от которой определяется область применения.

Дезинфекция

УФ-свет активно используется в качестве современного способа дезинфекции. Он широко используется в практическом здравоохранении: с его помощью мож-

но дезинфицировать больничные помещения и воздух, одежду и медицинские маски, предметы, находившиеся в контакте с биологическими жидкостями — отпечатки и регистраторы окклюзии, некоторые предметы гигиены — зубные щетки, а также возможна дезинфекция труднодоступных участков — корневых каналов.

Во время пандемии COVID-19 врачи-стоматологи из-за прямого контакта с ротовой полостью пациента, жидкостями организма и переносимыми по воздуху патогенами подверглись высокому профессиональному риску заражения коронавирусом [14]. В условиях пандемии необходимо уделять особое внимание дезинфекции стоматологического оборудования.

Важность дезинфекции больничных помещений была показана в исследовании, проведенном в Сингапуре, где вирусная РНК была обнаружена почти на всех протестированных поверхностях в палате пациента несмотря на то, что у пациента наблюдались лишь легкие симптомы COVID-19 [15]. Поэтому стоматологический персонал может заразиться патогенами, передаваемыми при прямом контакте с каплями слюны пациента, косвенно — через поверхности и инструменты, которые контактировали с пациентом, а также при вдыхании переносимых по воздуху микроорганизмов [16].

В действии коротковолнового излучения на живой организм наибольший интерес представляет влияние УФ-лучей на биополимеры — белки и нуклеиновые кислоты. УФ-излучение способно вызывать фотолиз и денатурацию этих веществ. При облучении светом определенной длины волны электрический заряд молекул уменьшается, они теряют свою активность — ферментную, гормональную, антигенную и проч. Процессы фотолиза и денатурации белков идут параллельно и независимо друг от друга. Они вызываются разными диапазонами излучения: лучи 280–302 нм вызывают главным образом фотолиз, а 250–265 нм — преимущественно денатурацию.

В связи с активностью ультрафиолета в отношении биологических молекул УФ-метод дезинфекции пытались использовать как замену традиционным методам дезинфекции отпечатных масс. Но исследователи не пришли к единому мнению по данному вопросу. В ра-

Области применения УФ-излучения [13]

Длина волны	Область применения
230–400 нм	Оптические сенсоры, различное оборудование
240–280 нм	Дезинфекция, обеззараживание поверхностей и воды (поглощение ДНК имеет пик на 260 нм)
200–400 нм	Судебно-медицинский анализ, обнаружение наркотиков
270–360 нм	Анализ белков, секвенирование ДНК, открытие лекарств
280–400 нм	Медицинская визуализация клеток
300–320 нм	Световая терапия в медицине, эффективное долгосрочное лечение многих видов кожи
300–365 нм	Отверждение полимеров

боте М.Т. AL-Khafagy и соавт. [17] был сделан вывод, что силиконовый оттиск можно стерилизовать УФ-светом при экспозиции в течение 20 мин. Т. Ларсен и соавт. [18] установили, что эффект от УФ-излучения был различен для разных видов бактерий и зависел от содержания органических веществ в растворе. Как правило, уменьшение количества бактерий после УФ-излучения было ниже допустимого значения и, таким образом, недостаточным для дезинфекции зубных слепков.

На основании этих работ можно сказать, что полученные данные противоречивы. Требуется глубже изучить возможность использования ультрафиолетового излучения для дезинфекции оттисковых масс.

Дезинфицировать УФ-светом можно не только оттисковые массы, но и корневые каналы, то есть воздействовать на ткани макроорганизма. Корневые каналы инфицировали *ex vivo* *Enterococcus faecalis* в течение 48 ч. Неприкрепленные бактерии были смыты, а оставшиеся прикрепленные бактерии были подвергнуты дезинфекции 5% гипохлоритом натрия и УФ-облучением (254 нм). Затем корневые каналы проверяли на наличие оставшихся жизнеспособных бактерий. Использование только гипохлорита натрия дало отрицательные посевы в 47% случаев, использование же гипохлорита натрия с последующим УФ-облучением в 96% давало отрицательный посев. Этот статус сохранялся и через 14 дней [19]. То есть УФ-свет в комбинации с антисептиком можно использовать в качестве немедленной дезинфекции инфицированных корневых каналов.

Также УФ-свет пытались использовать для дезинфекции зубных щеток. В одном из исследований сравнивали дезинфекцию зубных щеток с использованием бытовой микроволновой печи и коммерческого дезинфицирующего устройства для зубных щеток с УФ-светом. Оказалось, что микроволновое излучение лучше справляется с дезинфекцией зубных щеток, нежели УФ-облучение. В подтверждении этому говорит и другая исследовательская работа, в которой *Streptococcus mutans* пытались устранить различными способами и сравнивали эффективность этих методов. Исследование показало, что УФ-свет существенно уменьшал количество бактерий, но снижение количества *S. mutans* было менее значительным, чем у всех других оцениваемых способов дезинфекции [20]. Проанализировав эти исследования, можно сделать вывод, что УФ-излучение в качестве дезинфекции зубных щеток не обладает наилучшим эффектом, но дезинфицирующее действие не отсутствует как таковое.

Определенное внимание было уделено конкретной длине волны (254 нм) в одной из исследовательских работ, где изучалась чувствительность бактерий полости рта к УФ-свету. Важно заметить, что исследователи сделали акцент не только на определенной длине волны, но и на разнице дезинфицирующего действия этой волны на бактерий полости рта как на отдельные клетки, так и на экспериментальную модель, состоящую из нескольких слоев бактериального материала [21].

Чувствительность бактерий полости рта как отдельных клеток к УФ-свету проверяли, подвергая планшеты

с полосами бактерий УФ-излучению 254 нм при плотности энергии 1–20 мДж. Прямое воздействие относительно низких доз УФ-излучения (2–7 мДж) эффективно уничтожило все штаммы бактерий. Но при действии на бактериальный многослойный материал дозу УФ-света необходимо было увеличить в 10 раз, чтобы достичь 100% уничтожения бактерий во внутреннем слое. S. Uchinuma и соавт. [22] проводили опыты на карисогенных бактериях *in vitro* на таких длинах волн, как 265 нм (УФ-С) и 310 нм (УФ-В). Прямое облучение УФ-светодиодами, как УФ-В, так и УФ-С, оказало бактерицидное действие. УФ-В показал более высокий бактерицидный эффект при прохождении через дентин толщиной 0,5 мм, чем УФ-С, особенно после деминерализации. Однако УФ-С, все же оказывая антимикробное действие на отдельные слои *Streptococcus mutans*, имеет ограниченное действие на бактериальные колонии в биопленке [23].

Диагностика

УФ-излучение обладает уникальными особенностями. Изменение освещения различных поверхностей при действии ультрафиолета или явление флуоресценции нашло применение во многих отраслях медицины, включая стоматологию. УФ-излучение используется для диагностики кариозных поражений, выявления сколов и трещин, участков микроподтекания, скопления бактерий и в судебной стоматологии.

В реставрационных материалах возможно воспроизвести только то, что было выделено, понято и передано в процессе подбора цвета естественного зубного ряда [24]. В этом смысле флуоресценция под действием УФ-лучей является ключевой особенностью реставрационных материалов, поскольку они имитируют оптические свойства и внешний вид естественных зубов [25]. В идеале реставрационный материал должен иметь флуоресценцию, аналогичную флуоресценции естественных зубов. Фактически флуоресценция становится все более важной из-за широкого использования искусственного освещения с синим или УФ-излучением [26].

Композиты становятся все более популярными в качестве реставрационных материалов. Наличие композитных реставраций представляет проблему для клинициста и судебного одонтолога, поскольку обнаружение пломб может быть затруднено как визуально, так и рентгенологически. Было принято решение использовать небольшие светодиодные фонарики, излучающие свет на определенных длинах волн в УФ-диапазоне. Исследования были проведены с целью продемонстрировать практическое использование УФ-излучения в стоматологическом осмотре с примерами флуоресценции различных материалов. Результаты показали, что композиты различных фирм флуоресцируют на разных длинах волн и с разной интенсивностью. На практике оказалось, что наиболее полезные длины волн для обнаружения композитов находятся в диапазоне УФ-А (365 и 380 нм) [27].

УФ-свет помогает увеличить оптический контраст между кариозной зоной и окружающей здоровой тканью

зуба за счет разницы в областях с пониженным содержанием минералов, таких как кариес зубов, искусственная деминерализация или пороки развития [28]. Кариозные поражения в твердых тканях зубов флуоресцируют при воздействии света определенной длины волны, в то время как здоровые ткани нет, и это также можно использовать в качестве гистологического маркера кариеса зубов *in vitro* [29]. Что касается спектров флуоресценции на определенной длине волны для обнаружения кариеса, были изучены различные длины волн, такие как 488 [30–32], 407 [33], 400–420 [34], 337 [35] и 405, 444 и 532 нм [36].

F. Sundstrom и соавт. [37] регистрировали спектры флуоресценции эмали и дентина, освещенных лазерным светом с длинами волн 337, 488, 515 и 633 нм. В обеих тканях флуоресценция, полученная при освещении на 337 нм (УФ-свет), имела пик при ~400 нм, а освещение 488 нм давало флуоресценцию с пиком при ~540 нм. По сравнению с неповрежденной эмалью флуоресценция эмали с начальными кариозными поражениями была меньшей интенсивности и имела небольшое красное смещение. Таким образом, был сделан вывод, что излучение с длиной волны 488 нм было наиболее подходящим из тех, что были исследованы для обнаружения начальных кариозных поражений.

Идентификация тел погибших становится необходимой в случаях массовых бедствий, которые могут быть вызваны природными явлениями, например наводнениями, землетрясениями или техногенными событиями, такими как террористические акты или авиакатастрофы. Важность осмотра зубов была показана S. Dahal и соавт. [38], когда большая часть погибших в авиакатастрофе в Sita Air были опознаны по зубам. Аналогичным образом в 2007 г. С.Р. Campobasso и соавт. [39] использовали сравнение зубов и сравнение лобной пазухи при идентификации двух обгоревших тел. Когда композитная реставрация подвергается воздействию УФ-света, она флуоресцирует, делая ее отличной от соседних структура зуба [40]. Ультрафиолетовые светодиодные фонари могут использоваться в качестве вспомогательного средства при посмертном стоматологическом обследовании, чтобы помочь в нахождении композитных реставраций. Принцип идентификации зубов основан на сравнении предсмертных и посмертных стоматологических данных. Уникальность совпадающих предсмертных и посмертных стоматологических данных помогает в установлении личности [41]. A.S. Hermanson и соавт. [42] настоятельно рекомендовали использовать УФ-освещение при судебно-стоматологической экспертизе, поскольку оно может помочь в идентификации по наличию композитных реставраций. Важность судебной одонтологии в идентификации жертв в этих случаях может быть четко прослежена, и это также подчеркивалось различными авторами [38, 41, 43].

Лечение

УФ-излучение обладает широким спектром биологического действия, что обуславливает его активное использование при лечении различных заболеваний. УФ-

излучение является основой фототерапии. Чаще всего фототерапия используется при лечении различных дерматозов — псориаза, витилиго, атопического дерматита, красного плоского лишая [44]. Среди методов выделяют фотохимиотерапию в комбинации с псораленом и селективную фототерапию.

Благодаря бактерицидной активности, УФ-излучение можно использовать при обработке раневых поверхностей и для предотвращения развития послеоперационного инфицирования раны. В исследовании M. Buonanno и соавт. [45] показано, что УФ с длиной волны 207 нм может быть использован для обработки ран, так как он не проникает глубже рогового слоя кожи и не вызывает повреждения ДНК клетки и воспаления и при этом проявляет достаточный бактерицидный эффект. Обработка ожоговых ран с помощью УФ позволяет ускорить процессы эпителизации раны и снижает уровень обсемененности микроорганизмами [46]. УФ-В с длиной волны 305–315 нм обладает иммуносупрессирующей способностью благодаря воздействию на ДНК клеток, и это используется при лечении воспалительных заболеваний кожи и слизистых оболочек. Также УФ-В-излучение выступает как экспериментальный метод лечения полипоза носа. В данном случае используется способность УФ-излучения вызывать апоптоз некоторых клеток, например эозинофилов и Т-клеток [47]. При использовании УФ-В для лечения слизистой оболочки носа канцерогенный эффект, связанный с повреждением ДНК, не обнаружен [48]. Elle (Yueqiao) Wang в своем исследовании провела оценку состояния здоровья пациентов с кожными заболеваниями, получающими фототерапию, и не обнаружила корреляции между УФ-терапией и частотой возникновения рака кожи [49].

В стоматологии возможно применение УФ-излучения в качестве антисептического средства. Имеются данные о возможности применения эксимерных лазеров (разновидность ультрафиолетового газового лазера) для обработки корневых каналов [50]. Эксимерный лазер с длиной волны 307 нм применялся для лечения заболевания слизистой оболочки полости рта и в эндодонтии. Но он уступает по эффективности лазерам, использующим излучение с другой длиной волны. Разными исследователями отмечается, что глубина проникновения УФ-излучения в ткани составляет от 0,3 до 1 мм [45, 51]. Однако, согласно другому исследованию, УФ-излучение больше поглощается дентином, чем видимый свет и инфракрасное излучение, а также обладает самой низкой трансмиссией, что, возможно, будет ограничивать проникновение лучей в толщу дентина и вероятность глубокой дезинфекции дентинных трубочек [52]. По данным K. Köllner и соавт., ультрафиолетовое излучение улучшает заживление, уменьшает боль и снижает частоту рецидивов у больных с красным плоским лишаем [53]. Однако сообщается о побочных эффектах лечения, таких как покраснение, отек и боль.

Согласно исследованиям, стандартные методы медикаментозной обработки корневых каналов не способны обеспечить полную элиминацию бактерий [54, 55].

Для более эффективной обработки возможно использование дополнительных методов, таких как облучение УФ. При механической обработке корневых каналов с использованием 3% гипохлорита натрия, 17% ЭДТА в 53% случаев был обнаружен детрит в области дентинных канальцев. Однако при добавлении к традиционной медикаментозной обработке последующего облучения УФ с длиной волны 255 нм распространенность детрита в дентинных канальцах снизилась до 20% [56].

УФ оказался эффективным при использовании в комплексном лечении пациентов с хроническим генерализованным пародонтитом тяжелой и средней степени тяжести. Обработка десневых каналов у таких пациентов позволяет уменьшить количество пародонтогенной флоры и понизить индекс РМА до легкой степени [57]. В исследовании *in vitro* N. Aung и соавт. [58] обнаружили, что УФ-излучение с длиной волны 265 и 285 нм приводит к гибели фибробластов человека, в то время как излучение с длиной волны 310 нм вызывает гибель пародонтогенной флоры и оказывает гораздо меньшее отрицательное влияние на фибробласты. Также использование этого типа излучения способно уменьшить воспалительную реакцию благодаря увеличению выработки интерлейкина-10 и снижению количества Т-клеток, что может благоприятно влиять на течение хронического пародонтита [59]. У пациентов с хроническим генерализованным сложным периодонтитом кроме общепринятого курса лечения (снятие зубных отложений, ортодонтические и ортопедические мероприятия) для стабилизации патологического процесса необходимо использовать вакуум-УФО-терапию. Включение ее в комплекс лечебно-профилактических мероприятий позволило исключить применение местной лекарственной противовоспалительной терапии, сократить сроки подготовительного этапа на 6,9 сут, 71,9% пациентов отмечали положительные результаты лечения, и микроциркуляцию десны наблюдали в пределах нормы [60].

Применение УФ-излучения в качестве дополнительного метода совместно с медикаментозной терапией привело к ускорению заживления стоматитов различного генеза у детей [61].

УФ-излучение также используется в имплантологии. Облучение поверхности титанового импланта ультрафиолетом, называемое фотофункционализацией, делает ее гидрофильной, ускоряет и улучшает адсорбцию белка на поверхности, что приводит к усилению прикрепления и функции остеобластов. Биомеханическая прочность интеграции кости и титана *in vivo* оказывается выше, когда имплантаты подвергаются УФ-обработке [62–64]. УФ-фотофункционализация может помочь ускорить процесс интеграции имплантов и снизить вероятность отторжения. Обработка УФ-С слизистой после имплантации позволяет понизить количество налета вокруг абатментов [65].

Выводы

Фототерапия активно используется в медицине, в частности в стоматологии, в качестве дополнительного

метода лечения. Наиболее перспективными направлениями являются эндодонтия, пародонтология, лечение заболеваний слизистой оболочки полости рта.

Важность воздействия УФ-излучения достаточно высока, в связи с этим проблема повышения эффективности лечения заболеваний этих направлений остается актуальной и на сегодняшний день. УФ-излучение является эффективным антисептическим средством, и его использование может помочь избежать развития осложнений и инфицирования после стоматологических вмешательств. Важно отметить, что применение УФ-света во многом зависит от длины волны, дозы облучения при локальном воздействии на определенные участки. Для достижения лучших результатов лечения необходимо продолжить поиски оптимальных методов применения УФ-облучения с учетом безопасности и возможности местного применения, особенно в труднодоступных местах.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Hart P.H. et al. Exposure to ultraviolet radiation in the modulation of human diseases. *Annual Review of Pathology: Mechanisms of Disease*. 2019;14:55–81.
- Marionnet C. et al. Diversity of biological effects induced by longwave UVA rays (UVA1) in reconstructed skin. *PLoS one*. 2014;9(8):e105263.
- Mohania D. et al. Ultraviolet radiations: Skin defense-damage mechanism. *Ultraviolet Light in Human Health, Diseases and Environment*. 2017:71–87.
- You Y.H. et al. Cyclobutane pyrimidine dimers are responsible for the vast majority of mutations induced by UVB irradiation in mammalian cells. *Journal of Biological Chemistry*. 2001;276(48):44688–44694.
- Narzt M.S. et al. A «multi-omic» investigation of the effects of long wavelength ultraviolet light on primary human keratinocytes. *Free Radical Biology and Medicine*. 2016;1(96):S67.
- De Jager T.L., Cockrell A.E., Du Plessis S.S. Ultraviolet light induced generation of reactive oxygen species. *Ultraviolet Light in Human Health, Diseases and Environment*. 2017:15–23.
- Craig S., Earnshaw C.H., Virós A. Ultraviolet light and melanoma. *The Journal of pathology*. 2018;244(5):578–585.
- Mullenders L.H.F. Solar UV damage to cellular DNA: from mechanisms to biological effects. *Photochemical & Photobiological Sciences*. 2018;17(12):1842–1852.
- Davydovna G.D. et al. Mechanisms of therapeutic effect of ultraviolet rays and their promoting factors. *International scientific review*. 2019;LVIII.
- Montecino M. et al. Vitamin D control of gene expression: temporal and spatial parameters for organization of the regulatory machinery. *Critical Reviews™ in Eukaryotic Gene Expression*. 2008;18(2).
- Lewy A.J. et al. The phase shift hypothesis for the circadian component of winter depression. *Dialogues in clinical neuroscience*. 2007;9(3):291.
- Juzeniene A., Moan J. Beneficial effects of UV radiation other than via vitamin D production. *Dermato-endocrinology*. 2012;4(2):109–117.
- Panov V., Borisova-Papancheva T. Application of ultraviolet light (UV) in dental medicine. *Journal of Medical and Dental Practice*. 2015;2(2):194–200.
- Tysiąc-Miśta M. et al. Air disinfection procedures in the dental office during the COVID–19 pandemic. *Medycyna pracy*. 2021;72(1):39–48.
- Ong S.W.X. et al. Air, surface environmental, and personal protective equipment contamination by severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) from a symptomatic patient. *JAMA*. 2020;323(16):1610–1612.
- Morawska L., Cao J. Airborne transmission of SARS-CoV-2: The world should face the reality. *Environment international*. 2020;139:105730.

17. AL-Khafagy M.T., AL-Yasiri I.K., Hamed S.J. Disinfection of Alginate and silicon impressions by using UV and blue light (*in vivo* study). *Journal of Kufa for Nursing Science*. 2013;3(2).
18. Larsen T. et al. Disinfection of dental impressions and occlusal records by ultraviolet radiation. *The European journal of prosthodontics and restorative dentistry*. 2000;8(2):71–74.
19. Metzger Z., Better H., Abramovitz I. Immediate root canal disinfection with ultraviolet light: an ex vivo feasibility study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 2007;104(3):425–433.
20. Gujjari S.K. et al. Comparative evaluation of ultraviolet and microwave sanitization techniques for toothbrush decontamination. *Journal of International Society of Preventive & Community Dentistry*. 2011;1(1):20.
21. Metzger Z. et al. Sensitivity of oral bacteria to 254 nm ultraviolet light. *International endodontic journal*. 2007;40(2):120–127.
22. Uchinuma S. et al. Effects of UVB and UVC irradiation on cariogenic bacteria *in vitro*. *Lasers in medical science*. 2019;34(5):981–989.
23. Alharbi M., Bakitian F., Alenezi A. Evaluation of bactericidal effects of ultraviolet light C irradiation on cariogenic bacteria: An *in vitro* study. *BMC Oral Health*. 2021;21(1):1–8.
24. Fondriest J. Shade matching in restorative dentistry: the science and strategies. *International Journal of Periodontics and Restorative Dentistry*. 2003;23(5):467–480.
25. Komine F. et al. A modified layering technique to enhance fluorescence in glass-infiltrated aluminum oxide ceramic restorations: Case report. *Quintessence international*. 2008;39(1).
26. Gawriolek M. et al. Color and luminescence stability of selected dental materials *in vitro*. *Journal of Prosthodontics: Implant, Esthetic and Reconstructive Dentistry*. 2012;21(2):112–122.
27. Panzeri H., Fernandes L.T., Minelli C.J. Spectral fluorescence of direct anterior restorative materials. *Australian dental journal*. 1977;22(6):458–461.
28. Kumari M., Rafia A.K., Shree R. Changing Concepts in the Diagnosis of Dental Caries: A Review. *Department of Public Health Dentistry, D.J. College of Dental Sciences and Research, Modinagar, India*. 2021. ISSN: 2642–1623.
29. Schwass D.R. et al. Evaluating the efficiency of caries removal using an Er: YAG laser driven by fluorescence feedback control. *Archives of oral biology*. 2013;58(6):603–610.
30. Sundstrom F. et al. Laser-induced Fluorescence From Sound and Carious Tooth Substance-Spectroscopic Studies. *Swedish Dental Journal*. 1985;9(2):71–80.
31. Banerjee A. et al. A confocal microscopic study relating the autofluorescence of carious dentine to its microhardness. *British Dental Journal*. 1999;187(4):206–210.
32. Banerjee A. et al. A confocal micro-endoscopic investigation of the relationship between the microhardness of carious dentine and its autofluorescence. *European journal of oral sciences*. 2010;118(1):75–79.
33. König K., Flemming G., Hibst R. Laser-induced autofluorescence spectroscopy of dental caries. *Cellular and molecular biology (Noisy-le-Grand, France)*. 1998;44(8):1293–1300.
34. Buchalla W. Comparative fluorescence spectroscopy shows differences in noncavitated enamel lesions. *Caries research*. 2005;39(2):150–156.
35. Борисова Е., Узунов Т., Аврамов Л. Исследование лазерно-индуцированной аутофлуоресценции модели кариеза *in vitro*. *Лазеры в медицине*. 2006;21(1):34–41. [Borisova E., Uzunov T., Avramov L. Investigation of laser-induced autofluorescence of a caries model *in vitro*. *Lasers in medicine*. 2006;21(1):34–41. (In Russian)].
36. Zhang L., Nelson L.Y., Seibel E.J. Red-shifted fluorescence of sound dental hard tissue. *Journal of Biomedical Optics*. 2011;16(7):071411.
37. Sundstrom F. et al. Laser-induced Fluorescence From Sound and Carious Tooth Substance-Spectroscopic Studies. *Swedish Dental Journal*. 1985;9(2):71–80.
38. Dahal S., Agrawal N.K., Shrestha P.K. Role of dentists in Disaster Victim Identification of Sita air crash, Nepal. *Journal of Institute of Medicine*. 2014;36(2).
39. Campobasso C.P. et al. Craniofacial identification by comparison of antemortem and postmortem radiographs: two case reports dealing with burnt bodies. *The American journal of forensic medicine and pathology*. 2007;28(2):182–186.
40. Guzy G., Clayton M.A. Detection of composite resin restorations using an ultraviolet light-emitting diode flashlight during forensic dental identification. *The American journal of forensic medicine and pathology*. 2013;34(2):86–89.
41. Valenzuela A. et al. The application of dental methods of identification to human burn victims in a mass disaster. *International journal of legal medicine*. 2000;113(4):236–239.
42. Hermanson A.S. et al. Ultraviolet illumination as an adjunctive aid in dental inspection. *Journal of forensic sciences*. 2008;53(2):408–411.
43. Solheim T. et al. The «Scandinavian Star» ferry disaster 1990 — a challenge to forensic odontology. *International journal of legal medicine*. 1992;104(6):339–345.
44. Myers E., Kheradmand S., Miller R. An Update on Narrowband Ultraviolet B Therapy for the Treatment of Skin Diseases. *Cureus*. 2021;13(11).
45. Buonanno M. et al. 207-nm UV light — a promising tool for safe low-cost reduction of surgical site infections. II: In-vivo safety studies. *PloS one*. 2016;11(6):e0138418.
46. Расулов М.М. и др. Влияние коротковолнового ультрафиолетового облучения на заживление ожоговых ран (экспериментальное исследование). *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры*. 2016;93(5):38–42. [Rasulov M.M. Influence of short-wave ultraviolet irradiation on the healing of burn wounds (experimental study). *Issues of balneology, physiotherapy and therapeutic physical culture*. 2016;93(5):38–42. (In Russian)].
47. Kiricsi Á. et al. Prospective, multicenter, randomized clinical study to evaluate the clinical efficacy and tolerability of long term mixed ultraviolet and visible light phototherapy in eosinophil nasal polyps. *Journal of photochemistry and photobiology. B, Biology*. 2017;176:118–123.
48. Bonis B. et al. 308 nm UVB excimer laser for psoriasis. *The Lancet*. 1997;350(9090):1522.
49. Wang Y.E. Incidence and profile of skin cancer in patients undergoing ultraviolet-B phototherapy: ди:University of British Columbia, 2020.
50. Bhatia S., Kohli S. Lasers in root canal sterilization-a review. *International journal of scientific study*. 2013;1(3):107–111.
51. Luke A.M. et al. Lasers: A review with their applications in oral medicine. *Journal of lasers in medical sciences*. 2019;10(4):324.
52. Eslami E., Kazeminejad E., Karimian A. The Effect of Beam Direction on Absorption and Transmission of Ultraviolet to Infra-red Wave-length in Three Different Dentin Thicknesses. 2021.
53. Köllner K. et al. Treatment of oral lichen planus with the 308-nm UVB excimer laser—early preliminary results in eight patients. *Lasers in Surgery and Medicine: The Official Journal of the American Society for Laser Medicine and Surgery*. 2003;33(3):158–160.
54. Shuping G.B. et al. Reduction of intracanal bacteria using nickel-titanium rotary instrumentation and various medications. *Journal of endodontics*. 2000;26(12):751–755.
55. Shabahang S., Torabinejad M. Effect of MTAD on Enterococcus faecalis-contaminated root canals of extracted human teeth. *Journal of Endodontics*. 2003;29(9):576–579.
56. Larinskaya A.V. Comparative evaluation of tooth root channel system damage during pre-obturbative endodontic processing by physical methods. *Asian Journal of Pharmaceutics (AJP): Free full text articles from Asian J Pharm*. 2018;12(03).
57. Саркисян Н. и др. Ультрафиолетовое облучение при лечении воспалительных заболеваний пародонта. *Пародонтология*. 2016;21(4):70–72. [Sarkisyan N. et al. Ultraviolet irradiation in the treatment of inflammatory periodontal diseases. *Periodontology*. 2016;21(4):70–72. (In Russian)].
58. Aung N. et al. The effects of ultraviolet light-emitting diodes with different wavelengths on periodontopathic bacteria *in vitro*. *Photobiomodulation, photomedicine, and laser surgery*. 2019;37(5):288–297.
59. Takada A. et al. Bactericidal effects of 310 nm ultraviolet light-emitting diode irradiation on oral bacteria. *BMC Oral Health*. 2017;17(1):1–10.
60. Денисова Ю.Л., Рубникович С.П. Вакуум-УФО-терапия в системе комплексного лечения пациентов с хроническим генерализованным сложным периодонтитом. *Достижения фундаментальной, клинической медицины и фармации*. 2020:135–136. [Denisova Yu.L., Rubnikovich S.P. Vacuum-UFO therapy in the system of complex treatment of patients with chronic generalized complex periodontitis. *Achievements of fundamental, clinical medicine and pharmacy*. 2020:135–136. (In Russian)].
61. Кузьменкова А.В., Асриян Е.Г. Методы лечения стоматитов у детей. *Достижения фундаментальной, клинической медицины и фармации*. 2021:191–193. [Kuzmenkova A.V., Asirian E.G. Methods of treatment of stomatitis in children. *Achievements of fundamental, clinical medicine and pharmacy*. 2021:191–193. (In Russian)].

62. Sugita Y. et al. UV-pre-treated and protein-adsorbed titanium implants exhibit enhanced osteoconductivity. *International journal of molecular sciences*. 2020;21(12):4194.
63. Iwasaki C. et al. Tuning of titanium microfiber scaffold with uv-photofunctionalization for enhanced osteoblast affinity and function. *International journal of molecular sciences*. 2020;21(3):738.
64. Choi B. et al. Effects of photofunctionalization on early osseointegration of titanium dental implants in the maxillary posterior region: a randomized double-blinded clinical trial. *International Journal of Implant Dentistry*. 2021;7(1):1–7.
65. Sanchez-Perez A. et al. Control of peri-implant mucous inflammation by using chlorhexidine or Ultraviolet C radiation for cleaning healing abutments. Double-blind randomized clinical trial. *Materials*. 2020;13(5):1124.

Поступила 25.03.2022

Информация об авторах/Information about the authors

Саркисян Нарине Гришаевна (Sarkisyan Narine G.) — д-р мед. наук, доцент кафедры терапевтической стоматологии и пропедевтики стоматологических заболеваний УГМУ Минздрава России, врач — стоматолог-терапевт высшей квалификационной категории, хирург-стоматолог, пародонтолог, <http://orcid.org/0000-0002-6175-5752>
Пасхина Анастасия Игоревна (Pashkina Anastasia I.) — студент 3-го курса стоматологического факультета УГМУ Минздрава России
Шагеев Глеб Юрьевич (Shageev Gleb Y.) — студент 3-го курса стоматологического факультета УГМУ Минздрава России
Меликян Светлана Генриковна (Melikyan Svetlana G.)