



Revoir

Modifications du microbiome cutané suite à des examens dermatologiques

Procédures : examen de la portée

Jeremy R. Ellis¹ , Eron J. Powell² , Luke M. Tomasovic¹ et Darshan Sivaloganathan^{1,*}

, Rachel L. Marcheskie³ , Vishruth Girish¹

¹ École de médecine, Université Johns Hopkins, Baltimore, MD 21205, États-Unis ; jellis44@jhmi.edu (JRE);

ltomaso1@jhu.edu (LMT); vgirish1@jhmi.edu (VG); awarman2@jhmi.edu (AW)

² École des sciences biologiques, Université de l'Utah, Salt Lake City, UT 84112, États-Unis ; eron@sciencewithsandy.com

³ École de santé publique Johns Hopkins Bloomberg, Baltimore, MD 21205, États-Unis ; rmarche5@jh.edu

* Correspondance : dsivalo1@jhmi.edu

Résumé : Le microbiome cutané est constitué de bactéries, de champignons, de virus et d'acariens, qui jouent un rôle crucial dans le maintien de la santé de la peau et de la fonction immunitaire. Les déséquilibres de cette communauté microbienne, appelés dysbiose, sont impliqués dans diverses affections dermatologiques. Bien que les produits de soin soient connus pour influencer le microbiome cutané, les effets des procédures dermatologiques n'ont pas été étudiés de manière approfondie. Ici, nous effectuons une revue de la portée pour décrire les études portant sur les impacts des interventions dermatologiques sur le microbiome cutané. La photothérapie est apparue comme l'intervention la plus étudiée, englobant la photothérapie UV, la luminothérapie, la thérapie au laser et la thérapie photodynamique. Les interventions chimiques, telles que les peelings chimiques, la micropigmentation et le débridement, ont fait l'objet d'études relativement limitées décrivant leurs impacts sur le microbiome cutané. À ce jour, aucune étude n'a été réalisée sur une grande variété de procédures dermatologiques courantes telles que la cryothérapie, les greffes de peau et la dermabrasion, qui pourraient avoir de plus fortes chances d'affecter le microbiome cutané. Cela souligne la nécessité de poursuivre les recherches sur les influences des procédures dermatologiques, en particulier des interventions chimiques et physiques, sur le microbiome cutané. Des études précliniques et cliniques plus complètes sont essentielles non seulement pour comprendre les conséquences à long terme de ces procédures, mais également pour optimiser les résultats pour les patients en matière de soins dermatologiques.

Mots-clés : microbiome cutané ; dysbiose; microbiome cutané ; intervention dermatologique



Référence : Ellis, JR ; Powell, EJ ; Tomasovic, LM; Marcheskie, RL; Girish, V. ; Warman, A. ; Sivaloganathan, D. Modifications du microbiome cutané suite à des procédures dermatologiques : une revue de la portée. *Appl. Microbiol.* 2024, 4, 972-985. <https://doi.org/10.3390/applmicrobiol4020066>

Rédacteur académique : Ian Connerton

Reçu : 23 mai 2024

Révisé : 12 juin 2024

Accepté : 12 juin 2024

Publié : 18 juin 2024



Copyright : © 2024 par les auteurs.
Licencié MDPI, Bâle, Suisse.

Cet article est un article en libre accès distribué selon les termes et

conditions des Creative Commons

Licence d'attribution (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Le microbiome cutané comprend les micro-organismes qui habitent la peau humaine. Cette communauté comprend des bactéries, des champignons, des virus et des acariens, qui jouent tous un rôle dans le maintien de la santé de la peau [1]. La composition du microbiome varie en fonction de l'emplacement du corps, des conditions environnementales, de l'âge, du sexe et de l'état de santé individuel [2-4]. Les bactéries sont les microbes les plus abondants présents sur la peau, avec des genres clés tels que *Staphylococcus*, *Corynebacterium* et *Propionibacterium* [5]. Ces bactéries habitent des niches spécifiques de la peau, telles que les glandes sébacées, les follicules pileux et les glandes sudoripares [6]. Les champignons, principalement du genre *Malassezia*, sont particulièrement répandus dans les zones sébacées (productrices d'huile) [7]. Les virus, y compris les bactériophages qui infectent les bactéries, font également partie du microbiome cutané, bien qu'ils soient moins étudiés que les bactéries et les champignons [8]. De plus, les arthropodes tels que l'acarien *Demodex* résident le long des follicules pileux et dans les glandes sébacées [9].

Le microbiome cutané est essentiel à la santé de la peau et remplit diverses fonctions essentielles. L'un de ses principaux rôles est la protection contre les agents pathogènes. Le microbiome agit à la fois comme une barrière physique et chimique, les bactéries commensales rivalisant avec les microbes pathogènes pour les ressources et l'espace [10]. Des bactéries telles que *Cutibacterium* acids produisent des substances antimicrobiennes qui inhibent la croissance des pathogènes [11]. De plus, le microbiome cutané sert à éduquer les réponses immunitaires chez l'hôte grâce à des métabolites microbiens tels que les acides gras

peptides antimicrobiens, modulines solubles dans le phénol et composants de la paroi cellulaire [12]. La dysbiose, un déséquilibre ou une perturbation de la composition native du microbiome, a été impliquée dans des affections telles que la dermatite atopique, qui se caractérise par des microenvironnements cutanés présentant une diversité réduite et une régulation positive de la sensibilisation de l'hôte aux antigènes liés aux microbes [13], alors que des affections telles que l'acné a été associée à une prolifération de *C. acnés* [14].

Le microbiome cutané sert également à maintenir l'intégrité de la barrière physique cutanée. Les microbes régulent la production de lipides cutanés qui renforcent la barrière cutanée. Par exemple, la production de céramides est impliquée dans la rétention de l'humidité et aide à prévenir la détérioration [15]. Certains microbes jouent également un rôle dans la formation des jonctions serrées et dans le fonctionnement des kératinocytes [16]. Les biofilms bénéfiques offrent également une protection contre les agents pathogènes à la fois physiquement et de manière compétitive [17].

D'un point de vue surdimensionné, la relation entre les humains et les microbes qui dérivent sur leur peau est symbiotique. Ces passagers séculaires ont co-évolué avec les humains, remplissant des rôles bénéfiques tels que la décomposition du sébum [18,19], le maintien de l'équilibre du pH cutané [20-22] et la production d'antioxydants [23].

Plusieurs facteurs influencent la composition du microbiome cutané. Des différences génétiques telles que les prédispositions aux maladies auto-immunes sont impliquées dans les microbiomes cutanés individuels [8]. Le climat, la pollution, les pratiques d'hygiène et même les vêtements ont un impact sur le microbiome [3,24,25]. L'âge et les changements hormonaux, en particulier pendant la puberté et la sénescence, modifient le paysage microbien [2,26-28]. Les problèmes de santé systémiques tels que le diabète et la maladie du côlon irritable, ainsi que les problèmes cutanés comme le psoriasis et la dermatite atopique, peuvent perturber le microbiome cutané [29-31].

Les dermatologues savent depuis longtemps que certains produits de soin de la peau affectent également l'équilibre microbien. Les ingrédients contenus dans les savons, les antibiotiques et les cosmétiques peuvent entraîner une dysbiose [4]. Cependant, la manipulation de l'intégrité du microbiome cutané due aux interventions dermatologiques procédurales, telles que les excisions, la dermabrasion, la thérapie au laser et d'autres procédures physiques, est moins bien comprise. Compte tenu de l'importance du microbiome cutané, nous cherchons à définir l'étendue actuelle de la littérature explorant les altérations du microbiome cutané causées par des procédures dermatologiques.

2. Méthodes

Une revue de l'étendue actuelle de la littérature concernant les effets des interventions dermatologiques sur le microbiome cutané a été réalisée en suivant les lignes directrices décrites par Arksey et O'Malley [32] et Levac et al. [33]. Un protocole d'examen de la portée a été développé pour guider le processus et a été enregistré sur protocols.io [34]. Il est accessible sur <https://dx.doi.org/10.17504/protocols.io.261ge53owg47/v2> (consulté le 16 mai 2024).

Cet article est conforme à l'extension PRISMA conçue pour les revues de cadrage [35].

2.1. Critères d'éligibilité Les

études ont été incluses sur la base de trois critères d'inclusion initiaux. Les études doivent avoir été publiées en 2007 ou après, car c'était l'année du début du Human Microbiome Project [36]. Les études ont été sélectionnées si elles contenaient l'expression microbiome cutané /microbiote/microflore dans le titre, les mots-clés ou le résumé. Il convient de noter que certaines études ont été incluses sans préciser la peau s'il était évident, d'après le contexte, qu'elles y étaient liées. Les études n'ont également été incluses que si elles traitaient directement d'interventions dermatologiques. Une liste d'interventions dermatologiques approuvées a été créée par l'équipe en utilisant les codes de terminologie procédurale actuelle (CPT®) de l'American Medical Association (AMA) pour la dermatologie [37]. Au total, 23 catégories d'interventions dermatologiques ont été déterminées. Les interventions consistant uniquement à utiliser des pommades, des crèmes ou des émoullients topiques ont été écartées.

Les études ont été exclues si elles n'étaient pas disponibles en anglais ou si elles ne correspondaient pas aux objectifs généraux de la revue. Les études traitant de la bactériothérapie et des pré/post-biotiques ont été exclues car ces traitements sont principalement conçus pour modifier les microbiomes et favoriser la croissance microflorale. Comme mentionné ci-dessus, les études autorisées ne pouvaient pas traiter

avec des crèmes, des pommades topiques, etc. De même, les études ont été exclues si elles utilisaient une forme de traitement oral, intraveineux ou toute autre forme de traitement systémique. Enfin, les études devaient évaluer directement les effets sur le microbiome cutané et ne pas impliquer de traitement contre la dysbiose ou d'autres problèmes connexes. Les meilleures études étaient celles qui traitaient directement de l'effet d'une intervention dermatologique localisée sur le microbiome cutané.

2.2. Identification et sélection des études

Une recherche a été effectuée sur PubMed à l'aide de l'outil de recherche avancée le 12 mai 2024. Les années incluses étaient de 2007 à 2030. La stratégie de recherche a été réalisée selon un protocole similaire à une revue de cadrage réalisée par Dol et al. en 2019 [38]. Les termes clés ont été sélectionnés et inclus dans la recherche à l'aide de l'outil de recherche avancée comme suit : « ((chirurgie de l'acné) OU (biopsie excisionnelle) OU (excision) OU (débride) OU (injection) OU (tatouages) OU (micropigmentation) OU (greffe) OU (chirurgie au laser) OU (électrochirurgie) OU (cryochirurgie) OU (chimiochirurgie) OU (curettage chirurgical) OU (photothérapie) OU (dermabrasion) OU (peeling chimique) OU (cautérisation chimique) OU (mohs) OU (peeling cutané) OU (électrolyse) OU (radiation)) ET (microbiome cutané) ».

Après les résultats de la recherche initiale, le titre, le résumé et les mots-clés de chaque article ont été examinés pour trouver les articles correspondant aux critères d'inclusion. Les articles inclus ont ensuite été soumis à un examen complet et exclus s'ils correspondaient aux critères d'exclusion, en suivant les procédures décrites dans le protocole. Les articles supprimés lors de l'examen complet des articles ont vu leur motif d'exclusion noté.

2.3. Gestion des données

Les éléments d'intérêt ont été classés en catégories le cas échéant, approuvés par l'équipe du projet et formatés dans un document Google. Les études incluses ont ensuite été répertoriées et évaluées par deux examinateurs pour chaque élément d'intérêt. Si le document incluait l'élément d'intérêt, la catégorie correcte était répertoriée en dessous. Ces données ont ensuite été déplacées vers une feuille Google pour faciliter la synthèse des données. Les éléments d'intérêt étaient la description de l'intervention dermatologique ; valeur n du sujet d'étude ; long terme ou court terme (où le long terme était défini comme une durée d'étude de plus d'une semaine) ; condition de la peau ; et les espèces concernées.

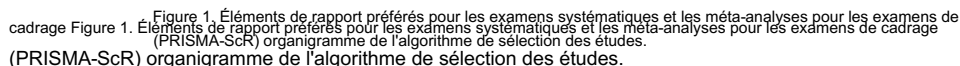
3. Résultats

La requête initiale a identifié 524 articles potentiels à inclure. La sélection des titres, des résumés et des mots clés a exclu 407 articles qui ne répondaient pas aux critères d'inclusion. Un examen approfondi et complet des articles a conduit à l'exclusion de 93 articles pour les raisons décrites dans la figure 1. Les éléments d'intérêt ont ensuite été extraits des 24 articles restants inclus.

Les articles inclus ont été menés auprès de trois espèces distinctes, à savoir les humains, les chiens et les souris. Au total, 87,5 % des articles ont été réalisés avec des sujets humains tandis que 8,3 % ont été réalisés avec des chiens et le même pourcentage avec des souris. Notez qu'un article incluait à la fois des sujets humains et des souris. La taille moyenne de l'échantillon était de 21,2, allant de 5 à 125 (tableaux 1 et 2). Aucun article n'a étudié les effets de la majorité des catégories d'intervention décrites ci-dessus, en particulier la cautérisation chimique, la dermabrasion, les greffes de peau, la cryothérapie, la chirurgie de l'acné, la biopsie excisionnelle, l'injection, l'électrochirurgie, le curetage chirurgical, le Mohs, l'électrolyse et la radiothérapie.

3.1. La photothérapie modifie considérablement le microbiome cutané

Nous avons observé que plus de 70 % des études portant sur les effets des procédures dermatologiques sur le microbiome cutané étaient liées à la photothérapie (Tableau 1). Ce traitement thérapeutique exploite diverses longueurs d'onde de lumière pour traiter des affections telles que le psoriasis, l'eczéma, le vitiligo et la dermatite atopique en modulant les processus cellulaires et en réduisant l'inflammation. Il comprend plusieurs grands types de traitements utilisés dans les études examinées, à savoir la photothérapie UV, la luminothérapie, la thérapie au laser et la thérapie photodynamique [39]. Elle est généralement associée à une augmentation de la diversité du microbiome [40–47]. Cependant, certaines études n'ont trouvé aucun changement significatif à cet égard [48,49].



La photothérapie UV-A est particulièrement utile pour la suppression immunitaire et l'induction de la régénération de la peau. Nous avons observé des effets bénéfiques de la thérapie UV-A sur les cellules de la peau, en particulier les cellules de la peau atteintes de psoriasis, de vitiligo et de dermatite atopique [50]. Ce traitement thérapeutique exploite diverses longueurs d'onde de lumière pour traiter des affections telles que le psoriasis, le vitiligo et la dermatite atopique [50]. Il est généralement efficace pour réduire l'eczéma, le vitiligo et la dermatite atopique en modulant les processus cellulaires et en réduisant l'inflammation. Il comprend plusieurs grands types de traitements utilisés tout au long de l'étude examinée - l'ablation des cellules de la peau, la thérapie par laser, la thérapie par laser à excimer, la thérapie par laser à excimer à bande étroite (NB-UVB) et la thérapie par laser à excimer à bande étroite (NB-UVB) [51]. Les effets de la thérapie par laser à excimer à bande étroite (NB-UVB) sur la suppression immunitaire et l'induction de la régénération de la peau ont été étudiés dans des études antérieures [52]. Cependant, et al. n'ont trouvé aucune augmentation initiale du microbiote après trois effets ultraviolets B à bande étroite (NB-UVB) [53].

La photothérapie UV-A a été particulièrement utile pour la suppression immunitaire et les dommages à l'ADN dans les cellules ciblées. Il s'agit d'un traitement courant pour diverses affections telles que le psoriasis, le vitiligo et la dermatite atopique [50]. Il est généralement efficace pour réduire les pathologies non significatives ou limitées de la peau, en particulier Staphylococcus aureus [41,43,51,52], tout en augmentant l'abondance. La thérapie au laser à excimer à bande étroite (NB-UVB) a été utilisée pour traiter les cellules de la peau atteintes de psoriasis, de vitiligo et de dermatite atopique [50].

Une étude a rapporté l'efficacité de la thérapie au laser à excimer à bande étroite (NB-UVB) pour la suppression immunitaire et l'induction de la régénération de la peau [55]. Plus récemment, il a été démontré qu'il avait des effets antibactériens sur Pseudomonas aeruginosa, montrant une formation de biofilm inhibée, mais uniquement en l'absence de la thérapie au laser à excimer à bande étroite (NB-UVB) [56].

Une étude a rapporté l'efficacité de la thérapie au laser à excimer à bande étroite (NB-UVB) pour la suppression immunitaire et l'induction de la régénération de la peau [55]. Plus récemment, il a été démontré qu'il avait des effets antibactériens sur Pseudomonas aeruginosa, montrant une formation de biofilm inhibée, mais uniquement en l'absence de la thérapie au laser à excimer à bande étroite (NB-UVB) [56].

La thérapie photodynamique (PDT) implique l'application d'un agent photosensibilisant appelé **acide 5-aminolévulinique (ALA)** à la peau, qui est absorbé par les cellules et converti en protoporphyrine IX. La zone traitée est exposée à des longueurs d'onde de lumière spécifiques. La protoporphyrine IX absorbe la lumière et génère des espèces réactives de l'oxygène (ROS). Ces ROS détruisent sélectivement les cellules ciblées [60]. Cependant, cette procédure bimodale d'application d'ALA et de lumière ciblée se prête à des considérations accrues lors de l'évaluation de la cause de impacts sur le microbiome. Deux des trois études ont montré une augmentation générale de la diversité après traitement, tandis que Guo et al. constaté une légère diminution de la diversité alpha après le traitement qui a diminué avec les traitements ultérieurs [44,45,61]. Le traitement ALA-PDT a également conduit à diminution de certaines bactéries impliquées dans les maladies de la peau, comme *C. acnés*.

Tableau 1. Études éligibles récupérées décrivant les effets de la luminothérapie sur le microbiome cutané, avec résumés.

Auteur	Année	Dermatologique Procédure	Taille de l'étude (n)	Durée de l'étude	Condition	Espèces	Résultats
Burns et coll. [53]	Photothérapie UV 2019		6	Court terme (24 h)	Aucun	Humain	Il y a eu une augmentation du nombre de cyanobactéries, ainsi qu'une diminution du nombre de cyanobactéries. Lactobacillacées et Pseudomonacées.
Kwong et coll. [41]	Photothérapie UV 2019		18 (13 étaient soumis aux UV)	Longue durée (9 semaines)	La dermatite atopique	Humain	La diversité microbienne de la peau lésionnelle a augmenté après le traitement. Le La proportion de Staphylococcus aureus a diminué avec le traitement.
Lossius et coll. [42]	Photothérapie UV 2021		16	Dermatite atopique à long terme (6 à 8 semaines)		Humain	Le microbiote cutané lésionnel de la MA a montré une plus grande diversité après 6 à 8 semaines de traitement, tandis que le NLS et le microbiote nez/gorge resté inchangé. Aucun changement significatif dans le microbiote n'a été observé après seulement trois traitements NB-UVB.
Hooper et coll. [43]	Photothérapie UV 2022		40 (25 exposés, 15 contrôle)	Long terme (~6,2 mois)	Lymphome cutané humain		La diversité microbienne a augmenté chez les répondeurs NB-UVB. Le relatif l'abondance de S. aureus et de Staphylococcus lugdunensis a été réduite après traitement. Des niveaux plus élevés de Staphylococcus capitis et Staphylococcus warneri a été enregistré dans la peau lésionnelle du répondeur avant NB-UVB. Diminution de S. aureus et augmentation de S. capitis, Staphylococcus hominis, Staphylococcus pettenkoferi et S. warneri des niveaux ont été trouvés dans la peau du répondeur après le traitement. Staphylocoque l'abondance des espèces est plus similaire entre les non-répondants et les patients non-NB-UVB qu'entre répondeurs et patients non-NB-UVB.
Assarsson et coll. [51]	2018 Photothérapie UV		26	Longue durée (10,5 semaines)	Plaque Chronique Psoriasis	Humain	Augmentation de l'abondance relative de Clostridium et diminution relative l'abondance de Pseudomonas s'est produite à la fois dans les zones lésionnelles et peau non lésionnelle, ainsi qu'une augmentation de Megasphaera dans peau non lésionnelle.
Dotterud et coll. [52]	2008 Photothérapie UV		40 (20 dermatite, 20 contrôle)	Longue durée (6 semaines)	La dermatite atopique	Humain	Le nombre de S. aureus dans la peau lésée a montré une diminution non significative après 4 semaines de traitement, avec une légère augmentation observée après un Suivi de 2 semaines. Des tendances similaires ont été observées chez les patients non lésionnels la peau et le front.
Wang et coll. [61]	2012 Photothérapie UV		5 humains, 5 souris	Court terme (1 jour)	Aucun	Humain et Souris	Une production réduite de porphyrine s'est produite dans les bactéries du visage humain et dans les oreilles de souris inoculées par Cutibacterium acnés.
Yuan et coll. [44]	Photothérapie UV 2020		60	N / A	Vitiligo	Humain	Le groupe NB a montré des indices de diversité significativement plus élevés par rapport à NF, alors que les groupes NF et DB ne différaient pas significativement. Staphylococcus, Bacillus et Prevotella ont été enrichis en DF par rapport à DB, tandis que Propionibacterium a montré le tendance inverse.
Parc et coll. [40]	Photothérapie UV 2021		20 (10 avec atopique dermatite, 10 sans)	Longue durée (2 mois)	La dermatite atopique	Chien	La photothérapie a modifié le microbiome cutané chez les chiens atteints de MA, augmentation des actinobactéries et des cyanobactéries et diminution Staphylococcus pseudintermedius. Une diversité alpha plus élevée s'est produite après le traitement.

Tableau 1. Suite							
Auteur	Année	Dermatologique Procédure	Taille de l'étude (n)	Durée de l'étude	Condition	Espèces	Résultats
Kurosaki et coll. [54]	Photothérapie UV 2020		22 (11 lésionnels, 11 non lésionnels)	Longue durée (2 mois)	La dermatite atopique	Humain	Une augmentation des Cyanobactéries et une diminution des Bacteroidetes survenu dans la peau lésionnelle. Une réduction significative de l'abondance de S. aureus a également été trouvé au niveau de l'espèce dans la peau lésionnelle.
Liu et coll. [48] 2021		Luminothérapie	39 (20 acné, 19 en bonne santé)	Longue durée (3 mois)	Acné	Humain	Il y a eu une augmentation significative de l'abondance relative de Staphylococcus epidermidis, tandis que C. acnés a diminué.
Muñoz Declara et coll. [49]	2024	Thérapie au Laser (905 nm, 808 nm)	20	Court terme (6 jours)	La dermatite atopique	Chien	Aucune altération significative de la composition ou de la diversité du microbiome ont été observés, mais une diminution de l'abondance relative de S. pseudintermedius a été observé dans les zones traitées de certains chiens.
Parc et coll. [58]	2023	Thérapie au laser (755 nm) 21		Longue durée (3 mois)	Rosacée	Humain	Il y a eu une diminution de l'abondance relative de Cutibacterium, Streptocoque, Clostridium, Bacteroides et Lactobacillus. Une augmentation dans l'abondance relative des Staphylococcus, Neisseriaceae, Corynebacterium, Anaerococcus et Lawsonella sont également présents. Là Il y avait une diminution de la diversité alpha après le traitement.
Rupel et coll. [59]	2019	Thérapie au laser (445 nm)	15 (8 traitements, 7 contrôle)	Court terme (célibataire application)	Aucun	Souris	La lumière laser bleue a diminué Pseudomonas aeruginosa in vitro et in vivo. Cela a inhibé la formation de biofilm.
Guo et coll. [45]	2022	ALA Photodynamique Thérapie	26 (18 avec acné, 8 sans)	Longue durée (3 semaines)	Acné	Humain	Une diversité alpha réduite s'est produite après le traitement. Il n'y avait pas différence statistiquement significative observée entre différents groupes pour C. acnés au niveau du genre. Il y a eu une augmentation du abondance de Pseudomonas, Gordonia, Leptotrichia et Mycobacterium, les rétablissant à des niveaux sains.
Yang et coll. [46]	2021	ALA Photodynamique Thérapie	5	Longue durée (2 mois)	Acné	Humain	La PDT a inhibé C. acnés dans le microbiome folliculaire. Bacille et Le nombre de lactocoques a augmenté après la PDT. ALA-PDT a augmenté le microbiome diversité et a rendu le microbiome folliculaire plus semblable au microbiome épidermique sur le plan taxonomique et fonctionnel.
Tao et coll. [47] 2021		ALA Photodynamique Thérapie	11	Longue durée (6 semaines)	Acné	Humain	Il y a eu une diminution notable de l'abondance relative de C. acnés, alors que Pseudomonas fluorescens a augmenté de manière significative. Aucun effet sur S. epidermidis a été trouvé. De plus, ALA-PDT était corrélé avec une diversité accrue du microbiote et des réductions de la abondance de gènes fonctionnels liés au métabolisme énergétique et Réplication de l'ADN.

NB-UVB = ultraviolet-B à bande étroite ; AD = Dermatite atopique ; NF = peau normale avant radiothérapie ; NB = peau normale après radiothérapie ; DF = peau lésionnelle avant radiothérapie ; DB = lésionnel peau après radiothérapie; ALA = acide 5-aminolévulinique ; PDT = thérapie photodynamique ; NLS = peau non lésionnelle.

3.2. Diverses procédures dermatologiques affectent le microbiome cutané

Études sur les interventions dermatologiques autres que la photothérapie et leurs effets sur le microbiome cutané a une portée relativement limitée (Tableau 2).

Interventions chimiques/physiques : les

peelings chimiques en dermatologie sont utilisés pour améliorer l'apparence de la peau en traitant des affections telles que l'acné, l'hyperpigmentation et les signes du vieillissement à l'aide d'une solution chimique qui exfolie la peau et favorise le renouvellement cellulaire [62]. Les agents couramment utilisés sont l'acide alpha-hydroxy (AHA), l'acide bêta-hydroxy (BHA), l'acide trichloroacétique (TCA) et le phénol. Les peelings chimiques utilisés par Shao et al. (30 % de TCA) et Bhardwaj et al. (peeling synergique multi-acides exclusif) ont tous deux montré une diminution constante de certaines populations bactériennes telles que *Staphylococcus* et *Propionibacterium*, bien que les changements globaux dans la diversité du microbiome variaient [63,64]. Les masques au collagène sont censés hydrater la peau, améliorer son élasticité et réduire l'apparence des rides et ridules en fournissant une source directe de collagène pour soutenir la structure et la fermeté de la peau. Ces masques, lorsqu'ils sont utilisés sur des périodes prolongées, peuvent augmenter les indices de diversité microbienne mais présentent des différences négligeables par rapport à la peau non traitée, suggérant un impact limité à long terme sur l'équilibre microbien [65]. La seule étude sur la thérapie à haute fréquence a montré une réduction des espèces bactériennes et des dermatophytes (Tableau 2), indiquant son potentiel de modulation microbienne ciblée (66).

Une seule étude a observé que les traitements physiques, tels que les piercings esthétiques, modifient le microbiome en diminuant *C. acnés* tout en augmentant *Staphylococcus epidermidis*, reflétant spécifiquement des changements localisés du microbiome (67). La micropigmentation est utilisée à des fins cosmétiques, ainsi que pour des applications médicales, notamment le camouflage des cicatrices et du vitiligo, grâce au dépôt précis de pigment dans la couche dermique de la peau. Une étude observant les effets de la micropigmentation spécifiquement sur la cornée n'a trouvé aucune altération significative du microbiome oculaire, suggérant un impact minime sur les communautés microbiennes dans ce contexte spécifique (68). Le débridement, même s'il ne modifie pas immédiatement le microbiome de la plaie, révèle une association entre certains genres bactériens et des plaies qui ne cicatrisent pas, soulignant l'influence potentielle de la procédure sur l'évolution des plaies chroniques [69]. Collectivement, ces études illustrent les effets nuancés de diverses interventions dermatologiques sur la composition du microbiome cutané ; les changements dans le microbiote semblent être spécifiques à la procédure.

Cependant, ces résultats reposent sur des recherches limitées et des études supplémentaires sont nécessaires pour approfondir notre compréhension de ces effets.

Tableau 2. Études éligibles récupérées décrivant les effets des procédures dermatologiques chimiques et physiques sur le microbiome cutané, avec résumés.

Auteur	Année	Dermatologique Procédure	Taille de l'étude (n)	Durée de l'étude	Condition	Espèces	Résultats
Shao et coll. [63]	2023	Peeling chimique	28	Longue durée (2 mois)	Acné	Humain	Les proportions de Staphylococcus et de Propionibacterium avaient tendance à diminuer.
Bhardwaj et coll. [64]	2024	Peeling chimique	9	Court terme (célibataire application, 20 minutes)	Hyperpigmentation	Humain	Augmentation non significative de l'indice de diversité de Shannon, un indice mathématique mesure de la diversité des espèces au sein d'une communauté [70]. Bêta la diversité est restée constante. Aucun changement dans l'abondance de Staphylococcus epidermidis. Réduction des acnés Cutibacterium. Diminution de la porphyrine.
Janssens- Böcker et al. [65]	2024	Masque	28	Longue durée (4 semaines)	Aucun	Humain	L'indice de diversité de Shannon a augmenté de manière significative par rapport au départ, mais n'a montré aucune différence par rapport aux zones non traitées. Le genre Staphylococcus, ainsi que S. epidermidis, ont spécifiquement diminué significativement au fil du temps, mais pas par rapport aux zones non traitées. Non des changements significatifs ont été observés pour Corynebacterium, Pseudomonas, ou C. acnés entre les moments ou par rapport aux zones non traitées.
Frommherz et coll. [66]	2022	Électrothérapie (Thérapie HF)	N / A	N / A	Acné	N / A	Les espèces bactériennes ont diminué, notamment Aerococcus viridans, Bacillus cereus, Aerococcus urinaeequi, Staphylococcus lugdunensis, Staphylococcus haemolyticus, Micrococcus yunnanensis, Micrococcus luteus et les espèces Mycobacterium. Les dermatophytes ont diminué nombre de colonies après le traitement par HF, y compris Trichophyton benhamiae, Trichophyton rubrum, Trichophyton mentagrophytes, Trichophyton violaceum et Microsporum canis.
Xu et coll. [67]	2023	Perçant	28	Longue durée (2 semaines)	Aucun	Humain	Diminution de la fréquence relative de C. acnés et augmentation significative augmentation de la fréquence relative de S. epidermidis dans le microbiome perçant.
Yilmaz et coll. [68]	2023	Micropigmentation	125 (35 cornéen tatouages, 40 cornéens leucome, 50 en bonne santé)	Inconnu	Leucome cornéen	Humain	Aucune différence significative entre les yeux natifs et tatoués.
Verbanic et coll. [69]	2020	Débridement	20	Court terme (juste après débridement)	Plaie chronique	Humain	Un débridement brutal n'a pas directement modifié le microbiome de la plaie par rapport à la surface originale de la plaie. Cependant, les aérobies et les anaérobies facultatifs, en particulier le genre Enterobacter, ont été significativement associés à des blessures qui n'ont pas guéri à l'intérieur 6 mois.

HF = Haute fréquence.

4. Discussion et conclusions

Cette revue met en évidence l'étendue de la recherche concernant les impacts des procédures dermatologiques sur le microbiome cutané. Les résultats soulignent les effets variables des différentes interventions, la photothérapie étant la plus étudiée. La photothérapie montre généralement une augmentation de la diversité microbienne après le traitement. Alors que la plupart des interventions ont montré un certain effet, la photothérapie a eu l'effet le plus prononcé sur le microbiome cutané. Cela n'est pas surprenant, car il a été démontré que les traitements par la lumière tuent les bactéries en induisant des dommages à l'ADN [71,72], en produisant des espèces oxydantes réactives [73-75] et en endommageant les membranes cellulaires [76,77]. Cependant, les résultats varient, certaines études ne rapportant aucun changement significatif. Ces divergences suggèrent que les effets de la photothérapie sur le microbiome cutané peuvent être influencés par des facteurs tels que les longueurs d'onde spécifiques de la lumière utilisée, l'affection traitée et les différences individuelles des patients.

On sait depuis longtemps que l'étiologie d'affections cutanées telles que le psoriasis et la dermatite atopique est liée à des processus inflammatoires locaux dans les lésions cutanées des patients atteints. La photothérapie est une modalité utilisée par les dermatologues pour traiter les lésions en modulant l'inflammation locale. Ceci a été soutenu par de nombreuses études démontrant l'efficacité de la photothérapie pour réduire les symptômes et améliorer l'apparence de la peau [78-80]. Cependant, cela présente un dilemme apparent. Bien que la photothérapie puisse apporter un bénéfice immédiat à ces patients, si la photothérapie modifie le microbiome cutané de manière néfaste, cela peut potentiellement atténuer les bénéfices à court terme.

Par exemple, Liu et al. (2021) ont constaté que les patients subissant une lumineothérapie pour l'acné présentaient une augmentation de l'abondance des espèces de *Staphylococcus* dans les zones cutanées traitées [48]. Cela implique le potentiel de dysbiose post-traitement, qui a ironiquement été liée à la dermatite atopique. A l'inverse, certaines études, comme celle de Hooper et al. (2022), ont montré que le traitement par photothérapie UV chez les patients atteints de lymphome cutané entraînait une diminution des espèces de *Staphylococcus*, tandis que Kwong et al. ont découvert que le traitement entraînait une augmentation de la diversité microbienne [41,43]. Cela indique que la lumineothérapie pourrait soit altérer négativement le microbiome natif, soit potentiellement le restaurer, en fonction du contexte et des affections traitées. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour élucider les mécanismes précis par lesquels la photothérapie affecte le microbiome cutané et pour déterminer si la photothérapie pourrait effectivement provoquer une dysbiose, et si oui, à quel niveau.

De plus, différentes longueurs d'onde de lumière en photothérapie peuvent avoir des effets variés sur le microbiome, ce qui nécessite des études pour explorer ces variables. Il est également généralement admis que des longueurs d'onde spécifiques affectent les bactéries de différentes manières, les longueurs d'onde UV et bleues étant généralement considérées comme plus destructrices que la lumière rouge ou infrarouge [73, 81-84]. Il est intéressant de noter que les études que nous avons examinées suggèrent que, globalement, la thérapie par la lumière UV entraîne une augmentation de la diversité microbienne et une diminution des bactéries pathogènes telles que *S. aureus*, alors que la thérapie au laser, quelle que soit la longueur d'onde, entraîne une diminution des densités bactériennes chez toutes les espèces testées [40-44,49,51-54,58,59,61]. Les raisons ne sont pas claires, mais elles pourraient être dues à l'amplification optique inhérente à la thérapie au laser. Lubart et coll. ont découvert que la lumière visible de faible intensité est bénéfique à la croissance bactérienne tandis que la lumière de haute intensité tue les bactéries, fournissant une explication possible [73].

Notre revue indique que les études sur les interventions dermatologiques autres que la photothérapie sur le microbiome cutané ont été de portée relativement limitée et que leur effet sur le microbiome cutané est moins clair. La seule étude concernant le perçage a révélé un effet significatif sur les abondances relatives de *S. epidermidis* et de *C. acnés*, et les auteurs attribuent cela au passage à un environnement local plus humide après le perçage [67]. Cependant, d'autres traitements physiques n'ont entraîné aucun changement significatif. Le débridement était particulièrement surprenant, car il s'agit d'une méthode permettant d'éliminer de la peau les tissus malsains, contenant souvent des bactéries pathogènes [85]. Cela peut être dû au fait que notre protocole d'inclusion n'a donné lieu qu'à une seule étude sur les effets de ce traitement. De même, pour les interventions chimiques, seul le peeling à l'acide salicylique (SA) a eu un effet significatif sur le microbiome cutané, en diminuant les espèces trop abondantes de *Staphylococcus* et de *Propionibacterium* chez les patients dysbiotiques [63]. Il a déjà été démontré que l'AS présente des effets inhibiteurs et bactéricides sur *S. aureus* in vitro [86]. Ce

peuvent indiquer que l'effet modulateur du microbiome dans ces peelings chimiques est dû à l'ingrédient actif (SA), et non au véhicule de peeling ou à l'action physique du peeling pendant le traitement. Cela met en évidence la nécessité de futures études examinant comment les interventions physiques et chimiques pourraient potentiellement conduire à une dysbiose et leurs impacts à long terme sur la peau des patients. Par exemple, les différentes compositions chimiques utilisées dans les peelings, telles que l'AHA, le BHA, le TCA et le phénol, peuvent affecter différemment le microbiome. Des études de suivi approfondies sont essentielles pour comprendre les effets prolongés de ces interventions.

Les interactions microbiennes jouent également un rôle important dans la dynamique entre le microbiome cutané et les interventions dermatologiques. Il a déjà été démontré que *C. acnes* avait une relation inverse avec *S. epidermidis* [87,88]. Les études de Liu et al. et Xu et al. ont observé des diminutions de *C. acnes* et des augmentations de *S. epidermidis* après la luminothérapie et le perçage, respectivement [48,67]. Cela peut être un exemple de relation antagoniste dans laquelle la diminution de *C. acnes* était provoquée par l'intervention dermatologique initiale et l'augmentation de *S. epidermidis* était concomitante et secondaire à la diminution de la densité de *C. acnes*.

Une autre relation plus large a été trouvée dans deux études de photothérapie UV qui ont montré une relation inverse entre la diversité microbienne et *S. aureus* (41,43). Cela peut suggérer que la photothérapie UV réduit les niveaux de *S. aureus*, permettant ainsi des densités plus élevées de concurrents de *S. aureus*. Dans l'ensemble, la compétition entre les espèces influence la composition du microbiome cutané après le traitement.

Nous avons spécifiquement inclus des études axées sur les interventions dermatologiques de nature procédurale, en utilisant comme point de départ les codes CPT® actuels de l'AMA pour la dermatologie. Cela a fourni une base standardisée pour identifier les procédures à inclure. Les interventions consistant uniquement en pommades ou crèmes topiques ont été écartées car elles ne sont pas définies dans les codes de procédure. Cependant, des études ont montré que les antibiotiques/antiseptiques topiques en particulier ont provoqué des modifications du microbiome cutané (89-91). De même, les stéroïdes topiques tels que le tacrolimus jouent également un rôle dans la modulation du microbiome cutané chez les patients atteints de dermatite atopique, une étude révélant que les traitements au tacrolimus entraînent une augmentation de la diversité du microbiome cutané similaire à celle observée chez les individus en bonne santé (92). Cependant, cette étude était limitée en raison de la faible taille de son échantillon. Des études supplémentaires devraient être réalisées pour élucider toute la portée des effets des crèmes et onguents topiques sur le microbiome.

Parmi nos 21 catégories initiales dérivées du code CPT®, seuls le débridement, le tatouage, la micropigmentation, l'électrochirurgie, la photothérapie, la chirurgie au laser et le peeling chimique étaient représentés, avec des masques de collagène trouvés accidentellement. Cette lacune indique un besoin important de recherche sur un éventail plus large de procédures dermatologiques. Plus précisément, des procédures telles que la cryothérapie, qui modifient radicalement la température des surfaces cutanées ciblées, pourraient avoir un impact important sur le microbiote local. D'autres domaines de recherche potentiels comprennent, sans s'y limiter, la dermabrasion, les greffes de peau, la cautérisation chimique et la radiothérapie.

Le potentiel du recours à des interventions dermatologiques pour modifier et restaurer délibérément un microbiome sain est un domaine mûr pour l'exploration. S'il s'avère que certaines procédures favorisent un microbiome équilibré et diversifié, elles pourraient être utilisées non seulement pour traiter les pathologies cutanées, mais également pour maintenir ou améliorer la santé globale de la peau.

Les interventions dermatologiques sont des mesures nécessaires pour traiter diverses affections cutanées ; cependant, il existe un besoin crucial d'évaluer leurs impacts à long et à court terme sur le microbiome cutané, en particulier en ce qui concerne le potentiel d'induction d'une dysbiose. Il existe un grand manque de connaissances concernant les effets de nombreuses procédures dermatologiques sur le microbiome cutané. Notre revue met en évidence la complexité des relations connues, comme en témoignent les réponses variées observées au travers des différentes interventions. Par exemple, alors que certaines études suggèrent que certains traitements peuvent entraîner des modifications dans la diversité microbienne ou dans l'abondance de taxons spécifiques, d'autres indiquent un potentiel de restauration microbienne. Cela souligne également la nécessité de mener davantage de recherches sur les procédures dermatologiques négligées telles que la cryothérapie, les greffes de peau et la dermabrasion. Des enquêtes de suivi approfondies visant à déterminer si les procédures dermatologiques perturbent le microbiome natif et précipitent la dysbiose pourraient améliorer la pratique clinique et optimiser les résultats pour les patients en matière de soins dermatologiques.

5. Limites

Cette revue a été réalisée selon la méthodologie PRISMA-ScR ; cependant, une seule base de données, PubMed, a été utilisée. De plus, les données extraites des études, en particulier les résultats, étaient de nature qualitative et descriptive, et des erreurs potentielles lors de l'extraction complète sont donc possibles. Cependant, deux évaluateurs ont été utilisés pour atténuer les erreurs. Les termes de recherche utilisés pour capturer les procédures dermatologiques peuvent ne pas être exhaustifs, mais ils ont été adaptés des codes dermatologiques CPT® de l'AMA, qui constituent la référence en matière de définition des procédures médicales.

Contributions des auteurs : Conceptualisation, JRE et EJP ; méthodologie, JRE et EJP ; validation, JRE, EJP et LMT ; analyse formelle, JRE, EJP et LMT ; enquête, JRE et EJP ; ressources, JRE et EJP ; conservation des données, JRE et EJP ; rédaction : préparation du projet original, JRE et EJP ; rédaction : révision et édition, JRE, EJP, LMT, RLM, VG, AW et DS ; visualisation, JRE, EJP et RLM ; supervision, JRE et DS ; administration du projet, JRE et DS Tous les auteurs ont lu et accepté la version publiée du manuscrit.

Financement : Cette recherche n'a reçu aucun financement externe.

Remerciements : Nous remercions Cédric Ward pour son soutien moral tout au long du projet.

Conflits d'intérêts : Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêts.

Les références

- Kong, HH Skin Microbiome : informations basées sur la génomique sur la diversité et le rôle des microbes cutanés. *Tendances Mol. Méd.* 2011, 17, 320-328. [\[Référence croisée\]](#)
- Ying, S. ; Zeng, DN ; Chi, L. ; Tan, Y. ; Galzote, C. ; Cardona, C. ; Lax, S. ; Gilbert, J. ; Quan, Z.-X. L'influence de l'âge et du sexe sur les communautés microbiennes associées à la peau dans les populations humaines urbaines et rurales. *PLoS ONE* 2015, 10, e0141842. [\[Référence croisée\]](#)
- Dimitriu, PA ; Iker, B. ; Malik, K. ; Leung, H. ; Mohn, WW ; Hillebrand, GG Nouveaux aperçus sur les facteurs intrinsèques et extrinsèques Cela façonne le microbiome de la peau humaine. *mBio* 2019, 10, e00839-19. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
- Skowron, K. ; Bauza-Kaszewska, J. ; Kraszewska, Z. ; Wiktorczyk-Kapischke, N. ; Grudlewska-Buda, K. ; Kwiecinska-Piróg, J. ; Wał ecka-Zacharska, E. ; Radtke, L. ; Gospodarek-Komkowska, E. Microbiome cutané humain : impact des facteurs intrinsèques et extrinsèques sur le microbiote cutané. *Microorganismes* 2021, 9, 543. [\[CrossRef\]](#)
- Scharschmidt, TC ; Fischbach, MA Ce qui vit sur notre peau : écologie, génomique et opportunités thérapeutiques du microbiome cutané. *Découverte de médicaments. Aujourd'hui Dis. Mécanique.* 2013, 10, e83-e89. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
- Kong, HH ; Segre, JA Microbiome cutané : regarder en arrière pour aller de l'avant. *J. Enquête. Dermatol.* 2012, 132, 933-939. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
- Vijaya Chandra, SH ; Srinivas, R. ; Dawson, TL ; Malassezia cutanée commune, JE : commensale, pathogène ou protectrice ? *Devant. Cellule. Infecter. Microbiol.* 2021, 10, 614446. [\[CrossRef\]](#)
- Schommer, NN ; Gallo, RL Structure et fonction du microbiome de la peau humaine. *Tendances Microbiol.* 2013, 21, 660-668. [\[Référence croisée\]](#)
- Foley, R. ; Kelly, P. ; Gatault, S. ; Powell, F. Demodex : un résident de la peau chez l'homme et son meilleur ami. *J.Eur. Acad. Dermatol. Vénéréol.* 2021, 35, 62-72. [\[Référence croisée\]](#)
- Lee, H.-J. ; Kim, M. Fonction de barrière cutanée et microbiome. *Int. J. Mol. Sci.* 2022, 23, 13071. [\[Réf. croisée\]](#)
- Claesen, J. ; Spagnolo, JB ; Ramos, SF ; Kurita, KL ; Byrd, AL ; Aksenov, AA ; Melnik, AV ; Wong, WR ; Wang, S. ; Hernández, RD ; et coll. Un antibiotique Cutibacterium Acnes module la composition du microbiote de la peau humaine dans les follicules pileux. *Sci. Trad. Méd.* 2020, 12, eaay5445. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
- Belkaid, Y. ; Segre, JA Dialogue entre microbiote cutané et immunité. *Sciences* 2014, 346, 954-959. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
- Roesner, LM ; Werfel, T. ; Heratizadeh, A. Le système immunitaire adaptatif dans la dermatite atopique et implications sur le traitement. *Expert Révéré Clin. Immunol.* 2016, 12, 787-796. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
- Toyoda, M. ; Morohashi, M. Pathogénèse de l'acné. *Méd. Microsc. électronique.* 2001, 34, 29-40. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
- Zheng, Y. ; Chasse, RL ; Villaruz, AE ; Fisher, EL ; Liu, R. ; Liu, Q. ; Cheung, GYC ; Li, M. ; Otto, M. Commensal Staphylococcus Epidermidis contribue à l'homéostasie de la barrière cutanée en générant des céramides protecteurs. *Microbe hôte cellulaire* 2022, 30, 301–313.e9. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
- Sultane, R. ; McBain, AJ ; O'Neill, CA Augmentation dépendante de la souche de la fonction de barrière à jonction étroite dans les kératinocytes épidermiques primaires humains par les lysats de Lactobacillus et de Bifidobacterium. *Appl. Environ. Microbiol.* 2013, 79, 4887-4894. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
- Percival, SL ; Emmanuel, C. ; Coupe, KF ; Williams, DW Microbiologie de la peau et rôle des biofilms dans l'infection. *Int. Blessure J.* 2012, 9, 14-32. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)

18. Swaney, MH; Nelsen, A. ; Sandström, S. ; Kalan, LR Préférences de sueur et de sébum du microbiote cutané humain. Microbiol. Spectre. 2023, 11, e04180-22. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
19. Townsend, CE ; Kalan, LR L'équilibre dynamique du microbiome cutané tout au long de la vie. Biochimie. Soc. Trans. 2023, 51, 71-86. [\[Référence croisée\]](#)
20. Youn, SH; Choi, CW; Choi, JW; Youn, SW Le pH de la surface de la peau et ses différentes influences sur le développement des lésions d'acné Selon le sexe et l'âge. Peau Rés. Technologie. 2013, 19, 131-136. [\[Référence croisée\]](#)
21. Wang, Y. ; Kuo, S. ; Shu, M. ; Yu, J. ; Huang, S. ; Dai, A. ; Deux, A. ; Gallo, RL; Huang, C.-M. Staphylococcus Epidermidis dans le microbiome de la peau humaine intervient dans la fermentation pour inhiber la croissance de Propionibacterium Acnes : implications des probiotiques dans l'acné vulgaire. Appl. Microbiol. Biotechnologie. 2014, 98, 411-424. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
22. Nodake, Y. ; Matsumoto, S. ; Miura, R. ; Honda, H. ; Ishibashi, G. ; Matsumoto, S. ; Dekio, moi. ; Sakakibara, R. Étude pilote sur une nouvelle méthode de soins de la peau par augmentation avec Staphylococcus epidermidis, un microbe cutané autologue - Un essai clinique randomisé en aveugle. J. Dermatol. Sci. 2015, 79, 119-126. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
23. Andersson, T. ; Ertürk Bergdahl, G. ; Saleh, K. ; Magnúsdóttir, H. ; Stødkilde, K. ; Andersen, CBF; Lundqvist, K. ; Jensen, A. ; Brüggemann, H. ; Lood, R. Les bactéries cutanées communes protègent leur hôte du stress oxydatif grâce à l'antioxydant sécrété RoxP. Sci. Rapport 2019, 9, 3596. [\[CrossRef\]](#) [\[Pub Med\]](#)
24. Callewaert, C. ; Ravard Helffer, K. ; Lebaron, P. Microbiome cutané et son interaction avec l'environnement. Suis. J. Clin. Dermatol. 2020, 21, 4-11. [\[Référence croisée\]](#)
25. Sanders, D. ; Gründén, A. ; Dunn, RR Une revue de la microbiologie des vêtements : l'histoire des vêtements et le rôle des microbes dans Textiles. Biol. Lett. 2021, 17, 20200700. [\[CrossRef\]](#) [\[Pub Med\]](#)
26. Smythe, P. ; Wilkinson, HN Le microbiome cutané : paysage actuel et opportunités futures. Int. J. Mol. Sci. 2023, 24, 3950. [\[Référence croisée\]](#)
27. Parc, J. ; Schwardt, New Hampshire; Jo, J.-H. ; Zhang, Z. ; Pillai, V. ; Phang, S. ; Brady, SM ; Portillo, JA; MacGibeny, MA; Liang, H. ; et coll. Changements dans les communautés bactériennes et fongiques cutanées des enfants en bonne santé en transition jusqu'à la puberté. J. Enquête. Dermatol. 2022, 142, 212-219. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
28. Schneider, AM; Nolan, ZT ; Banerjee, K. ; Paine, AR ; Cong, Z. ; Gettle, SL; Longenecker, AL; Zhan, X. ; Agak, GW; Nelson, AM Evolution du microbiome de la peau du visage pendant la puberté dans les peaux normales et acnéiques. J.Eur. Acad. Dermatol. Vénérolog. 2023, 37, 166-175. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
29. Mazur, M. ; Tomczak, H. ; Lodyga, M. ; Czajkowski, R. ; Zaba, R. ; Adamski, Z. Le microbiome de la peau humaine et sa variabilité dans le psoriasis et la dermatite atopique. Av. Dermatol. Allergol. Dermatol. Alergol. 2021, 38, 205-209. [\[Référence croisée\]](#)
30. Gardiner, M. ; Vicaretti, M. ; Étinclles, J. ; Bansal, S. ; Bush, S. ; Liu, M. ; Chéri, A. ; Harry, E. ; Burke, CM Une étude longitudinale de la Peau diabétique et microbiome des plaies. PeerJ 2017, 5, e3543. [\[Référence croisée\]](#)
31. Reiss, Z. ; Rob, F. ; Kolar, M. ; Schierova, D. ; Kreisinger, J. ; Jackova, Z. ; Roubalova, R. ; Coufal, S. ; Mihula, M. ; Thon, T. ; et coll. La signature du microbiote cutané distingue les patients atteints de MII et reflète les événements indésirables cutanés pendant le traitement anti-TNF. Devant. Cellule. Infecter. Microbiol. 2023, 12, 1064537. [\[CrossRef\]](#)
32. Arksey, H. ; O'Malley, L. Études de cadrage : vers un cadre méthodologique. Int. J. Soc. Rés. Méthode. 2005, 8, 19-32. [\[Référence croisée\]](#)
33. Levac, D. ; Colquhoun, H. ; O'Brien, KK Scoping Studies : Faire progresser la méthodologie. Mettre en œuvre. Sci. 2010, 5, 69. [\[Réf. croisée\]](#)
34. Powell, EJ; Ellis, JR Protocole d'examen de la portée : Changements dans les interventions post-dermatologiques du microbiome cutané. 2024. Disponible en ligne : <https://www.protocols.io/view/scoping-review-protocol-changes-in-skin-microbiome-261ge53owg47/v2> (consulté le 16 mai 2024).
35. Tricco, AC; Lily, E. ; Zarin, W. ; O'Brien, KK; Colquhoun, H. ; Levac, D. ; Moher, D. ; Peters, MDJ; Horsley, T. ; Semaines, L. ; et coll. Extension PRISMA pour les examens de cadrage (PRISMA-ScR) : liste de contrôle et explication. Anne. Interne. Méd. 2018, 169, 467-473. [\[Référence croisée\]](#)
36. Turnbaugh, PJ; Ley, RE; Hamady, M. ; Fraser-Liggett, CM; Chevalier, R. ; Gordon, JI Le projet sur le microbiome humain. Nature 2007, 449, 804-810. [\[Référence croisée\]](#)
37. American Medical Association : CPT—Terminologie procédurale actuelle. Disponible en ligne : <https://www.ama-assn.org/amaone/cpt-current-procedurale-terminologie> (consulté le 17 mai 2024).
38. Dol, J. ; Tutelman, PR ; Chambres, CT ; Barwick, M. ; Drake, EK ; Parker, JA; Parker, R. ; Benchimol, EI; George, RB ; Witteman, HO Utilisation des médias sociaux par les chercheurs en santé : examen de la portée. J.Méd. Résolution Internet. 2019, 21, e13687. [\[Référence croisée\]](#)
39. Rathod, DG; Muner, H. ; Masood, S. Photothérapie. Dans StatPearls ; StatPearls Publishing : Treasure Island, FL, États-Unis, 2024.
40. Park, J.-Y. ; Kim, SM ; Kim, J.-H. Efficacité de la photothérapie avec la lumière excimère de 308 Nm pour la dysbiose du microbiome cutané et la peau Dysfonctionnement de la barrière dans la dermatite atopique canine. Devant. Vétérinaire. Sci. 2021, 8, 762961. [\[CrossRef\]](#)
41. Kwon, S. ; Choi, JY ; Shin, J.-W. ; Hein, C.-H. ; Park, K.-C. ; Du, M.-H. ; Yoon, S. ; Na, J.-I. Modifications de la peau lésionnelle et non lésionnelle Microbiome pendant le traitement de la dermatite atopique. Acta Derm. Vénérolog. 2019, 99, 284-290. [\[Référence croisée\]](#)
42. Lossius, AH; Sundnes, O. ; Ingham, AC; Edslev, SM; Bjørnholt, JV ; Lilje, B. ; Bradley, M. ; Asad, S. ; Haraldsen, G. ; Skytt- Andersen, P. ; et coll. Modifications du microbiote cutané après un traitement UVB dans la dermatite atopique de l'adulte. Dermatologie 2022, 238, 109-120. [\[Référence croisée\]](#)

43. Hooper, MJ; Enriquez, GL; Veon, Floride ; LeWitt, TM; Sweeney, D. ; Vert, SJ ; Semences, PC ; Choi, J. ; Guitart, J. ; Burns, Manitoba ; et coll.
La réponse ultraviolette B à bande étroite dans le lymphome cutané à cellules T est caractérisée par une diversité bactérienne accrue et une réduction de *Staphylococcus aureus* et de *Staphylococcus lugdunensis*. *Devant. Immunol.* 2022, 13, 1022093. [\[CrossRef\]](#)
44. Yuan, X. ; Wang, L. ; Meng, D. ; Wu, L. ; Wang, X. ; Zhang, D. ; Luo, Z. ; Pang, Y. ; Liu, G. L'impact du NBUVB sur le profilage de la communauté microbienne dans la peau lésionnelle des sujets atteints de vitiligo. *Microbe. Pathogène.* 2020, 140, 103943. [\[Réf. croisée\]](#)
45. Guo, Y. ; Zeng, M. ; Yuan, Y. ; Yuan, M. ; Chen, Y. ; Yu, H. ; Liu, R. ; Ruan, Z. ; Xie, Q. ; Jiao, X. ; et coll. La thérapie photodynamique traite l'acné en modifiant la composition du microbiote cutané. *Peau Rés. Technologie.* 2022, 29, e13269. [\[Référence croisée\]](#)
46. Yang, Y. ; Tao, S. ; Zeng, R. ; Zheng, H. ; Ge, Y. Modulation du microbiome cutané chez les patients atteints d'acné par thérapie photodynamique à l'acide aminolévulinique. *Photodiagnostic Photodyn. Là.* 2021, 36, 102556. [\[Réf. croisée\]](#)
47. Tao, S. ; Wang, Z. ; Quan, C. ; Ge, Y. ; Qian, Q. Les effets de l'ALA-PDT sur le microbiote dans les unités pilo-sébacées de patients atteints de formes sévères Acné : une étude métagénomique. *Photodiagnostic Photodyn. Là.* 2021, 33, 102050. [\[Réf. croisée\]](#)
48. Liu, J. ; Liu, L. ; Zhou, L. ; Chen, L. ; Chen, X. ; Xiong, X. ; Deng, Y. L'effet de la lumière pulsée intense sur le microbiote cutané et Barrière épidermique chez les patients atteints d'acné vulgaire légère à modérée. *Chirurgie Laser. Méd.* 2021, 53, 1348-1355. [\[Référence croisée\]](#)
49. Muñoz Declara, S. ; D'Alessandro, A. ; Gori, A. ; Cerasuolo, B. ; Renzi, S. ; Berlanda, M. ; Zini, E. ; Monici, M. ; Cavalieri, D. ; Zanna, G.
Évaluation de l'impact de la thérapie laser à système verrouillé à plusieurs longueurs d'onde dans le proche infrarouge sur le microbiome cutané chez les chiens atopiques. *Animaux* 2024, 14, 906. [\[CrossRef\]](#)
50. Juzéniène, A. ; Moan, J. Effets bénéfiques du rayonnement UV autres que via la production de vitamine D. *Dermato-Endocrinologie* 2012, 4, 109-117. [\[Référence croisée\]](#)
51. Assarsson, M. ; Duvertorp, A. ; Dienus, O. ; Söderman, J. ; Seifert, O. Modifications significatives du microbiome cutané chez les patients atteints de psoriasis chronique en plaques après un traitement par ultraviolets à bande étroite B. *Acta Derm. Vénéréol.* 2018, 98, 428-436. [\[Référence croisée\]](#)
52. Dotterud, LK ; Wilsgaard, T. ; Vorland, LH ; Falk, ES L'effet des rayons UVB sur le microbiote cutané chez les patients atopiques
Dermatite et contrôles sains. *Int. J. Santé circumpolaire* 2008, 67, 254-260. [\[Référence croisée\]](#)
53. Brûlures, EM ; Ahmed, H. ; Isedeh, PN ; Kohli, moi ; Van Der Pol, W. ; Shaheen, A. ; Muzaffar, AF ; Al-Sadek, C. ; Foy, TM ; Abdel-gawwad, MS ; et coll. Les rayons ultraviolets, UVA et UVB, influencent la composition du microbiome cutané. *Exp. Dermatol.* 2019, 28, 136-141. [\[Référence croisée\]](#)
54. Kurosaki, Y. ; Tsurumachi, M. ; Kamata, Y. ; Tominaga, M. ; Suga, Y. ; Takamori, K. Effets du traitement par lumière excimère 308 Nm sur le microbiome cutané des patients atteints de dermatite atopique. *Photodermatol. Photoimmunol. Photomé.* 2020, 36, 185-191. [\[Référence croisée\]](#)
55. Glass, GE Photobiomodulation : Un examen des preuves moléculaires pour la luminothérapie de faible intensité. *J.Plast. Reconstruire. Esthète. Surg.* 2021, 74, 1050-1060. [\[Référence croisée\]](#)
56. Biener, G. ; Masson-Meyers, DS ; Bumah, VV ; Hussey, G. ; Stoneman, M. ; Enwemeka, CS ; Raicu, V. Le laser bleu/violet inactive le *Staphylococcus aureus* résistant à la méthicilline en modifiant son potentiel transmembranaire. *J. Photochem. Photobiol. B* 2017, 170, 118-124. [\[Référence croisée\]](#)
57. Masson-Meyers, DS ; Bumah, VV ; Biener, G. ; Raicu, V. ; Enwemeka, CS L'effet antimicrobien relatif de la LED bleue à 405 Nm et du laser bleu à 405 Nm sur *Staphylococcus aureus* résistant à la méthicilline in vitro. *Lasers Med. Sci.* 2015, 30, 2265-2271. [\[Référence croisée\]](#)
58. Parc, S. ; Jang, H. ; Seong, SH ; Kim, JY ; Lee, EJ ; Bae, YJ ; Ahn, YJ ; Kim, J. ; Oh, SH Les effets de la thérapie au laser alexandrite à impulsion longue sur les rougeurs du visage et les compositions du microbiote cutané dans la rosacée : un essai clinique prospectif, multicentrique et à un seul bras . *Photodermatol. Photoimmunol. Photomé.* 2024, 40. [\[Réf. croisée\]](#)
59. Rupel, K. ; Zupin, L. ; Ottaviani, G. ; Bertani, moi ; Martinelli, V. ; Porrelli, D. ; Vodret, S. ; Vuerich, R. ; Passos da Silva, D. ; Bussani, R. ; et coll. La lumière laser bleue inhibe la formation de biofilm in vitro et in vivo en induisant un stress oxydatif. *npj Biofilms Microbiomes* 2019, 5, 29. [\[CrossRef\]](#)
60. Shi, L. ; Liu, P. ; Liu, J. ; Yang, Y. ; Chen, Q. ; Zhang, Y. ; Zhang, H. ; Wang, X. Application de la photodynamique de l'acide 5-aminolévulinique
Thérapie des maladies cutanées courantes. *Trad. Biophotonique* 2020, 2, e201900028. [\[Référence croisée\]](#)
61. Wang, Y. ; Zhu, W. ; Shu, M. ; Jiang, Y. ; Gallo, RL ; Liu, Y.-T. ; Huang, C.-M. La réponse des bactéries commensales de la peau humaine en tant que reflet du rayonnement UV : les UV-B diminuent la production de porphyrine. *PLoS ONE* 2012, 7, e47798. [\[Référence croisée\]](#)
62. Poorian, B. ; Keyhan, SO ; Chavoshinejad, M. Peeling chimique. Dans les procédures intégrées en chirurgie esthétique du visage ; Keyhan, SO, Fattahi, T., Bagheri, SC, Bohluli, B., Amirzade-Iranqa, MH, Eds. ; Springer International Publishing : Cham, Suisse, 2021 ; pp. 413-420. ISBN978-3-030-46993-1.
63. Shao, X. ; Chen, Y. ; Zhang, L. ; Zhang, Y. ; Ariyawati, A. ; Chen, T. ; Chen, J. ; Liu, L. ; Pu, Y. ; Li, Y. ; et coll. Effet du peeling à l'acide salicylique supramoléculaire à 30 % sur le microbiote cutané et l'inflammation chez les patients atteints d'acné vulgaire modérée à sévère. *Dermatol. Là.* 2023, 13, 155-168. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
64. Bhardwaj, V. ; Gestionnaire, MZ ; Mao, J. ; Azadegan, C. ; Panda, PK ; Breunig, HG ; Wenskus, moi ; Diaz, moi ; König, K. Une nouvelle technologie de peeling synergique à usage professionnel pour réduire l'hyperpigmentation visible sur le visage : preuves cliniques et compréhension mécaniste par la biologie computationnelle et la biopsie optique. *Exp. Dermatol.* 2024, 33, e15069. [\[Référence croisée\]](#)
65. Janssens-Böcker, C. ; Wiesweg, K. ; Doberenz, C. Le masque en feuille au collagène natif améliore la santé et l'apparence de la peau : un Évaluation clinique approfondie. *J. Cosmet. Dermatol.* 2024, 23, 1685-1702. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
66. Frommherz, L. ; Reinholz, M. ; Gürtler, A. ; Stadler, PC ; Kaemmerer, T. ; Français, L. ; Clanner-Engelshofen, BM Effet des dispositifs à haute fréquence in vitro : approche prometteuse dans le traitement de l'acné vulgaire ? *Un. Bras. Dermatol.* 2022, 97, 729-734. [\[Référence croisée\]](#)
67. Xu, CCY ; Lemoine, J. ; Albert, A. ; Whirter, É.M. ; Barrett, Assemblée communautaire RDH du microbiome du perçage humain. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 2023, 290, 20231174. [\[Réf. croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)

68. Yilmaz, OF; Sarmis, A. ; Mutlu, MA ; Oguz, H. Le tatouage cornéen affecte-t-il le microbiote conjonctival ? Cutan. Ocul. Toxicol. 2024, 43, 46-51. [\[Référence croisée\]](#)
69. Verbanic, S. ; Shen, Y. ; Lee, J. ; Diacre, JM; Chen, IA Prédicteurs microbiens de la guérison et effet à court terme du débridement sur le microbiome des plaies chroniques. Microbiomes de biofilms NPJ 2020, 6, 21. [\[CrossRef\]](#) [\[Pub Med\]](#)
70. Shannon, CE Une théorie mathématique de la communication. Système Bell. Technologie. J. 1948, 27, 379-423. [\[Référence croisée\]](#)
71. Witkin, Mutations induites par les rayonnements EM et leur réparation. Sciences 1966, 152, 1345-1353. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
72. Epe, B. ; Hegler, J. ; Wild, D. L'oxygène singulet en tant qu'espèce finalement réactive chez Salmonella Typhimurium Dommages à l'ADN induits par bleu de méthylène/lumière visible. Carcinogénèse 1989, 10, 2019-2024. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
73. Lubart, R. ; Lipovski, A. ; Nitzan, Y. ; Friedmann, H. Un mécanisme possible pour l'effet bactéricide de la lumière visible. Laser Thermique. 2011, 20, 17-22. [\[Référence croisée\]](#)
74. de Jager, TL; Cockrell, AE; Du Plessis, SS Génération induite par la lumière ultraviolette d'espèces réactives de l'oxygène. Av. Exp. Méd. Biol. 2017, 996, 15-23. [\[Référence croisée\]](#)
75. Lipovsky, A. ; Nitzan, Y. ; Gedanken, A. ; Lubart, R. Tuerie des bactéries induite par la lumière visible en fonction de la longueur d'onde : Implication pour la cicatrisation des plaies. Chirurgie Laser. Méd. 2010, 42, 467-472. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
76. Hoenes, K. ; Bauer, R. ; Spellerberg, B. ; Hessling, M. La photoinactivation microbienne par la lumière visible entraîne une perte limitée de l'intégrité des membranes. Antibiotiques 2021, 10, 341. [\[CrossRef\]](#) [\[Pub Med\]](#)
77. McKenzie, K. ; Maclean, M. ; Grant, MH; Ramakrishnan, P. ; MacGregor, SJ; Anderson, JG Les effets de la lumière à 405 Nm sur l'intégrité de la membrane bactérienne déterminés par des tests de tolérance au sel et à la bile, la fuite de matériau absorbant les UV et l'étiquetage vert SYTOX. Microbiologie 2016, 162, 1680-1688. [\[Référence croisée\]](#)
78. Wan, MT; Lin, JY Preuves actuelles et applications de la thérapie photodynamique en dermatologie. Clin. Cosmétique. Enquête. Dermatol. 2014, 7, 145-163. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
79. Wunsch, A. ; Matuschka, K. Un essai contrôlé pour déterminer l'efficacité du traitement par la lumière rouge et proche infrarouge sur la satisfaction des patients, la réduction des rides, les rides, la rugosité de la peau et l'augmentation de la densité intradermique du collagène. Photomé. Chirurgie au laser . 2014, 32, 93-100. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
80. Ablon, G. Photothérapie avec des diodes électroluminescentes. J. Clin. Dermatol esthétique. 2018, 11, 21-27.
81. Kim, S. ; Kim, J. ; Lim, W. ; Jeon, S. ; Kim, O. ; Koh, J.-T. ; Kim, CS; Choi, H. ; Kim, O. Effets bactéricides in vitro de l'irradiation par diode électroluminescente de longueur d'onde de 625, 525 et 425 Nm (rouge, vert et bleu). Photomé. Chirurgie au laser. 2013, 31, 554-562. [\[Référence croisée\]](#)
82. Enwemeka, CS; Boulanger, TL; Bumah, VV Le rôle des UV et de la lumière bleue dans la photo-éradication des micro-organismes. J. Photochem. Photobiol. 2021, 8, 100064. [\[Réf. croisée\]](#)
83. Hadi, J. ; Wu, S. ; Brightwell, G. Lumière bleue antimicrobienne contre bactéries pathogènes : mécanisme, application dans l'industrie alimentaire, Technologies de barrière et résistance potentielle. Aliments 2020, 9, 1895. [\[CrossRef\]](#)
84. Galo, IDC ; Prado, R.P. ; Santos, WGD Photoémetteurs de lumière bleue et rouge comme approche pour inhiber Staphylococcus aureus et Pseudomonas aeruginosa Croissance. Braz. J. Biol. 2021, 82, e231742. [\[Référence croisée\]](#)
85. Mancini, S. ; Cuomo, R. ; Poggialini, M. ; D'Aniello, C. ; Botta, G. Débridement autolytique et gestion de la charge bactérienne avec un dépressage hydroactif occlusif imprégné de biguanide de polyhexaméthylène. Acta Bio Medica Atenei Parm. 2017, 88, 409-413. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
86. Chanson, X. ; Li, R. ; Zhang, Q. ; Il est; Wang, Y. Effet antibactérien et mécanisme possible des microcapsules d'acide salicylique contre Escherichia coli et Staphylococcus aureus. Int. J. Environ. Rés. Santé publique 2022, 19, 12761. [\[CrossRef\]](#) [\[Pub Med\]](#)
87. Christensen, GJM; Scholz, CFP; Enghild, J. ; Rohde, H. ; Kilian, M. ; Thürmer, A. ; Brzuszkiewicz, E. ; Lomholt, HB; Brüggemann, H. Antagonisme entre Staphylococcus Epidermidis et Propionibacterium Acnes et sa base génomique. Génome BMC. 2016, 17, 152. [\[Réf. croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
88. Francuzik, W. ; Franke, K. ; Schumann, RR; Heine, G. ; Ver, M. Propionibacterium Acnes L'abondance est en corrélation inverse avec Staphylococcus aureus : données du microbiome cutané de la dermatite atopique. Acta Derm. Vénéréol. 2018, 98, 490-495. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
89. Fritz, SA; Wylie, Tennessee ; Gula, H. ; Hogan, P.G. ; Boyle, MG; Muenks, CE; Sullivan, ML; Burnham, C.-AD; Wylie, KM Dynamique longitudinale des communautés bactériennes cutanées dans le contexte de la décolonisation de Staphylococcus aureus. Microbiol. Spectre. 2022, 10, e02672-21. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
90. SanMiguel, AJ; Meisel, JS; Horwinski, J. ; Zheng, Q. ; Bradley, CW; Grice, EA Les agents antiseptiques provoquent des changements à court terme, personnalisés et spécifiques au site corporel dans les communautés bactériennes cutanées résidentes. J. Enquête. Dermatol. 2018, 138, 2234-2243. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
91. SanMiguel, AJ; Meisel, JS; Horwinski, J. ; Zheng, Q. ; Grice, EA Les traitements antimicrobiens topiques peuvent provoquer des changements vers les communautés bactériennes cutanées résidentes et réduire la colonisation par les concurrents de Staphylococcus aureus. Antimicrobien. Agents Chemother. 2017, 61, e00774-17. [\[Référence croisée\]](#)
92. Wongpiyabovorn, J. ; Soonthornchai, W. ; Wilantho, A. ; Palasuk, M. ; Payungporn, S. ; Sodsai, P. ; Poomipak, W. ; Weschawalit, S. ; Ruchusatsawat, K. ; Baillie, GS; et coll. Effet du tacrolimus sur le microbiome cutané dans la dermatite atopique. Allergie 2019, 74, 1400-1406. [\[Référence croisée\]](#)