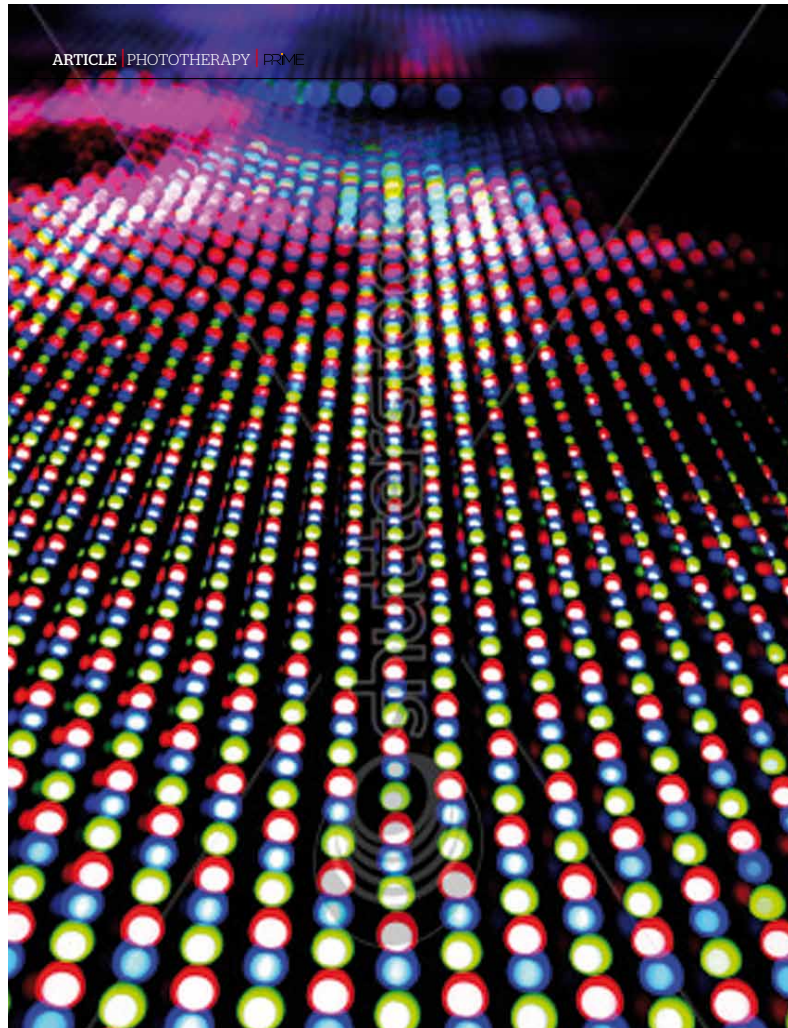




ARTICLE | PHOTOTHERAPIE | PRIME
prime-journal.com | March 2012

UTILISATION DE LA PHOTOBIO-MOBULATION LED

POUR TRAITER LES VERGETURES

TEDGUI J.P.* - LE GOFF C.*- BLANCHEMAISON Ph.*

**Evaluation du traitement des vergetures en utilisant la thérapie lumière LED,
une approche novatrice pour des traitements de la peau**

RESUME

Titre complet

Évaluation d'un protocole pour le traitement des vergetures par photobiomodulation LED, associé à la radiofréquence.

Objectifs et principes de l'étude

La présente étude clinique ouverte a été réalisée au Centre Esthésio Clinic de Paris, sur la totalité de la patientèle pendant une période donnée, sans aucune exclusion. Elle porte ainsi sur 103 patients présentant des vergetures d'intensité légère à sévère, récentes, anciennes et très anciennes, selon une procédure permettant aux sujets traités et aux expérimentateurs d'apprécier selon des critères subjectifs et objectifs, l'évolution clinique des vergetures dans le temps.

Critères d'inclusion dans le protocole

Hommes et femmes présentant des vergetures de récentes à très anciennes sur tout type de peau, soit : 97 femmes, 6 hommes.

La patiente la plus jeune a 17 ans et la plus âgée, 56 ans. L'âge moyen des sujets est de 30,299 ans.

Ancienneté des vergetures :	moins d' 1 ans =	15 sujets très récentes
	de 1 à 5 ans =	16 "
	de 5 à 10 ans =	36 "
	de 10 à 15 ans =	18 "
	de 15 à 20 ans =	10 "
	+ de 20 ans =	8 "

Nombre de séances réalisées sur la totalité du panel : 1881

Moyenne de séances/patient : **17,75**

Zones de traitement des vergetures par ordre décroissant : 1.ventre, 2.fesses, 3.cuisses (faces intérieures, antérieures et postérieures.), 4.seins, 5.hanches, 6.bas du dos, 7.mollets, 8.bras et épaules.

Critères d'exclusions

Patients présentant :

- . Vergetures de plus de 1cm de large
- . Maladies métaboliques ou endocriniennes non stabilisées
- . Traitement à base de corticoïde en cours
- . Femmes enceintes
- . Pathologie de la glande thyroïde

Contexte

La vergeture est un sujet qui affecte gravement la vie de très nombreuses personnes qui, en consultation dermatologique, s'entendent très souvent répondre qu'il n'y a pas de solution à ce problème et que les vergetures sont installées là pour toute leur vie. En médecine esthétique, diverses techniques ont été utilisées avec très peu de succès, principalement la dermabrasion et le laser. La cosmétologie ou dermo-cosmétologie, préventive ou curative, n'a jamais prouvée son efficacité dans ce domaine (hormis une étude sur la Trétinoïne à 0,1%). L'arrivée de la photothérapie issue de lumière LED bénéficiant de nombreuses publications sur le traitement des cellules fibroblastiques permettait d'augurer de résultats dans le traitement des vergetures.



Auteurs :

- * **Docteur Jean Paul TEDGUI**, MD, médecin esthétique, lasériste, photothérapeute, Paris
- * **Docteur Philippe BLANCHEMAISON**, MD, spécialiste médecine vasculaire, Paris
- * **Claude LE GOFF** Directeur de recherche en biotechnologie médicale spécialiste de photobiomodulation LED.

Mots clés : LED, photobiomodulation, stretch marks, collagen, elastin, fibroblasts, bipolar radiofrequency

La vergeture⁽¹⁻²²⁾ est une pathologie qui affecte considérablement la qualité de vie des personnes concernées, surtout les femmes, les hommes étant plus indifférents non seulement à leur propres vergetures, mais également à celles de leurs partenaires. Les jeunes filles adolescentes sont elles aussi très affectées par ce fléau, surtout en milieu urbain. La vie en ville est souvent plus pénible que pour ceux qui vivent dans le pays. Les adolescents en milieu urbain sont confrontés à de multiples situations stressantes et nous savons que le stress augmente la sécrétion de cortisol, surtout pendant la puberté. La prolifération des fibroblastes est bloquée et la production de collagène diminue en proportion. L'effet immédiat est le développement de nouvelles vergetures. Toute affection organique déclenche généralement chez le sujet atteint une blessure narcissique plus ou moins importante et les vergetures sont connues pour l'importance du retentissement psychoaffectif qu'elles entraînent.

La spécificité des affections cutanées est de faire appel au regard et d'altérer inévitablement aussi bien l'image de soi que le sujet a de lui-même, que l'image qu'il offre à autrui. Selon les cas, une telle image altérée va être source de curiosité, de dégoût, de répulsion ou encore de gêne ou de honte, mais aussi d'évitement de situations anxiogènes : piscine, relations affectives et sexuelles. Il est sûr que l'image que la femme, en particulier, a de son corps joue un rôle important dans le sentiment qu'elle aura d'être ou non désirable pour son compagnon. La peau est cachée, camouflée, jamais exhibée, même dans l'intimité.

Qui peut être concerné par ces vergetures ?

On estime actuellement que les vergetures touchent environ 50% de la population. Leur première apparition peut avoir lieu au cours de la puberté (25 % de filles touchées pour 10 % de garçons), mais surtout pendant la grossesse (60 à 70 % des femmes primipares, elles surviennent fréquemment à partir du 6/7ème mois) mais aussi en fonction de variation du poids corporel. D'autres facteurs de causalité dans la formation des vergetures sont maintenant identifiés :

- en cas d'activité cortico surrénalienne excessive, ou hypercorticisme,
- d'anomalies héréditaires des tissus conjonctifs,
- de maladies dites métaboliques et endocriniennes (dénutrition, obésité, traitement prolongé avec des glucocorticoïdes, syndrome de Cushing : ensemble des signes cliniques liées à un excès d'hormones corticosurrénales, prédominante sur le cortisol.),
- et enfin, elles touchent aussi les sportifs de haut niveau, en particuliers, les adeptes de culturisme. Les crèmes à visée dépigmentante, utilisées en Afrique, qui sont le plus souvent à base de corticoïdes et d'hydroquinone déclenchent elles aussi des vergetures, même plusieurs années après leur application.^(2 à 8)

Quelles parties du corps peut-être touchées ?

Les vergetures apparaissent aux endroits où la peau est soumise à des tensions excessives et en cas de fragilisation du derme, soit de façon constitutionnelle, soit par troubles métaboliques, hormonaux ou autres. Elles surviennent surtout sur les seins, l'abdomen et les flancs, le haut et l'intérieur des cuisses, les hanches, les fesses, le bas du dos et aussi, quelquefois, sur les épaules, les aisselles, les bras jusqu'au coude, les mollets et les genoux.

Si les vergetures constituent essentiellement un problème esthétique, par contre, lorsqu'elles sont étendues, elles peuvent se déchirer ou s'ulcérer suite à un accident ou à un étirement excessif.

Le rôle des corticostéroïdes dans l'apparition des vergetures

Les corticostéroïdes administrés par voie orale ou topique finiraient par bloquer la prolifération et le métabolisme de la cellule fibroblastique dégradant la synthèse de collagène et des mucopolysaccharides, entraînant une raréfaction de ces fibres de collagène. Cette diminution serait variable selon la structure chimique des composés stéroïdiens et selon le type de réponse anti-inflammatoire qu'ils déclenchent.

Le traitement s'accompagne aussi de la diminution de l'épaisseur de la peau, sans relation vraiment directe avec la diminution de collagène. Dans le vieillissement, la diminution de collagène notable ne s'accompagne nullement de la formation de vergetures !

Il existe aussi une inévitable diminution de la résistance à l'étirement qui pourrait expliquer la formation et l'apparition de vergetures cortico-dépendantes ⁽⁹⁾. Elles sembleraient plutôt dues à des modifications physiques dans la structure du collagène plutôt qu'à des variations dans la quantité de collagène.

“ Les vergetures apparaissent dans les zones où la peau est soumise à une tension excessive et en cas de fragilisation du derme, soit de façon constitutionnelle, soit par troubles métaboliques, hormonaux ou autres. ”

Historique des études

Les vergetures ont été décrites pour la première fois en 1869 par Troiser et Ménétrier⁽¹⁰⁾ comme un dérèglement banal et inoffensif. Au début du siècle dernier, des chercheurs mettaient en évidence des relations étroites entre la formation des vergetures et diverses atteintes physiologiques, telles que la tuberculose, la fièvre typhoïde, les fièvres rhumatismales ou diverses infections chroniques. Simpson, en 1950, a montré qu'une hyperactivité adrénocorticale, suite à des traitements topiques prolongés ou systémiques avec corticostéroïdes, induit la formation de vergetures⁽²³⁾.

Shelley et Cohen, en 1964⁽¹¹⁾, ont montré que des vergetures apparaissent fréquemment lors de divers désordres cutanés et sont souvent associée à des phénomènes physiologiques, telles que la grossesse, l'obésité, les prises rapides de poids, la croissance chez l'adolescent. En 1980, Arem et Kisher⁽¹²⁾ parlaient de tissu en phase de transition intermédiaire, entre un tissu hypertrophique et une cicatrice.

Théories étiopathogéniques : maladie du fibroblaste?

Le fibroblaste est une cellule isolée au sein du tissu conjonctif. Il synthétise la quasi majorité des molécules matricielles : le collagène, l'élastine, la fibronectine, les protéoglycanes, substances situées entre les cellules, constituants majeurs du tissu conjonctif, mais aussi de la grande majorité de la masse d'un organisme. Ils proviennent de la division des cellules souches mésenchymateuses de morphologie fusiforme. Ces cellules vont avoir la capacité de se diviser (division hétérotypique) par mitose pour donner deux cellules différentes :

- une cellule souche qui restera cellule souche avec la capacité de se diviser à nouveau,
- une cellule qui rentrera dans un programme de différenciation. Ces cellules peuvent être des fibroblastes mais aussi des myofibroblastes, des adipoblastes, des chondroblastes, des cémentoblastes, des odontoblastes et des ostéoblastes.

Les vergetures résulteraient d'une combinaison de facteurs, mais d'abord et avant tout, aujourd'hui, il est admis que les vergetures sont liées à une maladie des fibroblastes qui interrompt la production de fibres de collagène et d'élastine dans les sillons des vergetures. Les corticostéroïdes en excès finiraient par bloquer la prolifération et le métabolisme du fibroblaste lors d'événements physiologiques ou pathologiques et agiraient comme cofacteur des processus enzymatiques.

La première phase est l'inflammation faisant intervenir des cellules clés: mastocytes et macrophages qui interagissent entre elles et avec le fibroblaste, libérant les enzymes de dégradation. C'est la phase d'activation cellulaire. La deuxième phase concerne l'inhibition de la synthèse des macromolécules glycoconjuguées et de l'expression des gènes codant pour la fibronectine et pour le collagène I et III.

La troisième phase, facultative, est jouée par le myofibroblaste résultant d'un changement du phénotype cellulaire du fibroblaste sous l'action d'une distension mécanique, avec participation probable de l'interféron et augmentation possible de l'apoptose. Le dénouement conduit à une cicatrice dermique atrophique du derme moyen.

La vergeture n'est donc pas une maladie exclusive du tissu élastique (qui ne représente que 10% du poids du derme, alors que le collagène en représente 70 à 80%) et n'est pas occasionnée uniquement par une tension excessive de la peau.

En conséquence, à ce jour, la théorie "collagène" semble dominante à partir de l'atteinte des cellules fibroblastiques, des macromolécules glycoconjuguées et des microfibrilles de nature collagénique qui forment les ponts entre les fibres élastiques qui ont la même composition que les glycoprotéines de structure. Il pourrait donc s'agir d'une dégénérescence des fibres élastiques du tissu collagénique.^(13 à 19)

Histologie

Cliniquement et histologiquement, c'est à dire lors de l'observation visuelle, les vergetures se présentent sous forme de stries linéaires ou fusiformes, leur longueur varie de 1 à plusieurs centimètres sur 1 mm et jusqu'à 2,5 cm de large. Elles sont pratiquement toujours multiples et très souvent symétriques.

S'il s'agit de vergetures récentes leur couleur varie souvent du rouge vif au pourpre, d'où l'appellation de "striae rubrae", mais certaines ne seront jamais colorées. Cette couleur est due à l'augmentation des vaisseaux sanguins dans la cicatrice. Leur surface à l'origine est souvent boursouflée, conséquence d'un ensemble reflétant un état inflammatoire. En vieillissant, elles vont progressivement se transformer en dépressions cutanées visibles et palpables, la couleur devenant blanc nacré donnant le nom de "striae alba", d'aspect très souvent fripé.

La peau vergeturée est fragile, mince, rugueuse... elle est atrophiée. On constate sur les vergetures, l'absence de poils, ainsi que de sécrétions sébacées et sudorales. Elles présentent des changements similaires aux cicatrices. L'atteinte est essentiellement dermique avec une répercussion visible au niveau de l'épiderme, et des variantes pouvant, dans le cas de vergetures larges et profondes, atteindre l'hypoderme.

Si on examine des vergetures avec un microscopie optique, nous découvrons une plus grande positivité pour le collagène de type I que pour le collagène de type III. Le derme réticulaire, quant à lui, ne montre pas de différence significative en termes de quantité de collagène. Le collagène est très fortement ponté et le diamètre des fibres est plus important que dans le tissu sain. Son organisation est horizontale par rapport à la surface de la peau. Au microscopie électronique, l'épithélium apparaît plus fin, mais la membrane basale ne présente pas d'altération morphologique. Le derme papillaire montre une disposition partielle des papilles dermiques. Il est à noter que les zones avec de fines fibres de collagène et de larges espaces inter-fibrillaires sont totalement remplacées par de grosses fibres pontées réparties en paquets très denses, qui se disposent parallèlement à la surface de la peau.

Il y a une différence dans la quantité de fibres élastiques : les fibres apparaissent fragmentées, moins translucides et entourées par un grand nombre de petites granulations correspondant à des glycoprotéines. Le derme réticulaire est marqué par une faible quantité de fibroblastes dont l'aspect est plutôt globuleux. Une augmentation des composés collagéniques est observée avec un réarrangement des fibres montrant de volumineux pontages. Le pourcentage de matériel élastique est plus élevé et les fibres élastiques apparaissent moins translucides et moins réceptives avec plus de matériel condensé tout autour.

En résumé et pour simplifier, la vergeture résulterait donc d'une dégénérescence du tissu collagénique conduisant à une cicatrice atrophique du derme moyen. ^(3,15, 20–22.)

Vergetures sur peaux noires

L'étude de la dermatologie sur peau noire est encore pauvre et hormis quelques ouvrages de qualité, les publications sérieuses sont plutôt rares.

Histologiquement, la distinction ne relève pas d'une différence quantitative significative sur le plan cellulaire mais résulte d'une mélanisation (formation des grains de pigment élémentaires ou mélanosomes dans les mélanocytes) et d'une pigmentation (transfert du pigment dans les kératinocytes) différentes.

La pigmentation cutanée constitue donc l'élément majeur de différenciation clinique des peaux noires et blanches avec tous les intermédiaires de dégradés qu'autorisent l'origine ethnique et le métissage.

Au vue des patientes de couleur traitées au cours de cette étude, notre analyse des vergetures sur les peaux foncées est la suivante :

- Les vergetures sont plus larges pour environ 60% des sujets (certaines jusqu'à 2,5cm de large).
- En plus des zones classiques, nous en trouvons fréquemment sur des zones beaucoup plus inhabituelles que sur peaux blanches (sauf pour les personnes traitées par corticothérapie) : sur les épaules (dessus, devant, derrière), les intérieurs de bras et quelques fois sur l'intérieur des avant-bras, en bas des mollets.
- Enfin, il semblerait qu'il y ai plus d'adolescentes touchées, cela est certainement dû à une puberté plus précoce, à des variations de poids dues à l'alimentation, et surtout, des formes anatomiques plus marquées (fesses, bassin, poitrine). (23)



Figure 1 Patient one (A) before and (B) after treatment



Figure 2 Patient two (A) before and (B) after treatment



weight caused by nourishment, and especially, the different anatomical figures²⁴.

Matériels et méthodes utilisés pour cette étude

Deux dispositifs ont été utilisés : un générateur de lumière LED et un de radiofréquence

Photothérapie LED :

Le dispositif est le Chromospace® MUST Leds®. Celui-ci permet de bénéficier des 5 longueurs d'onde les plus citées dans les publications scientifiques internationales : bleue 465 nm - green 522 nm - yellow 595 nm - red 645 nm et infrared 855 nm, à travers 24 000 LED monochromatiques garantissant la qualité de leur flux, et donc du rendement lumineux, la précision de leurs longueurs d'onde.

Ce dispositif se présente sous la forme d'un lit, avec 2 bras latéraux sur lesquels se trouvent 2 panneaux de LED. Le patient se couche sur la plaque de plexiglas qui se trouve au dessus des LED, et les panneaux sont éventuellement placés sur les autres zones restantes pour traiter l'intégralité du corps en une seule fois, donc sans déplacement du patient ou du dispositif. Ceci représente un avantage notoire dans l'homogénéité du traitement par rapport à tous les dispositifs présents sur le marché qui, compte tenu de leur petite taille, ne peuvent qu'irradier zone après zone. De ce fait, les zones intermédiaires reçoivent une double dose de lumière, c'est-à-dire 2 fois plus de Joules. Comme nous le savons (Tiina Karu) si on dépasse la dose de lumière initialement prévue sur des cellules, on annule très rapidement et totalement l'effet généré par la première dose d'irradiation. (25-26)

Le deuxième avantage intéressant du Chromospace® dans le cadre de notre traitement, est le maillage des LED. Ce concept unique permet une irradiation parfaitement homogène de l'ensemble des zones à traiter puisque tous les faisceaux des LED d'une même couleur viennent parfaitement s'entrecroiser au niveau de la peau du patient. Il n'y a donc aucun « trou » ou « perte d'énergie » entre deux LED dû à leur écartement, toutes les cellules de la zone irradiée recevant ainsi une dose identique à 100% d'énergie.

De plus, la densité de puissance, qui indique le degré de concentration de la puissance de sortie grâce au nombre de LED, joue également un rôle majeur de plus en plus prouvé. Cela s'explique ainsi : si nous prenons l'exemple d'une zone circulaire d'un diamètre de 5 mm (0,2 cm²) illuminée par un faisceau fonctionnant à une puissance de 100 mW, les effets biologiques sont très différents de ceux produits en éclairant une zone circulaire de 5 cm de diamètre (environ 20 cm²) avec le même faisceau. Dans le premier cas, la densité de puissance est 100 fois supérieure au second. Certaines études ont conclu que la densité de puissance peut être d'une plus grande importance encore que la dose.

Ainsi, la densité de puissance peut varier au sein de la zone irradiée en fonction de la puissance des LED, du temps d'irradiation, de l'angle d'ouverture du faisceau des LED, donc de leur éloignement, et de la distance de la zone traitée par rapport au pic lumineux du faisceau des LED.

Toutefois, il est nécessaire de se rappeler que la loi fondamentale de la photochimie, connue sous le nom de loi de *Grotthus-Draper*, spécifie que seule la radiation *absorbée* par système, comme une molécule, peut initier une réaction photochimique.

Enfin, compte tenu de sa surface d'irradiation, le Chromospace® MUST Leds®, nous a permis de traiter le plus grand nombre de zones sur un corps, en un minimum de temps : moins de 40mn pour toutes les zones : avant, arrière, cotés, intérieur des membres, alors qu'avec les dispositifs du marché, il faut certaines fois plus de 3h. chaque semaine, et avec une précision de la dose de traitement par irradiation à la même distance (3cm exactement) et au meilleur rendement des faisceaux de LED.

Le fait de ne pas déplacer le panneau de lumière pour traiter chaque zone, l'une après l'autre, permet l'irradiation avec une dose unique dans la zone intermédiaire provoquant, comme l'a écrit T. Karu : «un renversement de l'effet obtenu précédemment avec "vidage" énergétique des cellules concernées ». (25-26)

Radiofréquence :

Le dispositif sélectionné est le Thermalipo de Thermamedic®, radiomultifréquence bi-polaire, basée sur un système thermo sélectif d'induction de RF qui permet de fournir une énergie très importante pour élever rapidement en premier lieu la température de l'hypoderme, puis du derme, sans causer de douleur, et de modifier la fréquence en fonction de l'impédance des couches traversées.

Méthodes

Chaque séance débute par la RF. La température est montée rapidement à 39/40° sur chaque zone vergeturée en un seul passage. Ensuite, un peeling à l'acide glycolique à 70% est posé pendant ¼ d'heure, puis rincé, cela 1 séance sur 2 jusqu'à la 8^{ème} séance. Enfin, le patient est couché sur la table Chromospace Must Leds. Le mode opératoire est de 17 mn sur peau blanche, soit 8 joules/cm², avec la lumière rouge à 645nm pulsée à 50Hz et la lumière infrarouge en mode continu à 855 nm.

Le premier mois, la cadence est de 2 séances par semaine, les 2 mois suivants 1 séance par semaine, soit 16 séances en tout. Quelques fois plus si le résultat continue à progresser ou s'il apparaît plus tardivement (10 ou 12^{ème} séance), rarement moins, et que sur des vergetures récentes.

Les patients ont été invités à maintenir leur poids tout au long de la période de soin pour éviter tout impact sur les vergetures.

A la fin du programme, les patients sont aussi invités à venir faire un bilan final 3 mois après l'arrêt du traitement. Seulement 30% se sont présentés, pour la majeure partie, la solution apportée à leur problème était satisfaisante, comme nous allons le voir.

Traitement des vergetures sur peau noire

Le protocole de traitement pour les peaux colorées ne se différencie que par la dose d'irradiation (puissance x temps) de la thérapie LED qui peut aller jusqu'à être doublée, soit 16 joules/cm², si la peau est très noire par rapport à une peau blanche. Les résultats finaux des traitements étant identiques entre peaux noires et peaux blanches.

Description des effets attendus avec les technologies utilisées

La Photobiomodulation par LED

La lumière émise par des LED est une lumière froide, monochromatique, non cohérente. A l'inverse du laser, les LED ne fournissent pas assez de puissance pour endommager le tissu, mais elles fournissent assez d'énergie pour stimuler une réponse cellulaire du corps afin de provoquer une guérison.

La lumière est une onde composée de multiples longueurs d'onde caractérisées par une couleur précise. Les ondes visibles sont appelées "couleurs", les autres sont invisibles, comme les UV et les infrarouges. Chacune d'elle produit des vibrations électromagnétiques spécifiques. Ainsi, la lumière colorée va du rouge (620/680nm), au violet (400 nm). Il faut savoir que la lumière est composée de particules appelées *photons*.

La Photobiomodulation par LED est une nouvelle approche thérapeutique fondamentale (laquelle est quand même la plus ancienne thérapie du monde), pour photo-activer, sans effet thermique, les fibroblastes à produire du collagène nouveau. Cette technique est basée sur des principes simples de biologie et de physiologie liés aux lois de la lumière et aux phénomènes électromagnétiques. Toute molécule peut se présenter sous différents états énergétiques. À l'état fondamental, une molécule présente une énergie minimale. Une absorption de lumière va la porter à des niveaux d'énergie supérieure. (27-32)

L'effet de photobiostimulation par la lumière rouge, froide, de faible intensité, a été découvert en 1968 (33) par un scientifique hongrois, le Dr. Endre Mester, puis confirmé dans les années 80 par le chef de file mondial de la recherche sur la lumière le Pr Tiina Karu (34). Elle a démontré que les cultures cellulaires croissaient 300 à 600 fois plus vite lorsqu'elles étaient exposées à une lumière de ce type. En 2001, un professeur américain de neurologie pédiatrique, le Dr. Harry Whelan, a confirmé les thèses développées par T.Karu.(35)

L'irradiation par des photons de lumière d'une longueur d'onde spécifique et contrôlée, émis par des LED, sont absorbés par la peau et le tissu conjonctif et stimulent des photorécepteurs ou des substrats cellulaires, provoquant une chaîne de réactions biochimiques qui peut inclure des changements biologiques pouvant être définis comme le résultat d'un processus savant dit de «photobiomodulation».

De nombreux travaux ont démontré que l'irradiation par la lumière LED rouge augmente le potentiel membranaire des cellules mitochondriales, ce qui, pour faire simple, augmente le rapport de l'échange ADP/ATP ainsi que l'ARN. L'action dans les mitochondries serait reliée essentiellement à deux photoaccepteurs : la forme intermédiaire du *Cytochrome C oxydase* et la *NADH déhydrogénase*. Le *Cytochrome C oxydase* est l'enzyme terminal de la chaîne respiratoire qui permet le transfert d'électrons du Cytochrome C à l'oxygène moléculaire. Le *Cytochrome C* joue un rôle clef dans la bioénergie de la cellule en particulier, au niveau des fibroblastes, de l'endothélium des vaisseaux, du réseau lymphatique, des ostéoblastes.(36 - 37)

L'activation du flux d'électrons dans la chaîne respiratoire active la production des *anions superoxydes* qui stimulent la synthèse d'ATP. Normalement, la mitochondrie réabsorbe les anions superoxydes comme source d'électrons pour la *phosphorylation oxydative* de l'ADP.

Certaines molécules telles *les porphyrines* agissent comme photosensibilisateurs réversibles. L'absorption de photons par ces substances génère *de l'oxygène singulet* qui provoque des modifications dans le système redox.

Ainsi, l'onde lumineuse stimule la modification et la prolifération fibroblastique, la synthèse de collagène, les facteurs de croissance et la production de la matrice extracellulaire par oxygénation mitochondriale.

Robert A. Weiss, MD, Pr associé de dermatologie au Johns Hopkins University School of Medicine in Baltimore, Maryland, écrit : "C'est la première fois que l'on ralentit la destruction du collagène et que l'on stimule sa production en même temps, sans douleur, sans rougeur et sans effets secondaires." (38 - 39)

“ Des paramètres critiques et précis doivent être respectés pour obtenir une photobiomodulation au niveau des fibroblastes afin de maximiser la sécrétion des fibres de collagène et d'élastine.”



Figure 3 Patient three (A) before and (B) after treatment

Photothérapie LED et vergetures

En photothérapie, pour que la lumière exerce un effet biologique, il faut d'abord qu'elle soit absorbée par une molécule. Seuls les photons correspondant à certaines longueurs d'onde pourront être absorbés par cette molécule. À chaque molécule correspond donc un spectre d'absorption composé de bandes caractéristiques. Lorsque la molécule est irradiée dans de bonnes conditions, elle acquiert une énergie excédentaire, elle est dite « excitée », ce qui lui permet de déclencher une série de réactions biochimiques. Ainsi, les ondes émises par des LED permettent de stimuler l'ensemble des mécanismes de régénération cellulaire.

La photobiomodulation sur les vergetures

La photomomodulation LED a pour effet de changer un certain nombre de processus cellulaires, en particulier en stimulant les cellules fibroblastiques, en leur permettant de revenir à un métabolisme normal et souvent à une néosynthèse physiologique de collagène et d'élastine. Cette influence sur la réparation progressive du tissu conjonctif est un aspect intéressant pour le traitement des vergetures. ⁽³⁸⁾

Importance des paramètres en photothérapie

L'utilisation correcte de la photothérapie ne peut pas être accomplie sans connaissance des effets de lumière, qui sont fondées sur les principes fondamentaux établis dans la photobiologie, et qui ont été décrits dans des études scientifiques et cliniques ³⁸.

Par conséquent, les paramètres critiques et précis doivent être respectés pour obtenir une photobiomodulation des fibroblastes afin de maximiser la sécrétion de collagène et d'élastine.

Ces paramètres sont :

- **La précision des longueurs d'onde** requises afin de pénétrer aux différentes profondeurs pour toucher toutes les couches du tissu conjonctif et être bien absorbée par l'ensemble des fibroblastes.
- **Le mode et le type de pulses lumineux et les séquences de pulsation** doivent être rigoureusement sélectionnés pour activer l'ADN de la cellule et éviter l'épuisement cellulaire, pour permettre aux fibroblastes un temps de repos entre les trains d'impulsions lumineuses lors du traitement.
- **La dose** totale d'énergie libérée pendant une période donnée avec les seuils minimal et maximal d'irradiance. En effet, la fluence et l'irradiance sont des variables à respecter pour obtenir l'effet physiologique convoité. Ainsi, une dose insuffisante n'aura aucun bénéfice physiologique car la cellule ne sera pas suffisamment stimulée et, à l'opposé, si l'exposition est trop importante, les effets obtenus avant le dépassement de la dose nécessaire seront diminués d'autant, voire totalement annulés si l'exposition double le temps prévu.

- Et surtout, comme nous l'avons indiqué précédemment, la **densité de puissance**, c'est-à-dire le maillage des LED.

Finalement, c'est de la parfaite association de tous ces paramètres rigoureusement sélectionnés auxquels s'ajoute le positionnement de la zone à traiter à la bonne distance des LED pour libérer un maximum de photons sans discontinuation sur la zone irradiée, dont va dépendre la libération exacte et précise de la dose d'onde de lumière pour maximiser les bénéfices cliniques.

Malheureusement, l'importance de ces paramètres demeure encore sous-estimée par les nouveaux utilisateurs de générateurs LED. Nous avons été amenés à constater à travers les commentaires de certains sujets ayant suivi un traitement basé sur cette technologie, sans résultat sur leur vergetures, que celle-ci était utilisée dans certains centres, ou maintenant par des esthéticiennes, sans aucune connaissance de la photobiologie ou sans conscience de l'importance des choix de bons paramètres.

On ne doit jamais perdre de vue que la façon de libérer les photons a une incidence considérable sur l'efficacité de la photobiomodulation. En conséquence, la dose de lumière libérée dans la bonne longueur d'onde sur chaque cellule de la zone à traiter s'affirment comme les critères importants, contrairement à la puissance des LED qui ne peut que permettre de diminuer le temps de traitement.

Il est important que le thérapeute ai une parfaite connaissance en photobiologie de la photothérapie LED. Il est également important de posséder les dernières avancées technologiques et de la documentation pour assurer l'efficacité et le succès dans le traitement des vergetures. Quelques appareils LED de grande qualité présents sur le marché sont cependant à la hauteur du défi et peuvent être utilisés comme sources lumineuses de choix en fonction des protocoles de traitements qui sont envisagés.

Cette technologie thérapeutique est maintenant reconnue par beaucoup de scientifiques, de dermatologues et autres thérapeutes à travers le monde, et bénéficie de très nombreuses publications incontestables sur le traitement de nombres de pathologies ou de problèmes esthétiques, sauf en ce qui concerne le traitement des vergetures. A notre connaissance, à ce jour il n'existe que peu d'étude publiée sur l'utilisation de la thérapie LED dans le traitement des vergetures. Celle citée en référence a été réalisée sur 20 patients à l'hôpital de La Pitié Salpêtrière à Paris en 2006. Elle conclut à «une amélioration significative d'environ 50% de l'aspect de la peau au niveau des vergetures avec diminution de leur profondeur, de l'aspect plissé de la surface et de leur extensibilité. 16 sujets sur 20 présentent une amélioration de leurs vergetures, soit 80%. » (41)

La RadioFréquence

Ces dernières années, en médecine esthétique, plusieurs nouveaux dispositifs de radiofréquence (RF) bi-polaire ont été introduits pour des traitements esthétiques non-invasifs. Le dispositif de RF bi-polaire génère un champ électrique alternatif oscillant du positif au négatif à haute fréquence qui pénètre la peau d'une électrode à l'autre, entraînant une agitation ionique.

La résistance du tissu au passage de l'énergie de RF qui pénètre dans la peau induit des collisions entre les molécules et les ions chargés et transforme cette énergie mécanique en chaleur provoquant des températures supra-normales dans le derme et l'hypoderme sans altérer aucunement l'épiderme (non ablative).

Le derme contient les éléments propres à la peau et qui se composent d'un mélange de cellules, tandis que les fibroblastes sont les cellules principales du derme et de la matrice extracellulaire (MEC). Les fibroblastes sécrètent les composants de la MEC qui sont constitués de collagène sensible, de fibres réticulaires, d'élastine et d'autres protéines. Les fibres de collagène (type I) sont des fibres délicates non ramifiées de consistance fibreuse qui forment la structure du derme et qui donnent résistance et fermeté à la peau. L'enzyme collagénique spécifique à cette matrice (collagénase MMP-1) est capable d'initier la dégradation du collagène de type I.

Les principales applications reconnues sont le soft lifting, ou rétraction cutanée, le traitement de la cellulite et maintenant les vergetures dans les conditions que nous décrivons ci-après. (42-47)

Radiofréquence et vergetures

La réaction endothermique provoque un certain nombre de phénomènes, approuvé par le Food and Drug Administration (FDA) en Mars 1999, qui nous a conduit à imaginer l'intérêt que nous pouvions espérer tirer dans le traitement des vergetures. Des études ont mis en évidence que chauffer la peau humaine avec de la RF provoquait une contraction immédiate du collagène. (48-51) Les fibres de collagène devenaient plus courtes et plus épaisses, pouvant ainsi entraîner contraction globale du tissu. L'effet mécanique du réchauffement du collagène peut être "réversible" = dénaturation partielle ou "irréversible" = dénaturation complète. Un réchauffement modéré a comme conséquence un déploiement local dans le collagène menant au rétrécissement qui semble faire regagner au collagène sa structure de naissance une fois la température redescendue à son niveau normal. Le déploiement des fibres de collagène est dû à la rupture d'un petit nombre de liens consécutifs d'hydrogène. (52-53)

L'autre effet immédiat de l'application de la chaleur douce de la RF bi-polaire (Il est important de ne pas dépasser 40° au niveau de la surface de la peau, ce qui provoquerait une dénaturation des nouvelles fibres de collagène par trop de chaleur) est de provoquer la migration et la prolifération des fibroblastes. (47)

La peau est très rapidement retendue, plus ferme et mieux lissée. Les effets visibles se produiront dès la 3^{ou} 4^{ème} séance de traitement sur les vergetures : disparition de la couleur rouge des vergetures récentes, diminution des boursoufflures sur les bords externes des vergetures, comblement et lissage du creux de la vergeture. La RF peut être utilisée sur tout phototype de peau, toute l'année.

Publications spécifiques aux traitements de vergetures

Comme nous l'avons déjà cité, la première étude (41) publiée fut réalisée à l'hôpital de la pitié Salpêtrière à Paris par une entreprise privée. Le Dr. Manuskiatti, professeur de dermatologie et chef de Siriraj Skin Laser Center, Faculté de médecine de l'hôpital de Siriraj, Université Mahidol, Bangkok, Thaïlande, a commenté : "La vergeture est une maladie de la peau qui a été traditionnellement très difficile à traiter. L'étude confirme que le remodelage du collagène induit par la radiofréquence est un mécanisme efficace pour améliorer l'apparence de la surface de vergetures. La technologie produit des résultats mesurables qui ont été maintenus pendant la durée de suivi et ceci sans douleur." (54)





Figure 4 Patient four (A) before and (B) after treatment painSM.

Résultats de l'étude :

Trois critères ont été retenus pour estimer le degré de satisfaction du ou de la patiente :

- Amélioration de l'aspect visuel des vergetures (largeur, longueur),
- Modifications de la surface de la peau sur les zones traitées (aspect plus lisse, peau plus tendue et plus serrée),
- Disparition des « cassures » lorsque la peau est pincée ou pliée au niveau des zones vergeturées,
- Disparition ou diminution du nombre de vergetures,

A la fin du traitement le Médecin Responsable du Centre a fait le point avec le ou la patiente sur l'évaluation objective visuelle des résultats en comparant les photos prises avant la mise en route du traitement par rapport à l'aspect constaté par le Médecin et le patient.

Après avoir fusionné les trois critères d'évaluation et pris pour base de calcul 100% représentant les 103 sujets ayant participé à cette étude, les pourcentages d'amélioration sont les suivants :

- Patients non répondants = 5%
- Protocole de traitement non terminé = 4%
- Interruption du traitement par le patient = 8%

Les causes d'interruption avant la fin du traitement : non répondants, survenue d'une grossesse, traitement jugé trop lourd par le patient, déménagement, activité professionnelle incompatible avec le suivi stricte du protocole pour rester dans le cadre de cette évaluation.



Figure 5 Patient five (A) before and (B) after treatment



Amélioration globale des critères fusionnés :

- Pour 7 % des sujets = 30 % à 40 %
- Pour 34 % des sujets = 50 % à 60 %
- Pour 25 % des sujets = 70 %
- Pour 23 % des sujets = 80 %
- Pour 7 % des sujets = 90 %
- Pour 4 % des sujets = 100 %

Remarque : Deux zones de traitement donnent des résultats très inférieurs de 30 à 50% par rapport à toutes les autres zones, il s'agit des flancs et des épaules.

Au terme de notre étude, nous avons établi un classement subjectif des résultats obtenus, il est le suivant :

- Excellents 11 %,
- Très bons 23 %,
- Bons 54 %,
- Moyens et assez décevants 5 à 7 %
- Nuls 3 à 5 %

Discussion

Evolution possible du traitement des vergetures par Thérapie photodynamique (PDT)

Depuis 2007, la photothérapie dynamique (PDT) LED a démontré clairement l'intérêt de cette technologie pour améliorer l'efficacité clinique des traitements photothérapeutiques classiques avec apport d'une substance complémentaire dite photosensibilisante qui déclenchent une photo-activation progressive de certaines cellules influençant directement l'efficacité de traitements spécifiques.

La recherche actuelle des laboratoires sur de nouveaux photosensibilisants montre une tendance à un développement rapide, comme le prouvent certaines études publiées récemment sur l'utilisation de substances d'origine végétale qui ont été identifiées comme pouvant maximaliser leurs effets sous l'action de la lumière comme les polyphénols du thé vert pour le photorajeunissement, ou la piperine pour son action sur les mélanocytes.

Dans l'avenir, une meilleure connaissance des processus photobiologiques fondamentaux, le développement d'autres photosensibilisants, de nouveaux protocoles d'administration et d'irradiation, et l'évolution des LED, pourront probablement conduire à améliorer encore l'efficacité de cette technique.

Les protocoles pour la délivrance des doses de lumière et la recherche sur les photosensibilisants manquent encore d'homogénéité, ce qui contribue pour une large part à la disparité des taux de guérison. Des études comparatives devront révéler la combinaison optimale dans la relation dose-temps afin d'améliorer les résultats cliniques. Une meilleure compréhension de la répartition de la lumière dans les tissus pourrait aider à créer une norme d'irradiation de lumière. Toutes les zones de peau irradiées ont besoin d'une source de lumière avec une intensité uniforme dans le même temps. Malheureusement avec les petites surfaces couvertes par les faisceaux lumineux émis par les générateurs disponibles sur le marché, sauf le seul (à notre connaissance) Chromospace, mais dont la diffusion est encore confidentielle, il est difficile d'irradier de façon homogène toutes les zones de peau sur toutes les parties du corps.

Dans cette perspective, la PDT est susceptible d'ouvrir la voie à toute une gamme de nouveaux traitements médicaux, dermatologiques esthétiques, de bien-être, s'affirmant de plus en plus comme une excellente technologie non-invasive avec un bon potentiel de développement dans le futur.

Enfin, des études récentes présentées en 2009 à la Conférence sur les lasers et l'Electro-Optics/International Quantum Electronics Conference, ont été découverts par une équipe de recherche dirigée par Aristide Dogariu, un scientifique optique au Collège d'optique et photonique, et Kiminobu Sugaya, chercheur sur les cellules souches à la Faculté de Médecine de Burnett, Ecole des sciences biomédicales, en Floride, ont montré pour la première fois que l'énergie lumineuse peut doucement guider et modifier l'orientation des cellules vivantes au sein des cultures de laboratoire. Cette capacité à diriger optiquement des cellules pourrait être une étape majeure dans l'exploitation du pouvoir de guérison des cellules souches et de les guider vers les zones du corps qui ont besoin d'aide ". Cette découverte permet la synthèse d'un certain nombre de tendances très prometteuses.



Figure 6 Patient six (A) before and (B) after treatment

Repigmentation des vergetures

Dans certains cas, concernant avant tout les peaux colorées, il est possible d'obtenir un résultat quasiment parfait au niveau de la restructuration de la peau mais la teinte des vergetures n'a pas suffisamment progressée pour unifier la pigmentation. Comme nous le savons, le problème concerne le fonctionnement des mélanocytes. Le nombre de mélanocytes varie selon la localisation des régions cutanées chez un même individu. Ainsi, leur densité est de $2000/\text{mm}^2$ pour la peau de la face et de $1000/\text{mm}^2$ pour celle du corps. Par contre, leur nombre est sensiblement identique dans toutes les populations humaines, la différence de couleur s'expliquant d'une part par la situation géographique (à une plus ou moins grande profondeur des mélanocytes dans le derme) par la qualité et la quantité de pigments que ces cellules produisent.

Chez les populations à la peau noire, les mélanosomes produits sont plus larges, leur contenu mélanique plus dense, ils restent isolés pendant tout le cycle de leur maturation. Au contraire, chez les populations blanches, les mélanosomes, dont les caractères s'opposent à ceux des précédents, sont associés dans des vésicules limitées par une membrane. Ainsi, chaque mélanocyte contient 5 fois plus de mélanosomes chez un sujet asiatique que chez un individu de race blanche et 8 à 10 fois plus de mélanosomes chez un sujet noir que chez un blanc.

L'exposition solaire entraîne une stimulation de la mélanogénèse et une augmentation du nombre des mélanocytes soit par différenciation de mélanoblastes quiescents, soit par division cellulaire de la cellule mature. Comme nous avons le constater, il est donc nécessaire de s'exposer aux rayons du soleil, raisonnablement, pour tous les types de peaux mais surtout pour les peaux colorées.

Différentes recherches et études sont en cours actuellement, surtout dans le cadre du vitiligo, problème similaire concernant la teinte des vergetures, pour relancer la mélanogénèse avec des UVB courts (311nm).

Conclusion :

Cette étude basée sur la technologie innovante de la photothérapie par LED, avec une longueur d'onde rouge 645nm pulsée et infrarouge 850nm continu, bien dosée et irradiée de façon homogène sur toutes les cellules des zones traitées, associée à la RadioMultiFréquence bi polaire, après une préparation de la peau par peeling à l'acide

glycolique à 70%, montre une amélioration significative globale au niveau des dimensions et des quantités de vergetures, une amélioration conséquente de l'aspect boursoufflé ou plissé de la surface et un gain conséquent de la tonicité de la peau des zones traitées, le tout quelque soit le type de vergetures et de peau, mais avec des résultats plus rapides sur les vergetures récentes.

Ainsi, la photothérapie LED, permet de bénéficier d'une nouvelle approche des traitements cutanés où des réactions enzymatiques subcellulaires complexes peuvent être influencées favorablement par l'action de photons balistiques libérés par des configurations LED sophistiquées, qui, jour après jour, prouvent de manière incontestable leur efficacité dans de très nombreux traitements médicaux et médico-esthétiques.

La photothérapie LED est une technologie sécuritaire, rapide et efficace, à la pointe du développement scientifique et thérapeutique. En plus d'être complètement indolore, un des grands avantages de cette technologie réside dans sa totale innocuité.

A la fin de cette étude, il a été décidé de reprendre le traitement sur les patients qui le souhaitent, après une interruption de 3 mois correspondant aux 6 mois nécessaires à une néocollagénèse complète, afin de vérifier s'il serait possible d'améliorer les résultats moyens et bons par des séances supplémentaires sur 1 mois ou 2. Ces travaux feront l'objet, s'ils sont concluants, d'un complément de publication.

Déclaration d'intérêt: Les auteurs médicaux de cette étude n'ont pas d'intérêt de toute nature avec les fournisseurs des dispositifs mentionné dans cet article.

Remerciements à : Tiina Karu (*Professor, Head of Laboratory of Laser Biology and Medicine of Russian Acad. Sci.*) pour la richesse de ses écrits scientifiques sur les effets de la lumière sur les cellules humaines, base de notre travail.

Principaux points.

- Les vergetures résulteraient d'une combinaison de facteurs, mais d'abord et avant tout, aujourd'hui, il est admis que les vergetures sont liées à une maladie des fibroblastes qui interrompt la production de fibres de collagène et d'élastine dans les sillons des vergetures.
- La photomodulation LED a pour effet de changer un certain nombre de processus cellulaires, en particulier en stimulant les cellules fibroblastiques, en leur permettant de revenir à un métabolisme normal et souvent à une néosynthèse physiologique de collagène et d'élastine. Cette influence sur la réparation progressive du tissu conjonctif est un aspect intéressant pour le traitement des vergetures.
- L'autre effet immédiat de l'application de la chaleur douce de la RF bi-polaire (Il est important de ne pas dépasser 40° au niveau de la surface de la peau, ce qui provoquerait une dénaturation des nouvelles fibres de collagène par trop de chaleur) est de provoquer la migration et la prolifération des fibroblastes.
- Ainsi, la photothérapie LED, permet de bénéficier d'une nouvelle approche des traitements cutanés où des réactions enzymatiques subcellulaires complexes peuvent être influencées favorablement par l'action de photons

balistiques libérés par des configurations LED sophistiquées, qui, jour après jour, prouvent de manière incontestable leur efficacité dans de très nombreux traitements médicaux et médico-esthétiques,

References

1. Les vergetures, Collectif, Ed. Fine Media 2010
2. Davey CM. Factors associated with the occurrence of striae gravidarum. J Obstet Gynaecol Br Commun 1972; 79(12): 113-4
3. Chang AL, Agredano YZ, Kimball AB. Risk factors associated with striae gravidarum. J Am Acad Dermatol 2004; 51(6): 881-5
4. Thomas RG, Liston WA. Clinical associations of striae gravidarum. J Obstet Gynaecol 2004; 24(3): 270-1
5. Sellier S et al. Facteurs de risque des vergetures de la grossesse. Ann Dermatol Venerol 2005; 132(HS3): 29-30
6. Atwal GS, Manku LK, Griffiths CE, Polson DW. Striae gravidarum in primiparae. Br J Dermatol 2006; 155(5): 965-9
7. Karen J et al. Changes in the skin and of diseases during pregnancy. In: Freedberg IM, Eisen AZ, Wolf K, Austen KF, Goldsmith LA, Katz S, eds. Fitzpatrick's Dermatology in General Medicine. 7th edn. New York: McGraw-Hill Medical, 2008
8. Shuster S. The cause of striae distensae. Acta Derm Venerol Suppl (Stockh) 1979; 59(85): 161-9
9. Poindévin LO. Striae gravidarum. Their relation to adrenal cortical hyperfunction. Lancet 1959; 2(7100): 436-9
10. Troisier EP, Ménétrier Histologie des vergetures. AnnGynecol (Paris) 1889; 31: 206
11. Shelley WB, Cohen W. Stria migrans. Arch Dermatol 1964; 90: 193-4
12. Arem AJ, Kisher CW. Analysis of striae. Plast Reconstr Surg 1980; 65(1): 22-9
13. Viennet C, Bride J, Cohen-Letessier A, Humbert P. [Mechanical behavior of fibroblasts included in collagen lattices]. French. J Soc Biol 2001; 195(4): 427-30
14. Cohen-Letessier A. Les vergetures: Maladie du fibroblaste? Théories étiopathogéniques. Les Nouvelles Dermatologiques 1998
15. Salter SA, Kimball AB. Striae gravidarum 2006; 24(2): 97-100
16. Zheng P, Lavker RM, Kilgman AM. Anatomy of striae. Br J Dermatol 1985; 112(2): 185-93
17. Adam JE, Craig G. Striae and their relation to topical steroid therapy. Can Med Assoc J 1965; 92: 289-91
18. Moretti GA, Rebora M. Striae distensae: how and why they are formed. In: Moretti G, Rebora M, eds. Striae Distensae. Milan: Brocades, 1976
19. Morelli JG. Diseases of the dermis. In: Kliegman RM et al. eds, Nelson Textbook of Pediatrics. 18th edn. Philadelphia: Elsevier Saunders, 2007
20. Lee KS, Rho YJ, Jang SI, Suh, MH, Song JY. Decreased expression of collagen and fibronectin genes in striae distensae tissue. Clin Exp Dermatol 1994; 19(4): 285-8
21. Roos N, Cohen-Letessier A. Les vergetures. Da la clinique au traitement. France: Editions Med'Com, 2009
22. Mitts TF, Jimenez F, Hinek A. Skin biopsy analysis reveals predisposition to stretch mark formation. Aesthetic Surg J 2005; 25(6): 593-600
23. Postgraduate Medical Journal papers 1950; 26, 201, 417; Lancet, November/December 1950. 2, 415, 595
24. Piérard-Franchimont C, Hermanns JF, Hermanns-Lé T, Piérard GE. Striae distensae in darker skin types: the influence of melanocyte mechanobiology. J Cosmet Dermatol 2005; 4(3): 174-8
25. Karu TI, Kolyakov SF. Exact action spectra for cellular responses relevant to phototherapy. Photomed Laser Surg 2005; 23(4): 355-61
26. Karu T. Mitochondrial signaling in mammalian cells activated by red and near-IR radiation. Photochem Photobiol 2008; 84(5): 1091-9
27. Vinck EM, Cagnie BJ, Cornelissen MJ, Declercq HA, Gambler DC. Increased fibroblast proliferation induced by light emitting diode and low power laser irradiation. Lasers Med Sci 2003; 18(2): 95-9
28. McDaniel DH, Newman J, Geronemus R, Weiss RA, Weiss MA. Nonablative nonthermal LED photomodulation – multicenter clinical photoaging trial. Lasers Surg Med 2003; 32(Suppl 15): 22
29. Webb C, Dyson M, Lewis WH. Stimulatory effect of 660 nm low level laser energy on hypertrophic scar-derived fibroblasts: possible mechanisms for increase in cell counts. Lasers Surg Med 1998; 22(5): 294-301
30. Barolet D, Boucher A. Thérapie LED non ablative et non thermique. Principes de photobiologie cutanée. Indications- perspectives futures. La science des LED. Nouv Dermatol 22007; 6(Suppl 7): 10-5
31. Lam TS, Abergel RP, Meeker CA, Castel JC, Dwyer RM, Uitto J. Laser stimulation of collagen synthesis in human skin fibroblast cultures. Lasers Life Sci 1986; 1(1): 61-77
32. Menezes S, Coulomb B, Lebreton C, Dubertret L. Non-coherent near infrared radiation protects normal human dermal fibroblasts from solar ultraviolet toxicity. J Invest Dermatol 1998; 111(4): 629-33
33. Mester E, Ludány G, Sellyei M, Szende B, Tota J. The stimulating effect of low power laser rays on biological systems. Laser Rev 1968; 1: 3
34. Karu TI. [Molecular mechanism of the therapeutic effect of low-intensity laser irradiation]. Russian. Dokl Akad Nauk SSSR 1986; 291(5): 1245-9
35. Whelan HT, Smits RL Jr, Buchman EV et al. Effect of NASA light-emitting diode irradiation on wound healing. J Clin Laser Med Surg 2001; 19(6): 305-14
36. Karu TI, Afanas'eva NI. [Cytochrome c oxidase as the primary photoacceptor upon laser exposure of cultured cells to visible and near IR-range light.] Dokl Akad Nauk 1995; 342(5): 693-5
37. Poynton RO, Ball KA. Therapeutic photobiomodulation: nitric oxide and a novel function of mitochondrial cytochrome c oxidase. Discov Med 2011; 11(57): 154-9
38. Weiss RA, Weiss MA, Geronemus RG, McDaniel DH. A novel non-thermal non-ablative full panel LED photomodulation device for reversal of photoaging: digital microscopic and clinical results in various skin types. J Drugs Dermatol 2004; 3(6): 605-10
39. Geronemus R, Weiss RA, Weiss MA, McDaniel DH, Newman J. Non-ablative LED photomodulation. Light activated fibroblast stimulation clinical trial. Lasers Surg Med 2003; 25: 22
40. Barolet D, Boucher A, Bjerring P. In vivo human dermal collagen production following LED-based therapy: the importance of treatment parameters. 2005. <http://tinyurl.com/6snppep> (accessed 18 January 2012)
41. Bolsnie S, Branchet MC, Bénichou L. Intérêt d'un nouveau traitement des vergetures par exposition à des sources lumineuses monochromatiques. J Med Esth et Chir Derm 2006; 33(13): 181-6
42. Lopez MJ, Hayashi K, Fanton GS, Thabit G 3rd, Markel MD. The effect of radiofrequency energy on the ultrastructure of joint capsular collagen. Arthroscopy 1998; 14(5): 495-501
43. Ross EV et al. Une nouvelle non ablative technologies de radiofréquence pour application cutanée de serrage. AAD Annual Conference, 2000
44. Alster TS, Lupton JR. Nonablative cutaneous remodeling using radiofrequency devices. Clin Dermatol 2007; 25(5): 487-91
45. Zelickson BD, Kist D, Bernstein E et al. Histological and ultrastructural evaluation of the effects of a radiofrequency-based nonablative dermal remodeling device: a pilot study. Arch Dermatol 2004; 140(2): 204-9
46. Wright NT, Humphrey JD. Denaturation of collagen via heating: an irreversible rate process. Annu Rev Biomed Eng 2002; 4: 109-28
47. Murray JC, Farndale RW. Modulation of collagen production in cultured fibroblasts by a low-frequency, pulsed magnetic field. Biochim Biophys Acta 1985; 838(1): 98-105
48. Alster TS, Lupton JR. Nonablative cutaneous remodeling using radiofrequency devices. Clin Dermatol 2007; 25(5): 487-91
49. Zelickson BD, Kist D, Bernstein E et al. Histological and ultrastructural evaluation of the effects of a radiofrequency-based nonablative dermal remodeling device: a pilot study. Arch Dermatol 2004; 140(2): 204-9
50. Alster T, Tanzi E. Improvement of neck and cheek laxity with a nonablative radiofrequency device: a lifting experience. Dermatol Surg 2004; 30(4 Pt 1): 503-7
51. Mordon S. Intérêt de l'étude de la biréfringence dans l'analyse de la rétraction collagénique après chauffage laser ou radio-fréquence. Réalités Thérapeutiques en Dermato-Vénérologie 2004; 138: 33-8
52. Suh DH, Chang KY, Son HC, Ryu JH, Lee SJ, Song KY. Radiofrequency and 585-nm pulsed dye laser treatment of striae distensae: a report of 37 Asian patients. Dermatol Surg 2007; 33(1): 29-34
53. Hantash BM, Ubeld AA, Chang H, Kafi R, Renton B. Bipolar fractional radiofrequency treatment induces neolastogenesis and neocollagenesis. Lasers Surg Med 2009; 41(1): 1-9
54. Manuskiatti W, Boonthaweeuwat E, Varothai S. Treatment of striae distensae with a TriPolar radiofrequency device: a pilot study. J Dermatolog Treat 2009; 20(6): 359-64

Tout droit de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés réservés pour tous pays. En application de la loi du 1^{er} juillet 1992, il est interdit de reproduire, même partiellement, la présente étude sans l'autorisation express et par écrit de l'auteur.

All rights reserved. No part of this publication may be translated, reproduced, stored in a system or transmitted in any form or by any other electronic means, mechanical, photocopying, recording or otherwise without prior permission of the publisher