



Обзор

Изменения микробиома кожи после дерматологических Процедуры: обзорный обзор

Джерми Р. Эллис¹ ID, Эрон Дж. Пауэлл^{2,*} ID, Люк М. Томасович^{1,*} ID, Рэйчел Л. Марчески³ ID, Вишнур Гириш¹ ID, Анмол Уорман¹ ID и Даршан Шивалоганатан^{1,*} ID¹ Медицинский факультет Университета Джонса Хопкинса, Балтимор, Мэриленд 21205, США; jellis44@jhmi.edu (JRE); ltomaso1@jhmi.edu (LMT); vgirish1@jhmi.edu (ВГ); awarman2@jhmi.edu (AW)² Школа биологических наук Университета Юты, Солт-Лейк-Сити, Юта 84112, США; eron@sciencewithsandy.com³ Школа общественного здравоохранения Блумберга Джонса Хопкинса, Балтимор, Мэриленд 21205, США; rmarche5@jhmi.edu

* Переписка: dsivalo1@jhmi.edu

Аннотация: Микробиом кожи состоит из бактерий, грибов, вирусов и клещей, которые играют решающую роль в поддержании здоровья кожи и иммунной функции. Дисбаланс в этом микробном сообществе, известный как дисбактериоз, приводит к различным дерматологическим заболеваниям. Хотя известно, что средства по уходу за кожей влияют на микробиом кожи, влияние дерматологических процедур тщательно не изучалось. Здесь мы проводим обзорный обзор, чтобы обрисовать исследования, изучающие влияние дерматологических вмешательств на микробиом кожи. Фототерапия стала наиболее изученным вмешательством, включающим УФ-фототерапию, светотерапию, лазерную терапию и фотодинамическую терапию. Химические вмешательства, такие как химический пилинг, микропигментация и санация, имеют сравнительно ограниченное количество исследований, описывающих их влияние на микробиом кожи. На сегодняшний день не проводилось исследований широкого спектра распространенных дерматологических процедур, таких как криотерапия, трансплантация кожи и дермабразия, которые могут иметь более высокую вероятность воздействия на микробиом кожи. Это подчеркивает необходимость дальнейших исследований влияния дерматологических процедур, особенно химических и физических вмешательств, на микробиом кожи. Более комплексные доклинические и клинические исследования необходимы не только для понимания долгосрочных последствий этих процедур, но и для оптимизации результатов лечения пациентов при дерматологических

Ключевые слова: микробиом кожи; дисбактериоз; кожный микробиом; дерматологическое вмешательство

Цитирование: Эллис, младший; Пауэлл, Э.Дж.;

Томасович, Л.М.; Марчески, РЛ;

Гириш, В.; Варман, А.;

Шивалоганатан, Д. Изменения в микробиоме

кожи после дерматологических

процедур: обзорный обзор. Прил.

Микробиол. 2024, 4, 972–985. [https://doi.org/](https://doi.org/10.3390/applmicrobiol4020066)

10.3390/applmicrobiol4020066

Академический редактор: Ян Коннертон

Поступила: 23 мая 2024 г.

Пересмотрено: 12 июня 2024 г.

Принято: 12 июня 2024 г.

Опубликовано: 18 июня 2024 г.



Копирайт: © 2024 авторов.

Лицензиат MDPI, Базель, Швейцария.

Эта статья находится в открытом доступе.

распространяется на условиях и

условия Creative Commons

Лицензия с указанием авторства (CC BY)

([https://creativecommons.org/licenses/by/](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

4.0/).

1. Введение

Микробиом кожи включает микроорганизмы, населяющие кожу человека.

В это сообщество входят бактерии, грибы, вирусы и клещи, которые играют роль в поддержании здоровья кожи [1]. Состав микробиома варьируется в зависимости от участка тела, условий окружающей среды, возраста, пола и индивидуального состояния здоровья [2–4]. Бактерии являются наиболее распространенными микробами, присутствующими на коже, их ключевые роды включают *Staphylococcus*, *Corynebacterium* и *Propionibacterium* [5]. Эти бактерии занимают определенные ниши на коже, такие как сальные железы, волосные фолликулы и потовые железы [6]. Грибы, прежде всего рода *Malassezia*, особенно распространены в сальных (нефтедобывающих) Вирусы, в том числе бактериофаги, инфицирующие бактерии, также входят в состав микробиома кожи, хотя они менее изучены по сравнению с бактериями и грибами [8]. Кроме того, членистоногие, такие как клещ демодекс, обитают вдоль волосных фолликулов и внутри сальных желез [9].

Микробиом кожи необходим для здоровья кожи, выполняя различные важные функции.

Одна из его основных функций – защита от патогенов. Микробиом действует как физический, так и химический барьер, при этом комменсальные бактерии конкурируют с патогенными микробами за ресурсы и пространство [10]. Такие бактерии, как *Cutibacterium acnes*, продуцируют антимикробные вещества, подавляющие рост патогенов [11]. Кроме того, микробиом кожи служит для формирования иммунных реакций у хозяина посредством микробных метаболитов, таких как свободные жирные кислоты,

антимикробные пептиды, феноластворимые модулины и компоненты клеточной стенки [12]. Дисбиоз, дисбаланс или нарушение естественного состава микробиома, связан с такими состояниями, как атопический дерматит, который характеризуется уменьшением разнообразия микроокружения кожи и усилением сенсибилизации хозяина к микробным антигенам [13], тогда как такие состояния, как Псориаз, связаны с чрезмерным ростом *S. asnes* [14].

Микробиом кожи также служит для поддержания целостности физического кожного барьера. Микробы регулируют выработку липидов кожи, которые укрепляют барьер — например, выработка керамидов участвует в удержании влаги и помогает предотвратить ухудшение состояния [15]. Определенные микробы также играют роль в формировании плотных контактов и функционировании кератиноцитов [16]. Полезные биопленки также обеспечивают защиту от патогенов как физически, так и конкурентно [17].

С более широкой точки зрения, отношения между людьми и микробами, которые перемещаются по их коже, являются симбиотическими. Эти возрастные пассажиры эволюционировали вместе с людьми, выполняя такие полезные функции, как расщепление кожного сала [18,19], поддержание pH-баланса кожи [20–22] и выработка антиоксидантов [23].

На состав микробиома кожи влияют несколько факторов. Генетические различия, такие как предрасположенность к аутоиммунным заболеваниям, влияют на индивидуальный микробиом кожи [8]. Климат, загрязнение окружающей среды, правила гигиены и даже одежда влияют на микробиом [3,24,25]. Возраст и гормональные изменения, особенно в период полового созревания и старения, изменяют микробный ландшафт [2,26–28]. Как системные заболевания, такие как диабет и раздраженный кишечник, так и кожные заболевания, такие как псориаз и атопический дерматит, могут нарушать микробиом кожи [29–31].

Дерматологам давно известно, что некоторые продукты по уходу за кожей также влияют на микробный баланс. Ингредиенты мыла, антибиотиков и косметики могут привести к дисбактериозу [4]. Однако манипулирование целостностью микробиома кожи посредством процедурных дерматологических вмешательств, таких как иссечение, дермабразия, лазерная терапия и другие физические процедуры, менее изучено. Учитывая важность микробиома кожи, мы стремимся определить текущий объем литературы, исследующей изменения микробиома кожи, вызванные дерматологическими процедурами.

2. Методы

Обзор текущего объема литературы, посвященной влиянию дерматологических вмешательств на микробиом кожи, был выполнен в соответствии с рекомендациями, изложенными Arksey и O'Malley [32] и Levas et al. [33]. Для руководства процессом был разработан протокол обзорного обзора, который был зарегистрирован на сайте [protocols.io](https://dx.doi.org/10.17504/protocols.io.261ge53owg47/v2) [34]. Доступ к нему можно получить по адресу <https://dx.doi.org/10.17504/protocols.io.261ge53owg47/v2>. (по состоянию на 16 мая 2024 г.).

Эта статья соответствует расширению PRISMA, разработанному для обзорных обзоров [35].

2.1. Критерии отбора

Исследования были включены на основе трех первоначальных критериев включения. Исследования должны были быть опубликованы в 2007 году или позже, поскольку это был год начала проекта «Микробиом человека» [36]. Исследования отбирались, если они содержали фразу «микробиом /микробиота/микрофлора кожи» в названии, ключевых словах или аннотации. Обратите внимание, что некоторые исследования были включены без указания кожи, если из контекста было очевидно, что они связаны с ней. Исследования также включались только в том случае, если они касались непосредственно дерматологических вмешательств. Список одобренных дерматологических вмешательств был создан командой с использованием текущих кодов процедурной терминологии (CPT®) Американской медицинской ассоциации (АМА) для дерматологии [37]. Всего было определено 23 категории дерматологических процедур. Вмешательства, заключающиеся исключительно в использовании мазей, кремов или смягчающих средств для местного применения, были исключены.

Исследования исключались, если они не были доступны на английском языке или не соответствовали общим целям обзора. Исследования, посвященные бактериотерапии и пре/постбиотикам, были исключены, поскольку такие методы лечения в первую очередь предназначены для изменения микробиомов и стимулирования роста микрофлоры. Как упоминалось выше, разрешенные исследования не могли

с кремами, мазями и т. д. для местного применения. Аналогично, исследования были исключены, если в них использовалась пероральная, внутривенная или любая другая системная форма лечения. Наконец, исследования необходимы для прямой оценки воздействия на микробиом кожи, а не для лечения дисбактериоза или других связанных с этим проблем. Лучшими исследованиями оказались те, которые касались непосредственно влияния локализованного дерматологического вмешательства на микробиом кожи.

2.2. Идентификация и выбор исследования

Поиск был выполнен в PubMed с использованием инструмента расширенного поиска 12 мая 2024 года. Включенные годы были с 2007 по 2030 год. Стратегия поиска была выполнена по протоколу, аналогичному обзорному обзору, проведенному Dol et al. в 2019 году [38]. Ключевые термины были выбраны и включены в поиск с использованием инструмента расширенного поиска следующим образом: «((хирургия акне) OR (эксцизионная биопсия) OR (иссечение) OR (санация) OR (инъекция) OR (татуировки) OR (микропигментация) OR (трансплантат) ИЛИ (лазерная хирургия) ИЛИ (электрохирургия) ИЛИ (криохирургия) ИЛИ (химиохирургия) ИЛИ (хирургическое выскабливание) ИЛИ (фототерапия) ИЛИ (дермабразия) ИЛИ (химический пилинг) ИЛИ (химическое прижигание) ИЛИ (мокс) ИЛИ (пилинг кожи) ИЛИ (электролиз) ИЛИ (облучение)) И (микробиом кожи) ».

После получения первоначальных результатов поиска были проверены название, аннотация и ключевые слова каждой статьи, чтобы найти статьи, соответствующие критериям включения. Включенные статьи затем подвергались полному обзору и исключались, если они соответствовали критериям исключения, в соответствии с процедурами, изложенными в протоколе. В статьях, удаленных во время полной проверки, была указана причина исключения.

2.3. Управление данными.

Интересующие элементы были распределены по категориям, где это применимо, одобрены командой проекта и отформатированы в документе Google. Затем включенные исследования были перечислены и оценены двумя рецензентами по каждому интересующему пункту. Если в документе содержался интересующий элемент, под ним была указана правильная категория. Затем эти данные были перенесены в таблицу Google для упрощения синтеза данных. Объектами интереса были описание дерматологического вмешательства; n-значение субъекта исследования; долгосрочные и краткосрочные (где долгосрочное определялось как продолжительность исследования продолжительностью более одной недели); состояние кожи; и предметные виды.

3. Результаты

Первоначальный запрос выявил 524 потенциальных статьи для включения. При проверке названий, аннотаций и ключевых слов было исключено 407 статей, которые не соответствовали критериям включения. Глубокий анализ всех статей привел к исключению 93 статей по причинам, указанным на рисунке 1. Затем интересующие элементы были извлечены из оставшихся 24 включенных статей.

Во включенные статьи были включены исследования трех различных видов, а именно людей, собак и мышей. В общей сложности 87,5% статей были проведены с людьми, 8,3% — с собаками и такой же процент — с мышами. Обратите внимание, что в одной статье участвовали как люди, так и мыши. Средний размер выборки составил 21,2 человека и варьировался от 5 до 125 человек (таблицы 1 и 2). Ни в одной статье не изучались эффекты большинства категорий вмешательств, изложенных выше, в частности химического прижигания, дермабразии, кожных трансплантатов, криотерапии, хирургии акне, эксцизионной биопсии, инъекций, электрохирургии, хирургического выскабливания, Мооса, электролиза и радиации.

3.1. Фототерапия существенно меняет микробиом кожи

Мы заметили, что более 70% исследований, изучающих влияние дерматологических процедур на микробиом кожи, были связаны с фототерапией (таблица 1). Это терапевтическое лечение использует различные длины волн света для лечения таких заболеваний, как псориаз, экзема, витилиго и атопический дерматит, путем модуляции клеточных процессов и уменьшения воспаления. Он включает в себя несколько общих типов лечения, используемых в обзорных исследованиях, а именно УФ-фототерапию, светотерапию, лазерную терапию и фотодинамическую терапию [39]. Обычно это связано с увеличением разнообразия микробиома [40–47]. Однако некоторые исследования не обнаружили существенных изменений в этом отношении [48,49].

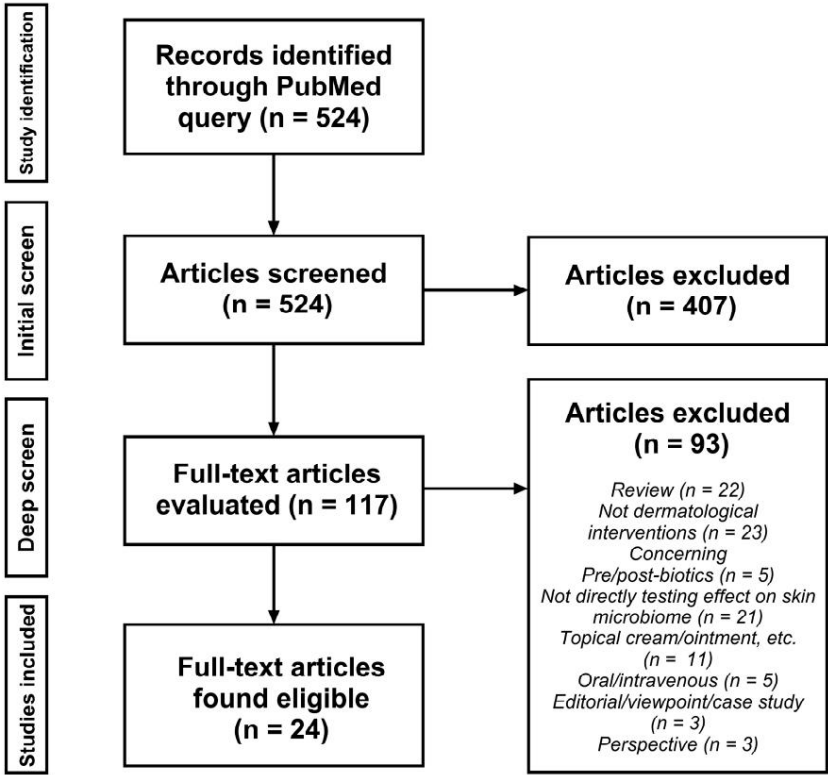


Рисунок 1. Предпочтительные элементы отчетности для систематических обзоров и мета-анализов для обзорных обзоров (PRISMA-ScR) блок-схема алгоритма выбора исследования.

3.1. Фототерапия существенно меняет микробиом кожи

УФ-фототерапия особенно полезна для подавления иммунной системы и индукции повреждения ДНК в клетках-мишенях. Это обычное лечение различных заболеваний. Воздействия на микробиом кожи были связаны с фототерапией (таблица 1). В этом терапевтическом лечении используются световые волны различной длины для лечения таких состояний, как псориаз, витилиго и атопический дерматит [50]. Как правило, он эффективен для снижения уменьшения количества непатогенных бактерий, особенно *Staphylococcus aureus* [41,43,51,52], одновременно увеличивая воспаление. Он включает в себя несколько широких типов лечения, используемых в ходе рассмотренных исследований, включая фототерапию, световую терапию, лазерную терапию, фотодинамическую терапию, которая может увеличить разнообразие микробиома кожи, как и др. Интересно, Лоссиус обнаружили первоначальное увеличение микробиоты после трехкратного воздействия узкополосного ультрафиолета В (NB-UVB) стимулирующая, но эффекты проявились после 6–8 недель лечения всего тела [42]. В целом повреждение ДНК в клетках-мишенях. Это обычное лечение различных состояний, таких как случаи, когда изменения в микробиоте присутствовали после УФ-фототерапии, даже если они были псориаз, витилиго и атопический дерматит [50]. Как правило, он эффективен для снижения патологических или незнания разная была причина под воздействием способом содействия заживлению ран комменсальные виды бактерий (*Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Staphylococcus pseudintermedius* и др.) [43,51,52]. 43] и совсем недавно было показано, что он обладает антибактериальным действием. не обнаружили первоначального увеличения микробиоты после трех эффектов узкополосного ультрафиолета В (NB-UVB), включая подавление роста и потенциальное нарушение целостности мембран и лечения, но эффект появился после 6–8 недель лечения всего тела [42]. Во всем потенциале [56,57]. Из трех исследований, в которых применяли лазерную терапию, один показал ограниченное влияние на микробиом, в то время как два других показали значительное уменьшение количества *Staphylococcus pseudintermedius* [49]. Другой организмы. исследование было посвящено уменьшению разнообразия у собак, где исследование было сосредоточено на коже [55]. Совсем недавно было показано, что он оказывает антибактериальное действие на *Pseudomonas aeruginosa*, демонстрируя ингибирование образования биопленок, но только при тестировании на это. включая подавление роста и потенциальное нарушение целостности мембран и отдельных бактерий [59].

Фотодинамическая терапия (ФДТ) предполагает применение фотосенсибилизирующего агента. вызываемая кожей 5-аминолевулиновая кислота (АЛК), которая поглощается клетками и преобразуется в протопорфирин IX. Обработываемая область подвергается воздействию световых волн определенной длины. Протопорфирин IX поглощает свет и генерирует активные формы кислорода (АФК). Эти РОС избирательно разрушают клетки-мишени [60]. Однако эта бимодальная процедура применения АЛК и направленного света требует повышенного внимания при оценке причины воздействия на микробиом. Два из трех исследований показали общее увеличение разнообразия после лечение, в то время как Guo et al. обнаружили небольшое снижение альфа-разнообразия после лечения это уменьшилось при последующем лечении [44,45,61]. Лечение ALA-PDT также привело к уменьшению количества некоторых бактерий, вызывающих кожные заболевания, таких как *C. acnes*.

Таблица 1. Полученные исследования, описывающие влияние светотерапии на микробиом кожи, с краткими описаниями.

Автор	Год	Дерматологический Процедура	Размер исследования (n)	Продолжительность обучения	Состояние	Разновидность	Результаты
Бернс и др. [53]	2019	УФ-фототерапия	6	Краткосрочный (24 часа)	Никто	Человек	Наблюдалось увеличение количества цианобактерий и уменьшение количества Lactobacillaceae и Pseudomonadaceae.
Квонг и др. [41]	2019	УФ-фототерапия	18 (13 были подвергается воздействию УФ)	Долгосрочный (9 недель)	Атопический дерматит	Человек	После лечения микробное разнообразие пораженной кожи увеличилось. На фоне лечения доля Staphylococcus aureus уменьшалась.
Лоссиус и др. [42]	2021	УФ-фототерапия	16	Длительный (6–8 недель) атопический дерматит		Человек	Микробиота кожи при поражении АД показала более высокое разнообразие после 6–8 недель лечения, при этом NLS и микробиота носа/горла остался неизменным. Существенных изменений в микробиоте не произошло. наблюдалось только после трех обработок NB-UVB.
Хупер и др. [43]	2022	УФ-фототерапия	40 (25 открытых, 15 контроль)	Долгосрочный (~6,2 месяца)	Кожная лимфома человека		Микробное разнообразие увеличилось у пациентов, ответивших на NB-UVB. Относительная численность S. aureus и Staphylococcus lugdunensis снизилась. лечение после. Более высокие уровни Staphylococcus capitis и Staphylococcus Warneri были обнаружены в пораженной коже респондента. перед НБ-УФБ. Снижение S. aureus и увеличение S. capitis, Staphylococcus hominis, Staphylococcus pettenkoferi и S.warneri. уровни были обнаружены на коже респондентов после лечения. стафилококк Численность видов более схожа между не ответившими и пациентов, не имеющих NB-UVB, чем между ответившими на лечение и пациенты без NB-UVB.
Ассарссон и другие. [51]	2018	УФ-фототерапия	26	Долгосрочный (10,5 недель)	Хронический налет Псориаз	Человек	Увеличение относительной численности клостридий и снижение относительной обилие Pseudomonas наблюдалось как в очагах поражения, так и в неповрежденная кожа, наряду с увеличением мегасферы в кожа без повреждений.
Доттеруд и другие. [52]	2008	УФ-фототерапия	40 (20 дерматит, 20 контроль)	Долгосрочный (6 недель)	Атопический дерматит	Человек	Количество S. aureus в пораженной коже снизилось незначительно. через 4 недели лечения, небольшое увеличение наблюдалось после 2-недельное наблюдение. Аналогичные тенденции наблюдались и в непораженных кожа и лоб.
Ван и др. [61]	2012	УФ-фототерапия	5 человек, 5 мышей	Краткосрочный (1 день)	Никто	Человек и Мышь	У бактерий на лице человека наблюдалось снижение выработки порфиринов и в ушах мышей, инокулированных Cutibacterium Acnes.
Юань и др. [44]	2020	УФ-фототерапия	60	Н/Д	Витилиго	Человек	Группа НБ показала значительно более высокие показатели разнообразия. по сравнению с NF, тогда как группы NF и DB не отличались существенно. Стафилококк, Bacillus и Prevotella были обогащены DF по сравнению с DB, тогда как Propionibacterium показал противоположная тенденция.
Парк и др. [40]	2021	УФ-фототерапия	20 (10 с атопическим дерматит, 10 без)	Долгосрочный (2 месяца)	Атопический дерматит	Собака	Фототерапия изменила микробиом кожи у собак с АД. увеличение актинобактерий и цианобактерий и уменьшение Стафилококк псевдоинтермедиус. Произошло более высокое альфа-разнообразие после лечения.

Таблица 1. Продолжение.							
Автор	Год	Дерматологический Процедура	Размер исследования (n)	Продолжительность обучения	Состояние	Разновидность	Результаты
Курасаки и др. [54]	2020	УФ-фототерапия	22 (11 пораженных, 11 без повреждений)	Долгосрочный (2 месяца)	Атопический дерматит	Человек	Увеличение количества цианобактерий и уменьшение количества Bacteroidetes. возникло в пораженной коже. Значительное сокращение численности S. aureus также был обнаружен на видовом уровне в поврежденной коже.
Лю и др. [48] 2021 г.		Светотерапия	39 (20 прыщей, 19 здоровых)	Долгосрочный (3 месяца)	Акне	Человек	Произошло значительное увеличение относительной численности Staphylococcus epidermidis и C.acnes снизились.
Муньос Деклара и др. [49]	2024 год	Лазерная терапия (905 нм, 808 нм)	20	Краткосрочный (6 дней)	Атопический дерматит	Собака	Никаких существенных изменений в составе или разнообразии микробиома. наблюдались, но снижение относительной численности S. pseudintermedius был отмечен на обработанных участках некоторых собак.
Парк и др. [58]	2023 год	Лазерная терапия (755 нм) 21		Долгосрочный (3 месяца)	Розацеа	Человек	Отмечено снижение относительной численности Cutibacterium, Стрептококки, клостридии, бактероиды и лактобактерии. Увеличение относительной численности Staphylococcus, Neisseriaceae, Также встречались Corynebacterium, Anaerococcus и Lawsonella. Там было уменьшение альфа-разнообразия после лечения.
Рупель и др. [59]	2019 год	Лазерная терапия (445 нм)	15 (8 процедур, 7 контроль)	Краткосрочный (одиночный приложение)	Никто	Мышь	Синий лазерный свет уменьшал Pseudomonas aeruginosa как in vitro, так и in vitro. в естественных условиях. Это ингибировало образование биопленки.
Го и др. [45]	2022 год	АЛК Фотодинамический Терапия	26 (18 с прыщами, 8 без)	Долгосрочный (3 недели)	Акне	Человек	После лечения произошло снижение альфа-разнообразия. Не было статистически значимая разница наблюдается среди разных групп для C.acnes на уровне рода. Произошло увеличение обилие Pseudomonas, Gordonia, Leptotrichia и Mucobacterium, восстанавливая их до здорового уровня.
Ян и др. [46]	2021 год	АЛК Фотодинамический Терапия	5	Долгосрочный (2 месяца)	Акне	Человек	ФДТ ингибировал C.acnes в фолликулярном микробиоме. Бацилла и Уровень лактококка увеличился после ФДТ. ALA-PDT увеличивает микробиом разнообразие и сделало фолликулярный микробиом более похожим на Эпидермальный микробиом таксономически и функционально.
Тао и др. [47] 2021 г.		АЛК Фотодинамический Терапия	11	Долгосрочный (6 недель)	Акне	Человек	Произошло заметное снижение относительной численности C.acnes. тогда как Pseudomonas fluorescens значительно увеличилась. Никакого эффекта на Обнаружен S. epidermidis. Кроме того, ALA-PDT коррелировал с повышенным разнообразием микробиоты и снижением относительной обилие функциональных генов, связанных с энергетическим метаболизмом и Репликация ДНК.

NB-UVB = узкополосный ультрафиолет-B; АД = атопический дерматит; NF = нормальная кожа до облучения; NB = нормальная кожа после облучения; DF = пораженная кожа до облучения; БД = пораженный кожа после облучения; АЛК = 5-аминолевулиновая кислота; ФДТ = фотодинамическая терапия; NLS = кожа без повреждений.

3.2. Различные дерматологические процедуры влияют на микробиом кожи.

Исследования дерматологических вмешательств, отличных от фототерапии, и их влияние на микробиом кожи. микробиом кожи сравнительно ограничен в масштабах (таблица 2).

Химические/физические вмешательства.

Химические пилинги в дерматологии используются для улучшения внешнего вида кожи путем лечения таких состояний, как прыщи, гиперпигментация и признаки старения, с использованием химического раствора, который отшелушивает кожу и способствует обновлению клеток [62]. Обычно используемые агенты включают альфа-гидроксикислоту (АНА), бета-гидроксикислоту (ВНА), трихлоруксусную кислоту (ТСА) и фенол. Химический пилинг, применяемый Shao et al. (30% ТСА) и Bhardwaj et al. (запатентованный многокислотный синергетический пилинг) оба показали последовательное снижение определенных бактериальных популяций, таких как стафилококки и пропионибактерии, хотя общие изменения разнообразия микробиома различались [63,64]. Предполагается, что коллагеновые маски увлажняют кожу, улучшают эластичность и уменьшают появление тонких линий и морщин, обеспечивая прямой источник коллагена для поддержания структуры и упругости кожи. Эти маски при использовании в течение длительного периода времени могут увеличить показатели микробного разнообразия, но демонстрируют незначительные различия по сравнению с необработанной кожей, что предполагает ограниченное долгосрочное воздействие на микробный баланс [65]. Единственное исследование высокочастотной терапии показало снижение количества видов бактерий и дерматофитов (таблица 2), что указывает на ее потенциал для целенаправленной микробной модуляции [66].

В одном исследовании было обнаружено, что физические процедуры, такие как косметический пирсинг, изменяют микробиом, уменьшая *C. acnes* и увеличивая количество *Staphylococcus epidermidis*, что конкретно отражает локальные сдвиги микробиома [67]. Микропигментация используется для косметического улучшения, а также в медицинских целях, включая маскировку шрамов и витилиго, путем точного нанесения пигмента в дермальный слой кожи. Исследование, наблюдавшее за воздействием микропигментации конкретно на роговцу, не выявило существенных изменений в микробиоме глаза, что позволяет предположить минимальное воздействие на микробные сообщества в этом конкретном контексте [68]. Санация, хотя и не приводит к немедленному изменению микробиома раны, выявляет связь между определенными родами бактерий и незаживающими ранами, подчеркивая потенциальное влияние процедуры на исходы хронических ран [69]. В совокупности эти исследования иллюстрируют нюансы воздействия различных дерматологических вмешательств на состав микробиома кожи; изменения в микробиоте, по-видимому, зависят от процедуры.

Однако эти результаты основаны на ограниченных исследованиях, и необходимы дальнейшие исследования, чтобы углубить наше понимание этих эффектов.

Таблица 2. Полученные подходящие исследования, описывающие влияние химических и физических дерматологических процедур на микробиом кожи, с краткими описаниями.

Автор	Год	Дерматологический Процедура	Размер исследования (n)	Продолжительность обучения	Состояние	Разновидность	Результаты
Шао и др. [63]	2023 год	Химический пилинг	28	Долгосрочный (2 месяца)	Акне	Человек	Доля стафилококков и пропионибактерий имела тенденцию к снижению.
Бхардвадж и другие. [64]	2024 год	Химический пилинг	9	Краткосрочный (одиночный приложение, 20 мин)	Гиперпигментация	Человек	Незначительное повышение индекса разнообразия Шеннона, математического мера видового разнообразия внутри сообщества [70]. Бета разнообразие оставалось постоянным. Никаких изменений в численности Стафилококк эпидермидис. Снижение количества Cutibacterium Acnes. Снижение порфирина.
Янсенс-Бёккер и др. [65]	2024 год	Маска	28	Долгосрочный (4 недели)	Никто	Человек	Индекс разнообразия Шеннона значительно увеличился по сравнению с исходным уровнем, но не выявило различий по сравнению с необработанными участками. Род Стафилококк, а также S. epidermidis специфически снижал значительно с течением времени, но не по сравнению с необработанными участками. Нет значительные изменения наблюдались для Corynebacterium, Pseudomonas, или S.acnes между временными точками или по сравнению с необработанными участками.
Фроммгерц и другие. [66]	2022 год	Электротерапия (ВЧ-терапия)	Н/Д	Н/Д	Акне	Н/Д	Уменьшилось количество видов бактерий, в том числе Aerococcus viridans, Bacillus cereus, Aerococcus urinaeequi, Staphylococcus lugdunensis, Staphylococcus haemolyticus, Micrococcus yunnanensis, Micrococcus luteus и виды Mycobacterium. Количество дерматофитов уменьшилось подсчет колоний после лечения HF, включая Trichophyton benhamiae, Trichophyton rubrum, Trichophyton mentagrophytes, Trichophyton violaceum и Microsporum canis.
Сюй и др. [67]	2023 год	Пирсинг	28	Долгосрочный (2 недели)	Никто	Человек	Снижение относительной частоты S.acnes и значительное увеличение относительной частоты S. epidermidis в пирсинговый микробиом.
Йылмаз и др. [68]	2023 год	Микропигментация	125 (35 роговичных татуировки, 40 роговиц лейкома, 50 здоровых)	Неизвестный	Лейкома роговицы	Человек	Существенной разницы между родными и татуированными глазами нет.
Вербаник и др. [69]	2020 год	обработка	20	Короткий срок (немедлительно после санация)	Хроническая рана	Человек	Острая обработка раны не оказала прямого влияния на микробиом раны. по сравнению с исходной раневой поверхностью. Однако аэробы и факультативные анаэробы, в частности род Enterobacter. в значительной степени связано с ранами, которые не зажили в течение 6 месяцев.

ВЧ = Высокочастотный.

4. Обсуждение и выводы.

В этом обзоре освещается масштаб исследований, касающихся воздействия дерматологических процедур на микробиом кожи. Результаты подчеркивают различные эффекты различных вмешательств, при этом фототерапия оказывается наиболее широко изученной. Фототерапия обычно показывает увеличение микробного разнообразия после лечения. Хотя большинство вмешательств показали некоторый эффект, фототерапия оказала наиболее выраженное влияние на микробиом кожи. В этом нет ничего удивительного, поскольку было обнаружено, что обработка светом убивает бактерии, вызывая повреждение ДНК [71,72], создавая активные окислительные формы [73–75] и повреждая клеточные мембраны [76,77]. Однако результаты различаются: в некоторых исследованиях не сообщается о существенных изменениях. Эти несоответствия позволяют предположить, что на воздействие фототерапии на микробиом кожи могут влиять такие факторы, как конкретные длины волн используемого света, состояние, подлежащее лечению, и индивидуальные различия пациентов.

Давно известно, что этиология кожных заболеваний, таких как псориаз и атопический дерматит, связана с местными воспалительными процессами в очагах поражения кожи у пораженных пациентов. Фототерапия — это метод, используемый дерматологами для лечения поражений путем модуляции местного воспаления. Это подтверждается многочисленными исследованиями, демонстрирующими эффективность фототерапии в уменьшении симптомов и улучшении внешнего вида кожи [78–80]. Однако это представляет собой очевидную дилемму. Хотя фототерапия может принести немедленную пользу этим пациентам, если фототерапия пагубно изменяет микробиом кожи, это потенциально может свести на нет краткосрочные выгоды.

Например, Лю и др. (2021) обнаружили, что у пациентов, проходящих светотерапию по поводу прыщей, наблюдается увеличение численности видов стафилококков в обработанных участках кожи [48]. Это подразумевает потенциальный дисбактериоз после лечения, который по иронии судьбы связан с атопическим дерматитом. И наоборот, некоторые исследования, например, Hooper et al. (2022) показали, что лечение УФ-фототерапией у пациентов с лимфомой кожи приводит к снижению численности видов *Staphylococcus*, в то время как Kwong et al. обнаружили, что лечение привело к увеличению микробного разнообразия [41,43]. Это указывает на то, что световая терапия может либо отрицательно изменить нативный микробиом, либо потенциально восстановить его, в зависимости от контекста и условий лечения. Необходимы дальнейшие исследования, чтобы выяснить точные механизмы, с помощью которых фототерапия влияет на микробиом кожи, и определить, действительно ли фототерапия может вызвать дисбактериоз, и если да, то на каком уровне.

Кроме того, различные длины волн света при фототерапии могут оказывать различное воздействие на микробиом, что требует исследований для изучения этих переменных. Также общепонятно, что определенные длины волн влияют на бактерии по-разному: ультрафиолетовые и синие волны обычно считаются более разрушительными, чем красный или инфракрасный свет [73,81–84]. Интересно, что исследования, которые мы рассмотрели, показывают, что в целом терапия УФ-светом приводит к увеличению микробного разнообразия и уменьшению количества патогенных бактерий, таких как *S. aureus*, тогда как лазерная терапия, независимо от длины волны, приводит к снижению плотности бактерий у всех протестированных видов [40–44,49,51–54,58,59,61]. Причины этого неясны, но могут быть связаны с оптическим усилением, свойственным лазерной терапии. Любарт и др. обнаружили, что видимый свет низкого уровня благоприятен для роста бактерий, в то время как свет высокой интенсивности убивает бактерии, что дает возможное объяснение [73].

Наш обзор показывает, что исследования дерматологических вмешательств, отличных от фототерапии, на микробиом кожи были сравнительно ограничены по объему, а их влияние на микробиом кожи менее ясно. Единственное исследование, посвященное пирсингу, выявило значительное влияние на относительную численность *S. epidermidis* и *C. acnes*, и авторы связывают это с переходом к более влажной местной среде после пирсинга [67]. Однако другие физические методы лечения не привели к каким-либо значительным изменениям. Особое удивление вызвала санация, поскольку это метод удаления с кожи нездоровых тканей, часто содержащих патогенные бактерии [85]. Это может быть связано с тем, что в нашем протоколе включения было проведено только одно исследование эффектов этого лечения. Аналогичным образом, что касается химических вмешательств, только пилинг салициловой кислотой (SA) оказал существенное влияние на микробиом кожи, уменьшая чрезмерное количество видов *Staphylococcus* и *Propionibacterium* у пациентов с дисбиотикой [63]. Ранее было показано, что СК оказывает ингибирующее и бактерицидное действие на *S. aureus* in vitro [86]. Этот

может указывать на то, что эффект модуляции микробиома в этих химических пилингах обусловлен активным ингредиентом (SA), а не средством пилинга или физическим действием пилинга во время лечения. Это подчеркивает необходимость будущих исследований, изучающих, как физические и химические вмешательства потенциально могут привести к дисбактериозу и их долгосрочное воздействие на кожу пациентов. Например, различные химические составы, используемые в пилингах, такие как АНА, ВНА, ТСА и фенол, могут по-разному влиять на микробиом. Комплексные последующие исследования необходимы для понимания долгосрочных эффектов этих вмешательств.

Микробные взаимодействия также играют большую роль в динамике между микробиомом кожи и дерматологическими вмешательствами. Ранее было показано, что *C.acnes* имеет обратную связь с *S.epidermidis* [87,88]. Исследования Лю и соавт. и Сюй и др. наблюдалось снижение количества *C.acnes* и увеличение *S.epidermidis* после светотерапии и пирсинга соответственно [48,67]. Это может быть примером антагонистических отношений, когда снижение количества *C.acnes* было вызвано первоначальным дерматологическим вмешательством, а увеличение количества *S.epidermidis* было сопутствующим и вторичным по отношению к снижению плотности *C.acnes*.

Другая, более широкая взаимосвязь была обнаружена в двух исследованиях УФ-фототерапии, которые показали обратную зависимость между микробным разнообразием и *S. aureus* [41,43]. Это может свидетельствовать о том, что УФ-фототерапия снижает уровень *S. aureus*, обеспечивая более высокую плотность конкурентов *S. aureus*. В целом конкуренция между видами влияет на состав микробиома кожи после лечения.

Мы специально включили исследования, посвященные дерматологическим вмешательствам, которые носили процедурный характер, используя в качестве отправной точки текущие коды AMA CPT® для дерматологии. Это обеспечило стандартизированную основу для определения того, какие процедуры следует включить. Вмешательства, состоящие исключительно из мазей или кремов местного применения, были исключены, поскольку они не определены в процедурных кодексах. Однако исследования показали, что местное применение антибиотиков/антисептиков, в частности, вызывает изменения в микробиоме кожи [89–91]. Аналогичным образом, топические стероиды, такие как такролимус, также играют роль в модуляции микробиома кожи у пациентов с атопическим дерматитом, при этом исследование показало, что лечение такролимусом приводит к увеличению разнообразия микробиома кожи, аналогичному тому, которое наблюдается у здоровых людей [92]. Однако это исследование было ограничено из-за небольшого размера выборки. Необходимо провести дополнительные исследования для выяснения всего спектра воздействия кремов и мазей местного применения на микробиом кожи.

Из наших первоначальных 21 категорий, полученных из кода CPT®, были представлены только хирургическая обработка ран, татуировка, микропигментация, электрохирургия, фототерапия, лазерная хирургия и химический пилинг, а коллагеновые маски обнаруживались случайно. Этот пробел указывает на значительную потребность в исследованиях более широкого спектра дерматологических процедур. В частности, такие процедуры, как криотерапия, которая радикально изменяет температуру целевых поверхностей кожи, могут оказать большое влияние на местную микробиоту. Другие области потенциальных исследований включают, помимо прочего, дермабразию, пересадку кожи, химическое прижигание и радиацию.

Потенциал использования дерматологических вмешательств для целенаправленного изменения и восстановления здорового микробиома является областью, созревшей для изучения. Если будет доказано, что определенные процедуры способствуют сбалансированному и разнообразному микробиому, их можно будет использовать не только для лечения кожных патологий, но и для поддержания или улучшения общего состояния кожи.

Дерматологические вмешательства являются необходимыми мерами при лечении различных заболеваний кожи; однако существует острая необходимость оценить их долгосрочное и краткосрочное воздействие на микробиом кожи, особенно в отношении возможности возникновения дисбиоза. Существует большой пробел в знаниях о влиянии многих дерматологических процедур на микробиом кожи. Наш обзор подчеркивает сложность известных взаимосвязей, о чем свидетельствуют различные реакции, наблюдаемые при различных вмешательствах. Например, в то время как некоторые исследования предполагают, что определенные методы лечения могут привести к изменениям в микробном разнообразии или численности конкретных таксонов, другие указывают на потенциальную возможность восстановления микробов. Это также подчеркивает необходимость дополнительных исследований забытых дерматологических процедур, таких как криотерапия, кожные трансплантаты и дермабразия. Комплексные последующие исследования того, нарушают ли дерматологические процедуры естественный микробиом и ускоряют дисбактериоз, могут улучшить клиническую практику и оптимизировать результаты лечения пациентов в дерматологической помощи.

5. Ограничения

Обзор проводился по методологии PRISMA-ScR; однако использовалась единственная база данных PubMed. Кроме того, данные, извлеченные из исследований, в частности результаты, носили качественный и описательный характер, поэтому возможны потенциальные ошибки при всестороннем извлечении. Однако для уменьшения ошибки были задействованы два рецензента. Поисковые термины, используемые для описания дерматологических процедур, возможно, не являются полными, однако они были адаптированы из дерматологических кодов CPT® Американской медицинской ассоциации, которые являются золотым стандартом для определения медицинских процедур.

Вклад автора: концептуализация, JRE и EJP; методология, JRE и EJP; валидация, JRE, EJP и LMT; формальный анализ, JRE, EJP и LMT; расследование, JRE и EJP; ресурсы, JRE и EJP; курирование данных, JRE и EJP; письмо — подготовка оригинального проекта, JRE и EJP; написание, рецензирование и редактирование, JRE, EJP, LMT, RLM, VG, AW и DS; визуализация, JRE, EJP и RLM; надзор, JRE и DS; администрация проекта, JRE и DS. Все авторы прочитали и согласились с опубликованной версией рукописи.

Финансирование: Данное исследование не получило внешнего финансирования.

Благодарности: Мы благодарим Седрика Уорда за его моральную поддержку на протяжении всего проекта.

Конфликты интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Рекомендации

1. Конг, Х.Х. Микробиом кожи: основанный на геномике взгляд на разнообразие и роль кожных микробов. Тенденции Мол. Мед. 2011, 17, 320–328. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
2. Ин, С.; Цзэн, Д.-Н.; Чи, Л.; Тан, Ю.; Гальзот, К.; Кардона, К.; Лакс, С.; Гилберт, Дж.; Цюань, З.-Х. Влияние возраста и пола на кожные микробные сообщества в городских и сельских популяциях. PLoS ONE 2015, 10, e0141842. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
3. Димитриу, Пенсильвания; Икер, Б.; Малик, К.; Люнг, Х.; Мон, WW; Хиллебранд, Г.Г. Новый взгляд на внутренние и внешние факторы Они формируют микробиом кожи человека. mBio 2019, 10, e00839-19. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[ПабМед\]](#)
4. Скоурон, К.; Бауза-Кашевска, Ю.; Крашевская З.; Викторчик-Капишке, Н.; Грудлевска-Буда, К.; Квечинска-Пирог, Ю.; Валецка-Захарская, Э.; Радтке, Л.; Господирек-Комковская, Е. Микробиом кожи человека: влияние внутренних и внешних факторов на микробиоту кожи. Микроорганизмы 2021, 9, 543. [\[CrossRef\]](#)
5. Шаршмидт, ТК; Фишбах, М.А. Что живет на нашей коже: экология, геномика и терапевтические возможности микробиома кожи . Препарат Дисков. Сегодня Дис. Мех. 2013, 10, c83–e89. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[ПабМед\]](#)
6. Конг, Х.Х.; Сегре, Дж. А. Микробиом кожи: взгляд назад, чтобы двигаться вперед. Дж. Расследование. Дерматол. 2012, 132, 933–939. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[ПабМед\]](#)
7. Виджая Чандра, Ш.; Шринивас, Р.; Доусон, ТЛ; Распространенная, JE кожная малассезия: комменсал, возбудитель или защитник? Передний. Клетка. Заразить. Микробиол. 2021, 10, 614446. [\[CrossRef\]](#)
8. Шоммер, Н.Н.; Галло Р.Л. Структура и функция микробиома кожи человека. Тенденции Микробиол. 2013, 21, 660–668. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
9. Фоли, Р.; Келли, П.; Гато, С.; Пауэлл, Ф. Демодекс: обитатель кожи человека и его лучший друг. Дж. Эур. акад. Дерматол. Венереол. 2021, 35, 62–72. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
10. Ли, Х.-Дж.; Ким, М. Барьерная функция кожи и микробиом. Межд. Дж. Мол. наук. 2022, 23, 13071. [\[CrossRef\]](#)
11. Класен Дж.; Спаньолю, Дж. Б.; Рамос, Сан-Франциско; Курита, КЛ; Берд, Алабама; Аксенов А.А.; Мельник А.В.; Вонг, WR; Ван, С.; Эрнандес, РД; и другие. Антибиотик Cutibacterium Aspes модулирует состав микробиоты кожи человека в волосах фолликулах. наук. Перевод Мед. 2020, 12, eaau5445. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[ПабМед\]](#)
12. Белкаид, Ю.; Сегре, Дж. А. Диалог между микробиотой кожи и иммунитетом. Наука 2014, 346, 954–959. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[ПабМед\]](#)
13. Рознер, Л.М.; Верфель, Т.; Гератизаде, А. Адаптивная иммунная система при atopическом дерматите и последствия для терапии. Эксперт преподобный Клин. Иммунол. 2016, 12, 787–796. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[ПабМед\]](#)
14. Тойода, М.; Морохаша, М. Патогенез прыщей. Мед. Электронная микросхема. 2001, 34, 29–40. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[ПабМед\]](#)
15. Чжэн Ю.; Хант, РЛ; Вилларуз, А.Е.; Фишер, Эл.; Лю, Р.; Лю, К.; Чунг, GYC; Ли, М.; Отто, М. Комменсальный стафилококк Epidermidis способствует гомеостазу кожного барьера путем образования защитных керамидов. Клетка-хозяин Microbe 2022, 30, 301–313.e9. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[ПабМед\]](#)
16. Султана Р.; Макбейн, Эй Джей; О'Нил, К.А. Зависимое от напряжения усиление барьерной функции плотного соединения в первичных эпидермальных кератиноцитах человека с помощью лизатов лактобацилл и бифидобактерий. Прил. Окружающая среда. Микробиол. 2013, 79, 4887–4894. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[ПабМед\]](#)
17. Персиваль, С.Л.; Эмануэль, К.; Резка, КФ; Уильямс, Д.В. Микробиология кожи и роль биопленок в инфекции. Межд. Ранение Дж. 2012, 9, 14–32. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[ПабМед\]](#)

18. Свани, М. Х.; Нельсен, А.; Сандстрем, С.; Калан, Л.Р. Предпочтения пота и кожного сала в микробиоте кожи человека. Микробиол. Спектр. 2023, 11, e04180-22. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[ПабМед\]](#)
19. Таунсенд, Е.С.; Калан, Л.Р. Динамический баланс микробиома кожи на протяжении всей жизни. Биохим. Соц. Пер. 2023, 51, 71-86. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
20. Юн, С.Х.; Чой, С.В.; Чой, Дж.В.; Юн, С.В. pH поверхности кожи и его различное влияние на развитие прыщей По полу и возрасту. Рес. кожи. Технол. 2013, 19, 131-136. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
21. Ван Ю.; Куо, С.; Шу, М.; Ю, Дж.; Хуанг, С.; Дай, А.; Два, А.; Галло, Р.Л.; Хуанг, К.-М. Staphylococcus Epidermidis в микробиоме кожи человека опосредует ферментацию, подавляя рост Propionibacterium Acnes: влияние пробиотиков на Acne Vulgaris. Прил. Микробиол. Биотехнология. 2014, 98, 411-424. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[ПабМед\]](#)
22. Нодаке Ю.; Мацумото, С.; Миура, Р.; Хонда, Х.; Ишибаси, Г.; Мацумото, С.; Декио, И.; Сакакибара, Р. Пилотное исследование нового метода ухода за кожей путем добавления Staphylococcus epidermidis, аутологичного кожного микроба — слепое рандомизированное клиническое исследование. Дж. Дерматол. наук. 2015, 79, 119-126. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[ПабМед\]](#)
23. Андерссон, Т.; Эртюрк Бергдал, Г.; Салех, К.; Магнусдоттир, Х.; Стёдкильде, К.; Андерсен, С.В.; Лундквист, К.; Дженсен, А.; Брюггеманн, Х.; Луд, Р. Обычные кожные бактерии защищают своего хозяина от окислительного стресса с помощью секретируемого антиоксиданта RoхР. Отчет 2019, 9, 3596. [\[CrossRef\]](#) [\[ПабМед\]](#)
24. Каллеварт, К.; Равард Хелффер, К.; Лебарон, П. Микробиом кожи и его взаимодействие с окружающей средой. Являюсь. Дж. Клин. Дерматол. 2020, 21, 4-11. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
25. Сандерс, Д.; Грюнден, А.; Данн, Р.Р. Обзор микробиологии одежды: история одежды и роль микробов в Текстиль. Биол. Летт. 2021, 17, 20200700. [\[CrossRef\]](#) [\[ПабМед\]](#)
26. Смайт, П.; Уилкинсон, Х.Н. Микробиом кожи: нынешняя ситуация и будущие возможности. Межд. Дж. Мол. наук. 2023, 24, 3950. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
27. Парк, Дж.; Швардт, Нью-Хэмпшир; Джо, Ж.-Х.; Чжан, З.; Пиллаи, В.; Пханг, С.; Брэди, С.М.; Портильо, J.A.; МакГибени, Массачусетс; Лян, Х.; и другие. Изменения в бактериальных и грибковых сообществах кожи здоровых детей в период полового созревания. Дж. Расследование. Дерматол. 2022, 142, 212-219. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[ПабМед\]](#)
28. Шнайдер, АМ; Нолан, ЗТ; Банерджи, К.; Пейн, Арканзас; Конг, З.; Геттл, СЛ; Лонгенекер, Алабама; Жан, Х.; Агак, Г.В.; Нельсон, А.М. Эволюция микробиома кожи лица в период полового созревания нормальной кожи и кожи с акне. Дж. Зур. акад. Дерматол. Венереол. 2023, 37, 166-175. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[ПабМед\]](#)
29. Мазур, М.; Томчак, Х.; Лодыга, М.; Чайковский Р.; Заба, Р.; Адамски З. Микробиом кожи человека и его изменчивость при псориазе и атопическом дерматите. Адв. Дерматол. Аллергол. Дерматол. Алергол. 2021, 38, 205-209. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
30. Гардинер, М.; Викаретти, М.; Спаркс, Дж.; Бансал, С.; Буш, С.; Лю, М.; Дарлинг, А.; Гарри, Э.; Берк, К.М. Продольное исследование Диабетическая кожа и микробиом ран. ПерДж 2017, 5, e3543. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
31. Рейсс, З.; Роб, Ф.; Колар, М.; Широа, Д.; Крейзингер, Дж.; Жакова, З.; Рубалова Р.; Куфаль, С.; Мишула, М.; Тон, Т.; и другие. Характеристика микробиоты кожи отличает пациентов с ВЗК и отражает нежелательные явления со стороны кожи во время терапии анти-TNF. Передний. Клетка. Заразить. Микробиол. 2023, 12, 1064537. [\[CrossRef\]](#)
32. Аркси, Х.; О'Мэлли, Л. Обзорные исследования: на пути к методологической основе. Межд. Дж. Сок. Рез. Методол. 2005, 8, 19-32. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
33. Левак, Д.; Колкухун, Х.; О'Брайен, К.К. Обзорные исследования: развитие методологии. Осуществлять. наук. 2010, 5, 69. [\[CrossRef\]](#)
34. Пауэлл, Э.Дж.; Эллис, Дж.Р. Протокол обзора масштабов: изменения в микробиоме кожи после дерматологических вмешательств. 2024 г. Доступно онлайн: <https://www.protocols.io/view/scoping-review-protocol-changes-in-skin-microbiome-261ge53owg47/v2> . (по состоянию на 16 мая 2024 г.).
35. Трикко, АС; Лилли, Э.; Зарин, В.; О'Брайен, КК; Колкухун, Х.; Левак, Д.; Мохер, Д.; Питерс, доктор медицинских наук; Хорсли, Т.; Уикс, Л.; и другие. Расширение PRISMA для обзорных проверок (PRISMA-ScR): контрольный список и пояснения. Анна. Стажер. Мед. 2018, 169, 467-473. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
36. Тернбо, П. Дж.; Лей, RE; Хамади, М.; Фрейзер-Лиггетт, СМ; Найт, Р.; Гордон, Дж.И. Проект микробиома человека. Природа 2007, 449, 804-810. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
37. Американская медицинская ассоциация: CPT — современная процедурная терминология. Доступно онлайн: <https://www.ama-assn.org/amaone/cpt-текущая-процедурная-терминология> (по состоянию на 17 мая 2024 г.).
38. Дол, Дж.; Тьютельман, РР; Чемберс, Коннектикут; Барвик, М.; Дрейк, ЕК; Паркер, Дж.А.; Паркер, Р.; Бенчмол, Э.И.; Джордж, РБ; Витteman, Х.О. Использование социальных сетей исследователями здравоохранения: обзорный обзор. Дж. Мед. Интернет Рес. 2019, 21, e13687. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
39. Ратод, Д.Г.; Мунер, Х.; Масуд, С. Фототерапия. В StatPearls; StatPearls Publishing: Остров сокровищ, Флорида, США, 2024 г.
40. Парк, Ж.-Ю.; Ким, С.-М.; Ким, Ж.-Х. Эффективность фототерапии эксимерным светом 308 Нм при дисбиозе микробиома кожи и коже Барьерная дисфункция при атопическом дерматите собак. Передний. Ветеринар. наук. 2021, 8, 762961. [\[CrossRef\]](#)
41. Кwon, С.; Чой, Ю; Шин, Дж.-В.; Ха, Ч.-Х.; Парк, К.-К.; Ду, М.-Х.; Юн, С.; На, Ж.-И. Изменения в пораженной и неповрежденной коже Микробиом при лечении атопического дерматита. Акта Дерм. Венереол. 2019, 99, 284-290. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
42. Лоссиус, А.Х.; Сунднес, О.; Ингхэм, АС; Эдслев, С.М.; Бьёрнхольт, СП; Лилье, Б.; Брэдли, М.; Асад, С.; Харальдсен, Г.; Скитт- Андерсен, П.; и другие. Изменения в микробиоте кожи после лечения УФБ при атопическом дерматите у взрослых. Дерматология 2022, 238, 109-120. [\[Перекрестная ссылка\]](#)

43. Хупер, МД; Энрикес, GL; Веон, Флорида; Левитт, TM; Суини, Д.; Грин, С.Дж.; Сид, ПК; Чой, Дж.; Гитарт, Дж.; Бернс, МБ; и другие. Реакция на узкополосный ультрафиолет В при кожной Т-клеточной лимфоме характеризуется увеличением бактериального разнообразия и снижением количества *Staphylococcus aureus* и *Staphylococcus lugdunensis*. *Передний. Иммунол.* 2022, 13, 1022093. [\[CrossRef\]](#)
44. Юань, Х.; Ван, Л.; Мэн, Д.; Ву, Л.; Ван, Х.; Чжан, Д.; Луо, З.; Панг, Ю.; Лю, Г. Влияние NB-UVB на профиль микробного сообщества в пораженной коже у пациентов с витилиго. *Микроб. Патог.* 2020, 140, 103943. [\[CrossRef\]](#)
45. Го, Ю.; Цзэн, М.; Юань, Ю.; Юань, М.; Чен, Ю.; Ю, Х.; Лю, Р.; Руан, З.; Се, К.; Цзяо, Х.; и другие. Фотодинамическая терапия лечит прыщи путем изменения состава микробиоты кожи. *Рес. кожи. Технол.* 2022, 29, e13269. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
46. Ян, Ю.; Тао, С.; Цзэн, Р.; Чжэн, Х.; Ге, Ю. Модуляция микробиома кожи у пациентов с акне с помощью фотодинамической терапии аминолевулиновой кислотой. *Фотодиагностика Фотодин. Там.* 2021, 36, 102556. [\[CrossRef\]](#)
47. Тао, С.; Ван, З.; Цюань, К.; Ге, Ю.; Цянь, В. Влияние ALA-PDT на микробиоту волосисто-сальных единиц пациентов с тяжелой формой Акне: метагеномное исследование. *Фотодиагностика Фотодин. Там.* 2021, 33, 102050. [\[CrossRef\]](#)
48. Лю, Дж.; Лю, Л.; Чжоу, Л.; Чен, Л.; Чен, Х.; Сюн, Х.; Дэн, Ю. Влияние интенсивного импульсного света на микробиоту кожи и Эпидермальный барьер у пациентов с обыкновенными угрями легкой и средней степени тяжести. *Лазерная хирургия. Мед.* 2021, 53, 1348–1355. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
49. Муньос Деклар, С.; Д'Алессандро, А.; Гори, А.; Серасуоло, Б.; Ренци, С.; Берланда, М.; Зини, Э.; Моничи, М.; Кавальери, Д.; Зана, Г. Оценка влияния лазерной терапии ближнего инфракрасного диапазона с многоволновой системой блокировки на микробиом кожи у собак с атопией. *Животные* 2024, 14, 906. [\[CrossRef\]](#)
50. Юзенене А.; Моан, Дж. Благотворное воздействие УФ-излучения, помимо производства витамина D. *Дерматоэндокринология* 2012, 4, 109–117. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
51. Ассарссон, М.; Дюветорп, А.; Динус, О.; Сёдерман, Дж.; Зайферт О. Значительные изменения в микробиоме кожи у пациентов с хроническим бляшечным псориазом после лечения узкополосным ультрафиолетом В. *Acta Derm. Венереол.* 2018, 98, 428–436. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
52. Доттеруд, ЛК; Вильсгаард, Т.; Ворланд, Л.Х.; Фальк Е.С. Влияние УФВ-излучения на микробиоту кожи у больных атопическим дерматитом. *Дерматит и здоровый контроль. Межд. J. Circumpolar Health* 2008, 67, 254–260. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
53. Бернс, Э.М.; Ахмед, Х.; Иседе, ПН; Кохли, И.; Ван Дер Пол, В.; Шахин, А.; Музаффар, А.Ф.; Аль-Садек, К.; Фой, ТМ; Абдель-Гаввад, MS; и другие. Ультрафиолетовое излучение, как UVA, так и UVB, влияет на состав микробиома кожи. *Эксп. Дерматол.* 2019, 28, 136–141. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
54. Куросаки Ю.; Цурумачи, М.; Камата, Ю.; Томинага, М.; Шуга, Ю.; Такамоори, К. Влияние обработки эксимерным светом 308 Нм на микробиом кожи пациентов с атопическим дерматитом. *Фотодерматол. Фотоиммунол. Фотомед.* 2020, 36, 185–191. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
55. Гласс, GE. Фотобиомодуляция: обзор молекулярных данных по низкоинтенсивной светотерапии. *Ж. Пласт. Реконстр. Эстет. Хирург.* 2021, 74, 1050–1060. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
56. Бинер, Г.; Массон-Мейерс, DS; Бума, В.В.; Хасси, Г.; Стоунман, MR; Энвемека, CS; Райку, В. Синий/фиолетовый лазер инактивирует метициллин-резистентный золотистый стафилококк путем изменения его трансмембранного потенциала. *Дж. Фотохим. Фотобиол. Б* 2017, 170, 118–124. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
57. Массон-Мейерс, Д.С.; Бума, В.В.; Бинер, Г.; Райку, В.; Энвемека, К.С. Относительное антимикробное действие синего светодиода 405 Нм и синего лазера 405 Нм на метициллин-резистентный золотистый стафилококк in vitro. *Лазеры Мед. наук.* 2015, 30, 2265–2271. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
58. Парк, С.; Джанг, Х.; Сон, Ш.; Ким, JY; Ли, Э.Дж.; Бэ, YJ; Ан, Ю.Дж.; Ким, Дж.; О, Ш. Влияние длинноимпульсной александритовой лазерной терапии на покраснение лица и состав микробиоты кожи при розацеа: проспективное многоцентровое одностороннее клиническое исследование. *Фотодерматол. Фотоиммунол. Фотомед.* 2024, 40. [\[CrossRef\]](#)
59. Рупель, К.; Зупин, Л.; Оттавиани, Г.; Бертани, И.; Мартинелли, В.; Поррелли, Д.; Водрет, С.; Вуерих, Р.; Пассос да Силва, Д.; Буссани, Р.; и другие. Синий лазерный свет подавляет образование биопленок in vitro и in vivo, вызывая окислительный стресс. *npj Biofilms Microbiomes* 2019, 5, 29. [\[CrossRef\]](#)
60. Ши, Л.; Лю, П.; Лю, Дж.; Ян, Ю.; Чен, К.; Чжан, Ю.; Чжан, Х.; Ван, Х. Применение 5-аминолевулиновой кислоты – фотодинамический. *Терапия распространенных кожных заболеваний. Перевод Биофотоника* 2020, 2, e201900028. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
61. Ван, Ю.; Чжу, В.; Шу, М.; Цзян, Ю.; Галло, РЛ; Лю, Ю.-Т.; Хуанг, К.-М. Реакция комменсальных бактерий кожи человека на отражение УФ-излучения: УФ-В снижает выработку порфирина. *PLoS ONE* 2012, 7, e47798. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
62. Пуриан, Б.; Кейхан, СО; Чавошинезад М. Химический пилинг. «Интегрированные процедуры в косметической хирургии лица»; Кейхан С.О., Фаттах Т., Багери С.К., Бохлули Б., Амирзаде-Иранак М.Х., ред.; Springer International Publishing: Чам, Швейцария, 2021 г.; стр. 413–420. ISBN 978-3-030-46993-1.
63. Шао, Х.; Чен, Ю.; Чжан, Л.; Чжан, Ю.; Ариявати, А.; Чен, Т.; Чен, Дж.; Лю, Л.; Пу, Ю.; Ли, Ю.; и другие. Влияние 30% супрамолекулярного пилинга с салициловой кислотой на микробиоту кожи и воспаление у пациентов с обыкновенными угрями средней и тяжелой степени. *Дерматол. Там.* 2023, 13, 155–168. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[ПабМед\]](#)
64. Бхардвадж, В.; Хэндлер, МЗ; Мао, Дж.; Азадеган, К.; Панда, ПК; Бройнинг, Х.Г.; Венкус, И.; Диас, И.; Кениг, К. Новая технология синергетического пилинга для профессионального использования для уменьшения видимой гиперпигментации на лице: клинические данные и понимание механизмов с помощью компьютерной биологии и оптической биопсии. *Эксп. Дерматол.* 2024, 33, e15069. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
65. Янссенс-Бёккер, К.; Висвег, К.; Доберенц, К. Тканевая маска с нативным коллагеном улучшает здоровье и внешний вид кожи: комплексный препарат тщательная клиническая оценка. *Дж. Космет. Дерматол.* 2024, 23, 1685–1702. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[ПабМед\]](#)
66. Фроммгерц, Л.; Рейнхольц, М.; Гюртлер, А.; Стадлер, ПК; Кеммерер, Т.; Френч, Л.; Кланнер-Энгельсхофен, Б.М. Эффект высокочастотных устройств in vitro: перспективный подход в лечении обыкновенных угрей? Ан. Бюстгальтеры. *Дерматол.* 2022, 97, 729–734. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
67. Сюй, ССУ; Лемуан, Дж.; Альберт, А.; Виртер, Э.М.; Барретт, Ассамблея сообщества RDH по микробиому пирсинга человека. *Учеб. Р. Сок. Б Биол. наук.* 2023, 290, 20231174. [\[CrossRef\]](#) [\[ПабМед\]](#)

68. Йылмаз, ОФ; Сармыс, А.; Мутлу, Массачусетс; Огуз, Х. Влияет ли татуировка роговицы на микробиоту конъюнктивы? Кутан. Окул. Токсикол. 2024, 43, 46–51. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
69. Вербанич С.; Шен, Ю.; Ли, Дж.; Дикон, Дж. М.; Чен И.А. Микробные предикторы заживления и кратковременное влияние санационной обработки на микробиом хронических ран. NPJ Biofilms Microbiomes 2020, 6, 21. [\[CrossRef\]](#) [\[ПабМед\]](#)
70. Шеннон, СЕ. Математическая теория связи. Белл Сист. Тех. Дж. 1948, 27, 379–423. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
71. Уиткин Э.М. Радиационно-индуцированные мутации и их репарация. Наука 1966, 152, 1345–1353. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[ПабМед\]](#)
72. Эпе, Б.; Хеглер, Дж.; Уайлд, Д. Синглетный кислород как предельно активная форма при повреждении ДНК Salmonella Typhimurium Метиленовым синим/видимым светом. Канцерогенез 1989, 10, 2019–2024 гг. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[ПабМед\]](#)
73. Любарт Р.; Липовский А.; Ницан, Ю.; Фридманн, Х. Возможный механизм бактерицидного действия видимого света. Лазерная Тер. 2011, 20, 17–22. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
74. де Ягер, ТЛ; Кокрелл, А.Е.; Дю Плесси, С.С. Генерация активных форм кислорода, индуцированная ультрафиолетовым светом. Адв. Эксп. Мед. Биол. 2017, 996, 15–23. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
75. Липовский А.; Ницан, Ю.; Геданкен, А.; Лубарт, Р. Убийство бактерий, вызванное видимым светом, как функция длины волны: Значение для заживления ран. Лазерная хирургия. Мед. 2010, 42, 467–472. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[ПабМед\]](#)
76. Хонес, К.; Бауэр, Р.; Спеллерберг, Б.; Хеслинг, М. Микробная фотоинактивация видимым светом приводит к ограниченной потере Целостность мембраны. Антибиотики 2021, 10, 341. [\[CrossRef\]](#) [\[ПабМед\]](#)
77. Маккензи, К.; Маклин, М.; Грант, Миннесота; Рамакришнан, П.; МакГрегори, С.Дж.; Андерсон, Дж. Г. Влияние света с длиной волны 405 Нм на целостность бактериальных мембран, определяемое с помощью анализов толерантности к соли и желчи, утечки поглощающего УФ-излучение материала и зеленой маркировки SYTOX. Микробиология 2016, 162, 1680–1688. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
78. Ван, Монтана; Лин, Дж. Ю. Современные данные и применение фотодинамической терапии в дерматологии. Клини. Космет. Расследование. Дерматол. 2014, 7, 145–163. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[ПабМед\]](#)
79. Вунш А.; Матушка, К. Контролируемое исследование по определению эффективности лечения красным и ближним инфракрасным светом для удовлетворенности пациентов, уменьшения тонких линий, морщин, шероховатости кожи и увеличения внутрикожной плотности коллагена. Фотомед. Лазерная хирургия. 2014, 32, 93–100. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[ПабМед\]](#)
80. Аблон Г. Фототерапия светодиодами. Дж. Клини. Эстетический Дерматол. 2018, 11, 21–27.
81. Ким, С.; Ким, Дж.; Лим, В.; Чон, С.; Ким, О.; Кох, Ж.-Т.; Ким, К.-С.; Чой, Х.; Ким, О. Бактерицидные эффекты облучения светодиодами с длиной волны 625, 525 и 425 Нм (красный, зеленый и синий) in vitro . Фотомед. Лазерная хирургия. 2013, 31, 554–562. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
82. Энвемека, СС; Бейкер, ТЛ; Бумах В.В. Роль УФ и синего света в фотоэрадикации микроорганизмов. Дж. Фотохим. Фотобиол. 2021, 8, 100064. [\[CrossRef\]](#)
83. Хаджи Дж.; Ву, С.; Брайтуэлл, Дж. Антимикробный синий свет против патогенных бактерий: механизм, применение в пищевой промышленности, Препятствующие технологии и потенциальное сопротивление. Foods 2020, 9, 1895 г. [\[CrossRef\]](#)
84. Гало, IDC; Прадо, РП; Сантос, WGD Фотоэмиттеры синего и красного света как подход к ингибированию золотистого стафилококка и Рост Pseudomonas aeruginosa. Браз. Ж. Биол. 2021, 82, e231742. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
85. Манчини, С.; Куомо, Р.; Поджиалини, М.; Д'Аньелло, К.; Ботта, Г. Автотоксическая очистка и управление бактериальной нагрузкой с помощью окклюзионного гидроактивного средства для снятия защитного слоя, пропитанного полигексаметиленбигуанидом. Акта Био Медика Атений Парм. 2017, 88, 409–413. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[ПабМед\]](#)
86. Песня, Х.; Ли, Р.; Чжан, К.; Он, С.; Ван, Ю. Антибактериальный эффект и возможный механизм действия микрокапсул салициловой кислоты против Escherichia coli и Staphylococcus aureus. Межд. Дж. Энвирон. Рез. Общественное здравоохранение 2022, 19, 12761. [\[CrossRef\]](#) [\[ПабМед\]](#)
87. Кристенсен, GJM; Шольц, CFP; Энгильд, Дж.; Роде, Х.; Килян, М.; Тюрмер, А.; Бжушкевич Э.; Ломхольт, Х.Б.; Брюггеманн, Х. Антагонизм между Staphylococcus Epidermidis и Propionibacterium Acnes и его геномная основа. БМК Геном. 2016, 17, 152. [\[CrossRef\]](#) [\[ПабМед\]](#)
88. Французик, В.; Франке, К.; Шуман, Р.Р.; Гейне, Г.; Червь, М. Обилие Propionibacterium Acnes обратно коррелирует с золотистым стафилококком: данные микробиома кожи при атопическом дерматите. Акта Дерм. Венерол. 2018, 98, 490–495. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[ПабМед\]](#)
89. Фриц, С.А.; Уайли, Теннесси; Гула, Х.; Хоган, РГ; Бойл, МГ; Муэнкс, СЕ; Салливан, МЛ; Бернем, Калифорния-нашей эры; Уайли, КМ Продольная динамика бактериальных сообществ кожи в условиях деколонизации Staphylococcus aureus. Микробиол. Спектр. 2022, 10, e02672-21. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[ПабМед\]](#)
90. Сан-Мигель, Эй Джей; Мейзель, Дж. С.; Хорвински, Дж.; Чжэн, К.; Брэдли, С.В.; Грейс, Е.А. Антисептические агенты вызывают краткосрочные, персонализированные и специфические для тела изменения в местных бактериальных сообществах кожи. Дж. Расследование. Дерматол. 2018, 138, 2234–2243. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[ПабМед\]](#)
91. Сан-Мигель, Эй Джей; Мейзель, Дж. С.; Хорвински, Дж.; Чжэн, К.; Грейс, Е.А. Местное противомикробное лечение может вызвать изменения в местных бактериальных сообществах кожи и уменьшить колонизацию конкурентами Staphylococcus aureus. Антимикроб. Агенты Химиотер. 2017, 61, e00774-17. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
92. Вонгпьябоворн, Дж.; Сунторчай, В.; Виланто, А.; Паласюк, М.; Паюнгпорн, С.; Содсай, П.; Пумипак, В.; Вешавалит, С.; Ручусасават, К.; Бэйли, GS; и другие. Влияние такролимуса на микробиом кожи при атопическом дерматите. Аллергия 2019, 74, 1400–1406. [\[Перекрестная ссылка\]](#)

Отказ от ответственности/Примечание издателя: Заявления, мнения и данные, содержащиеся во всех публикациях, принадлежат исключительно отдельному автору(ам) и соавторам(ам), а не MDPI и/или редактору(ам). MDPI и/или редактор(ы) не несут ответственности за любой вред людям или имуществу, возникший в результате любых идей, методов, инструкций или продуктов, упомянутых в контенте.