

Les ultrasons focalisés en dermatologie

RÉSUMÉ : En dermatologie interventionnelle, nous sommes habitués à utiliser des sources d'énergies photoniques (lasers, LED, lumières intenses pulsées) et des radiofréquences.

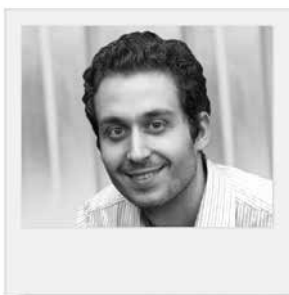
Depuis quelques années, est venue s'ajouter une nouvelle source d'énergie à visée thérapeutique : les ultrasons focalisés. Leurs indications sont actuellement limitées, d'une part, au traitement de la laxité de l'ovale du visage et du relâchement des paupières supérieures et, d'autre part, à la lipolyse non invasive.

De nombreux arguments plaident pour une extension de ces indications dans les années à venir.



→ J.M. MAZER

Centre Laser International de la Peau,
PARIS.



→ M. NAOURI

Centre Laser International de la Peau,
PARIS.
Centre Laser, NOGENT-SUR-MARNE.

Ultrasons focalisés haute intensité : principes physiques de base

Les ultrasons sont des ondes acoustiques pouvant être produites par effet piézo-électrique indirect (transformation d'une énergie électrique en énergie vibratoire) au sein d'un transducteur. Couramment utilisée en médecine diagnostique, l'exploration échographique est réputée, à juste titre, non traumatisante pour les tissus en raison de la faible énergie délivrée lors de l'examen. On sait néanmoins, depuis les travaux de Freundlich publiés dès 1933 [1], qu'une augmentation importante de l'énergie ultrasonore émise permet d'obtenir des effets biologiques. Il faudra attendre les années 50 et les travaux de Fry [2] pour que soit réellement maîtrisée l'énergie ultrasonore par le processus dit de focalisation. Ce

processus permet de collecter une énergie importante à une profondeur et sur une zone prédéterminée et de petite taille, un peu à la manière d'une loupe avec le soleil.

Les indications médicales des ultrasons focalisés de haute intensité (UFHI) ont commencé à être développées à la fin du XX^e siècle, d'abord de manière confidentielle en neurologie et en ophtalmologie, puis de manière plus courante en pathologie tumorale, principalement urologique et gynécologique [3].

Sur le plan physique, la focalisation du faisceau ultrasonore est possible à partir de transducteurs à surface concave qui permettent de faire converger le faisceau ultrasonore en un point (zone focale) situé à une distance variable du transducteur (distance focale) [4] (fig. 1).



FIG. 1 : Le principe de la focalisation peut être comparé à l'effet d'une loupe sur les infrarouges du spectre solaire : en concentrant les rayons en un point focal, on obtient un effet thermique puissant.

Le balayage de la zone cible par le point focal peut être assuré soit par un déplacement mécanique du transducteur, soit par une angulation électronique, soit par les deux. Les fréquences utilisées en clinique varient en fonction de la profondeur de la cible à traiter : entre 0,5 MHz et 2 MHz pour les tissus profonds et jusqu'à 8 MHz pour les tissus superficiels. En effet, la distance focale dépend de la fréquence d'émission (elle augmente avec la diminution de fréquence) et du rayon de courbure du transducteur [4]. La forme du point focal ressemble à celle d'un grain de riz, ellipsoïde, allongée dans l'axe du faisceau ultrasonore. Son diamètre transversal minimum est égal à la longueur d'onde du faisceau (sa célérité divisée par sa fréquence) : par exemple, avec un transducteur de 1,5 MHz, la longueur d'onde est de 1 mm dans les tissus mous [4]. La longueur de la zone focale dépend du rayon de courbure et du diamètre du transducteur, ce qui explique qu'elle soit plus importante que la largeur (d'où la forme ellipsoïde) [4]. La petite taille du foyer est à la fois un avantage, permettant une précision accrue, et un inconvénient puisque le protocole de traitement nécessite de déplacer le foyer pour couvrir tout le volume à traiter. Une focalisation satisfaisante des ondes ultrasonores à travers la peau ne peut se faire qu'en l'absence d'interface aérique ou osseuse, ce qui impose l'interposition d'un matériel de couplage (gel) comme en échographie.

Comme dans le domaine des lasers, les effets biologiques des ultrasons focalisés de haute intensité (UFHI) sont dépendants du mode d'émission, qui détermine un effet soit thermique, soit mécanique, et de l'énergie émise. Les effets thermiques sont produits en mode continu, permettant, selon l'énergie émise, d'obtenir des effets biologiques thermo-induits, voire d'aller jusqu'à la nécrose tissulaire (permettant la thermoablation de lésions tumorales). Les effets mécaniques de cavitation sont déclen-

chés par l'utilisation de modes pulsés. Ils peuvent être produits à faible énergie (permettant des effets biologiques) ou à haute énergie (permettant l'ablation dite histotritie, proche de la lithotritie) [4].

Par leurs caractéristiques particulières, les UFHI sont un complément utile aux lasers et techniques de radiofréquence. Les lasers permettent une action sélective sur une cible prédéterminée au sein du derme. Les conditions sont optimales lorsque cette cible est colorée (principe de la photothermolyse sélective). En revanche, lorsque la cible est l'eau des tissus, l'action est moins spécifique et toujours limitée en profondeur (2 mm au maximum), et ce malgré les évolutions technologiques telles que la photothermolyse fractionnée. Les radiofréquences permettent d'atteindre des zones de traitement plus profondes, mais jamais au-delà de quelques millimètres, et provoquent un échauffement limité et dépendant de la nature du tissu à traiter (transmission difficile dans la graisse). Les UFHI vont permettre de traiter de manière plus sélective – à des profondeurs beaucoup plus importantes et sans interagir avec la surface de la peau (dont la mélanine) – des cibles jusqu'alors inaccessibles aux techniques suscitées : l'hypoderme, le système musculo-aponévrotique superficiel (SMAS) et la graisse sous-cutanée.

Dans le cadre des traitements dermatologiques, malgré la relative confidentialité des constructeurs concernant leur mode de fonctionnement intrinsèque, on peut considérer que deux appareils utilisent l'effet biologique thermo-induit (Ulthera et LipoSonix) et un autre l'effet biologique de cavitation (UltraShape). La profondeur de focalisation et la taille des impacts déterminent les indications :

- l'Ulthera permet ainsi d'induire des zones de dénaturation situées dans le derme, l'hypoderme et le SMAS, dans le but d'une remise en tension du visage et du cou ("lifting médical") ;
- le LipoSonix et l'UltraShape ciblent le

pannicule adipeux. Ils sont tous deux indiqués dans la lipolyse non invasive, mais fonctionnent sur un mode différent : le LipoSonix a pour finalité l'obtention de zones de nécrose thermique dans la graisse sous-cutanée, permettant une diminution de son épaisseur et un effet de remise en tension liée à la production d'une néosynthèse collagénique accompagnant la lipolyse, tandis que l'Ultra Shape vise à éliminer l'excès de graisse en créant des zones de destructions induites par cavitation.

En dermatologie, nous devons donc différencier deux types de traitements bien différents : les ultrasons microfocalisés Ulthera pour la laxité et les USFHI à visée lipolytique pour la lipolyse non invasive.

Les ultrasons microfocalisés pour la laxité

À ce jour, les ultrasons microfocalisés ne sont représentés que par l'appareil DeepSEE de la société Ulthera. Le prin-

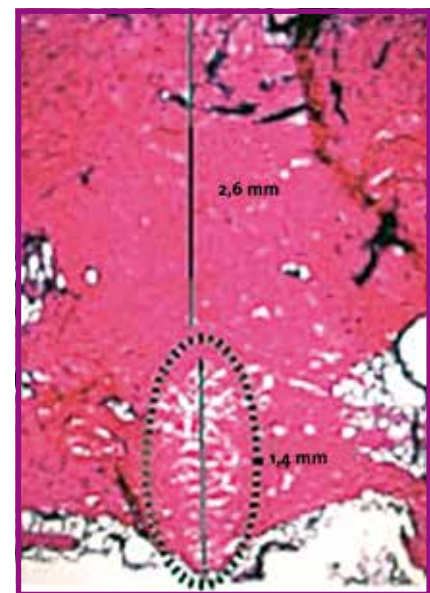


FIG. 2 : Histologie d'un impact d'ultrasons microfocalisés pour une profondeur locale de 3 mm. D'après [5].

cipe de cet appareil est de délivrer des impacts d'environ 1 mm de diamètre, de façon très précise et reproductible, en traçant des lignes de points d'environ 2 cm de long. La profondeur focale dépend du choix du transducteur. Les profondeurs varient de 1,5, 3 et 4,5 mm afin de cibler le derme profond, l'hypoderme et le SMAS des régions faciales et cervicales. L'élévation thermique au niveau du point focal est très élevée, de l'ordre de 64 °C, produisant une intense coagulation tissulaire [5-7].

Il en découle les deux indications principales: la remise en tension de l'ovale du visage et le traitement de la laxité de la paupière supérieure et du front. Précisons que si cette technique ne saurait à l'évidence être comparée à un lifting chirurgical, son efficacité étant bien moindre, il s'agit néanmoins de la première technique non chirurgicale ayant reçu de la FDA américaine l'agrément sous le terme de *brow lift*, soit "lifting du sourcil".

1. Particularité des ultrasons par rapport au phototype

Il est intéressant de savoir que, à la différence des techniques lasers, les ultrasons ne sont pas sensibles à la mélanine. L'absorption et l'interaction avec la mélanine épidermique sont nulles. La réaction inflammatoire est profonde, trop pour provoquer des risques d'hyperpigmentation post-inflammatoire. Ainsi, on peut traiter de la même façon l'ensemble des phototypes.

2. Aspects pratiques

Le traitement repose sur la réalisation de deux passages successifs sur deux profondeurs focales différentes, c'est-à-dire à 4,5 mm puis à 3 mm, de façon à traiter l'ensemble de la région concernée. Au niveau de l'ovale, les zones ciblées sont les régions sous-mentonnières, le haut du cou, le bas des joues, sous les pommettes, la région préauriculaire et éventuellement la

région située en arrière du sillon nasogénien. Les ultrasons ne doivent jamais atteindre les structures cartilagineuses et osseuses. Une connaissance de l'anatomie du visage et le respect de certaines règles simples sont indispensables. On peut s'aider, en cas de doute, par l'échographie en temps réel proposée sur l'écran de l'appareil. Au niveau du visage, il suffira d'éviter le rebord mandibulaire, la région mentonnière et, au niveau du cou, les cartilages du laryngopharynx.

Certaines zones doivent également être logiquement respectées, en particulier la région sous-commissurale des lèvres, pour ne pas entraîner un effet de tension sur les commissures labiales, source de l'amorce d'une ride d'amertume. Ainsi, les zones traitées sont les régions sous-mentonnière et sous-mandibulaire ainsi que le bas des joues. Pour réduire le relâchement des sourcils, on traitera le front, en particulier la partie externe car on doit davantage agir sur la queue du

sourcil que sur sa partie interne. Pour exercer un effet liftant sur une paupière relâchée, on traitera la partie supérieure, sous-sourcilière, des paupières.

3. Indications

Les indications sont liées à l'induction d'un effet tenseur [8-16]. À l'évidence, l'indication principale est le traitement de la laxité touchant l'ovale du visage [17] et les paupières supérieures. L'efficacité n'est à l'évidence pas celle d'un lifting chirurgical, mais elle est généralement nette dès la première séance, apparaissant progressivement et s'amplifiant dans les 3 mois qui suivent (*fig. 4 et 5*). En cas de relâchement important ou en cas de surcharge grasseuse plus marquée, une deuxième séance peut être proposée afin d'amplifier les résultats.

Notre équipe a montré que l'effet clinique était moins net sur les joues que sur les régions sous-mentale et sous-mandibulaire [17]. Sur la paupière



FIG. 4 : Avant et 4 mois après Ulthera.



FIG. 5 : Avant et 3 mois après Ulthera.

supérieure, en raison de la faible surface cutanée sur laquelle on peut délivrer des ultrasons, une deuxième séance est souvent nécessaire.

D'autres indications se développent, toutes liées à l'action profonde produisant un effet tenseur: traitement de la laxité des bras, des rides verticales du décolleté, voire du relâchement du ventre. Dans ces dernières indications, jusqu'à présent considérées à juste titre comme difficiles, les études sont encore trop rares pour conclure formellement [16, 18].

4. Suites du traitement

Du fait de la focalisation en profondeur des ultrasons, les suites sont très peu visibles, sans éviction sociale. Elles sont marquées par un érythème passager ne dépassant pas 30 minutes. Rarement [8-10, 12-14] sont observés de l'œdème, quelques vésicules de petit diamètre ou, en cas de traitement de la paupière supérieure, une diminution de la sensibilité du front durant quelques jours, mais toujours réversible. Peuvent être également observés quelques ecchymoses superficielles, de surface limitée, et un endolorissement de la région sous-mentale ou des paupières persistant quelques jours. Aucun effet secondaire significatif et problématique n'a été observé dans les différentes études. Lors d'une étude présentée dans le cadre des JDIP de juin 2013 portant sur 233 cas, nous avons souligné l'innocuité de la méthode.

La question du risque d'atteinte d'une branche du nerf facial ne se pose pas, dans la mesure où les branches les plus superficielles sont situées à plus de 9 mm de profondeur, alors que le point le plus profond effectué avec ce traitement ne dépasse pas 4,5 mm. En pratique, aucun soin n'est nécessaire après la séance.

5. Inconvénients

Le principal inconvénient réside dans le caractère relativement douloureux

qui exige du patient une certaine motivation. En effet, les points profonds peuvent provoquer des sensations de brûlures fugaces. Aucune anesthésie ne peut être utilisée dans la mesure où les crèmes anesthésiantes n'ont pas une action assez profonde pour être efficaces, et les injections de lidocaïne peuvent être responsables d'une interaction avec les ultrasons. En pratique, seule pourra être proposée la prescription d'ibuprofène et de paracétamol *per os* 1 heure avant la séance. Dans les cas où la douleur est mal supportée, ce qui s'avère en pratique exceptionnel, on peut éventuellement proposer une anesthésie respiratoire ambulatoire au protoxyde d'azote.

Concernant les paupières supérieures, précisons qu'il est habituel d'en traiter la partie supérieure, supra-osseuse. Il est inutile, car ne serait pas efficace en termes d'effet tenseur, de traiter la partie supra-oculaire, même si le caractère focalisé entraîne l'absence de risques pour l'œil (les ultrasons l'atteindraient de façon défocalisée, donc sans puissance et sans risques liés à un effet thermique...).

Les ultrasons focalisés de haute intensité à visée lipolytique

Nous l'avons vu, les ultrasons peuvent exercer deux types d'effet tissulaire au niveau du tissu adipeux: les ultrasons focalisés pulsés (UltraShape) induisent un effet de cavitation au niveau des adipocytes, source de rupture adipocytaire. Les UFSHI émettant de manière continue (LipoSonix) provoquent, par un effet thermique, une acoustico-thermolyse sélective des adipocytes.

1. Efficacité des ultrasons

Une étude multicentrique contrôlée de Teitelbaum *et al.* a évalué l'efficacité et la tolérance d'une seule séance d'ultrasons focalisés pour réduire des excès adipeux

[19]. 137 patients ont été traités à raison d'une séance avec l'appareil Contour I (UltraShape), alors que 27 constituaient un groupe contrôle. Les zones traitées étaient l'abdomen ou les cuisses ou encore les flancs. L'évaluation était réalisée 12 semaines plus tard, reposant sur la réduction de la circonférence des régions traitées. La réduction moyenne a été de 2 cm. La tolérance a été évaluée par la recherche systématique d'effets secondaires cliniques, le dosage des lipides sanguins et des échographies hépatiques.

Une autre étude [20] d'Ascher *et al.* a évalué la tolérance et l'efficacité de plusieurs séances d'ultrasons focalisés (UltraShape Contour I). Trois séances espacées de 15 jours ont été effectuées chez 25 femmes, au niveau de la région abdominale antérieure. L'efficacité était évaluée par la réduction de la circonférence abdominale, alors que la détermination de la circonférence des cuisses servait de témoin, afin d'éliminer les effets d'une perte de poids non reliée au traitement. Ainsi, alors qu'aucune réduction n'a été observée sur les cuisses (zones témoins), la réduction de circonférence abdominale a été de 3,51 cm en moyenne au 56^e jour et de 3,58 cm au 112^e jour. Aucun effet secondaire significatif n'a été observé.

Une étude [21] de Moreno-Moraga a été réalisée chez 30 patients, à raison de trois traitements espacés de 1 mois. Les zones traitées incluaient l'abdomen, les flancs abdominaux, l'intérieur des genoux et, chez les hommes, les régions mammaires (gynécomastie masculine). En termes d'efficacité, une réduction de l'épaisseur du pannicule adipeux de $2,28 \pm 0,8$ cm a été objectivée ainsi qu'une diminution de $3,95 \pm 1,99$ cm de la circonférence, sans modification du poids. Un effet chimique était visible chez la totalité des patients. La tolérance tant clinique que biologique (pas de variation des lipides sanguins) et échographique hépatique (recherche de stéatose) a été excellente.

Une étude rétrospective de Fatemi *et al.* [22] a porté sur l'évaluation de la tolérance et de l'efficacité d'un système d'ultrasons focalisés haute intensité LipoSonix. 85 patients ont été traités en une session de LipoSonix sur l'abdomen antérieur ou les flancs. La réduction de circonférence, 3 mois après un seul traitement, était en moyenne de 4,6 cm. La tolérance s'est révélée excellente: 11,8 % des patients ont rapporté des effets secondaires modérés (sensibilité, ecchymoses, œdème, douleur) régressant tous spontanément, sans traitement. Aucun effet secondaire sévère ou exigeant une prise en charge n'a été observé.

2. Indications des ultrasons de lipolyse

Les ultrasons focalisés de lipolyse induisent une diminution d'épaisseur du pannicule adipeux. Afin que l'effet soit sélectif, il faut que la profondeur focale soit située en plein pannicule adipeux, en tenant compte du fait que l'effet tissulaire s'exerce sur une hauteur de l'ordre de 1 cm, donc de ½ cm de part et d'autre du point focal. En pratique, cela signifie que pour traiter un(e) patient(e), il faut que l'épaisseur du pannicule adipeux soit au moins de 1,5 cm, ce qui, pour le moins, n'est pas rare. Pour en être certain, il faut pincer la peau et s'assurer que l'épaisseur est alors de plus de 3 cm.

La bonne indication est donc le traitement d'une surcharge graisseuse diffuse sur l'abdomen, éventuellement les cuisses et la région de la "culotte de cheval". En cas de bourrelet bien localisé, ces techniques sont moins intéressantes dans la mesure où nous disposons de la cryolipolyse, efficace mais non adaptée au traitement d'une hypertrophie adipeuse diffuse. Bien sûr, dans tous les cas, ces techniques ne peuvent remplacer un régime.

Il est difficile de comparer l'UltraShape et le LipoSonix, et aucune étude clinique comparative n'a été publiée. Leur mode d'action est différent, "vibratoire" pour le premier, thermique pour le second, ce qui

entraîne des avantages et inconvénients différents. Ainsi, comparé à l'UltraShape, le LipoSonix pose le problème de la douleur du traitement et de la difficulté à traiter si le pannicule est peu épais, mais il permet une réelle amélioration de la laxité si celle-ci est présente. L'UltraShape est plus facile à réaliser, car à peine douloureux pour le patient; il peut être répété, mais il ne permet pas d'amélioration d'une éventuelle laxité associée.

3. Tolérance des ultrasons

La bonne tolérance des ultrasons basse fréquence UltraShape a été largement démontrée par la recherche systématique d'effets secondaires cliniques et par le dosage des lipides sériques. Aucune anomalie clinique significative n'a été observée en dehors d'effets secondaires mineurs et transitoires (érythème et douleurs transitoires et modérées). Aucune variation des lipides sériques n'a été rapportée.

Les deux publications de Fatemi [22, 23] ont également évalué la tolérance des ultrasons haute intensité LipoSonix. 387 patients ont été traités avec évaluation des effets secondaires. 15 % des patients ont présenté des effets secondaires bénins et transitoires ne nécessitant pas de traitement (sensibilité cutanée, ecchymoses superficielles, œdème, toujours totalement réversibles). Aucun effet secondaire sévère n'a été observé.

Dans les études pilotes, les effets secondaires cliniques ont été du même type, jamais significatifs; en particulier, aucun cas de nécrose, d'abcès, de fistule ou de microcalcifications n'a été observé. La possible libération de lipides par les adipocytes ayant fait l'objet du processus d'acoustico-thermolyse sélective ne s'est accompagnée d'aucune modification du profil lipidique: acides gras libres, triglycérides, VLDL, HDL, LDL et cholestérol total [24-32].

Les analyses sériques ne mettaient pas en évidence de variations analyses

sanguines (en particulier des amylases, lipases, numération formule sanguine). Dans l'étude clinique permettant l'agrément de la FDA, 180 patients ont été inclus et traités avec la même absence d'effets secondaires [31].

Conclusion

Les ultrasons microfocalisés Ulthera semblent particulièrement intéressants par leur effet tenseur au niveau d'une région jusqu'ici difficile à prendre en charge: l'ovale du visage. Leur intérêt est d'autant plus important que nous ne disposons pas de techniques très efficaces, en dehors, bien sûr, du lifting cervico-facial dont on connaît l'efficacité mais aussi la réticence que certaines patientes éprouvent de plus en plus souvent à son égard.

Les traitements de la silhouette vont sans doute prendre une place plus importante dans notre pratique quotidienne, à condition de disposer de méthodes réellement sans risques et apportant une réelle (c'est-à-dire visible pour le patient) efficacité [32, 33].

Le dermatologue doit donc maintenant savoir intégrer ces traitements par ultrasons dans son arsenal thérapeutique, à côté des autres sources d'énergie thermiques.

Bibliographie

1. FREUNDLICH H, SOLLNER K, ROGOWSKI F, "Klin Wochenschr" 1933;11:1512.
2. FRY WJ, BARNARD JW, FRY FJ *et al.* Ultrasonic Lesions in the Mammalian Central Nervous System with Ultrasound. *Science*, 1995;122:517-518.
3. RIBAUT M. Caractérisation ultrasonore de lésions induites par ultrasons focalisés de haute intensité. 1999. Thèse de Médecine Université Lyon 1 Claude Bernard.
4. GRENIER N, TRILLAUD H, PALUSSIÈRE J *et al.* Thérapies par ultrasons focalisés. *J Radiol*, 2007;88:1787-1800
5. LAUBACH HJ *et al.* Intense focused ultrasound: evaluation of a new treatment modality for precise microcoagulation within the skin. *Dermatol Surg*, 2008;34:727-734.

POINTS FORTS

- ➞ Les ultrasons, grâce au principe de la focalisation, permettent d'obtenir un effet thermique très puissant à des profondeurs précises et inaccessibles pour les lasers.
- ➞ Les ultrasons microfocalisés Ulthera ciblent le derme profond, l'hypoderme et le SMAS (système musculo-aponévrotique superficiel).
- ➞ La meilleure indication des ultrasons microfocalisés Ulthera est le traitement de l'ovale du visage. D'autres régions topographiques difficiles à traiter pourraient bénéficier du traitement Ulthera comme les bras et le décolleté.
- ➞ La meilleure indication des ultrasons focalisés LipoSonix est le traitement de bourrelets graisseux diffus sur la région abdominale, associés à une laxité préexistante.
- ➞ La meilleure indication des ultrasons focalisés UltraShape est le traitement de bourrelets graisseux diffus sur la région abdominale sans laxité associée.
- ➞ La tolérance des techniques de lipolyse non invasive par ultrasons est excellente et ne s'accompagne pas de modifications des paramètres biologiques sériques.
- ➞ Le principal inconvénient des ultrasons focalisés Ulthera et LipoSonix est la douleur pendant le traitement, du fait de l'impossibilité de proposer une anesthésie locale.

6. WHITE WM *et al.* Selective creation of thermal injury zones in the superficial musculoaponeurotic system using intense ultrasound therapy: a new target for non-invasive facial rejuvenation. *Arch Facial Plast Surg*, 2007;9:22-29.
7. WHITE WM *et al.* Selective transcutaneous delivery of energy to porcine soft tissues using Intense Ultrasound (IUS). *Lasers Surg Med*, 2008;40:67-75.
8. GLIKLICH RE *et al.* Clinical pilot study of intense ultrasound therapy to deep dermal facial skin and subcutaneous tissues. *Arch Facial Plast Surg*, 2007;9:88-95.
9. ALAM M *et al.* Ultrasound tightening of facial and neck skin: a rater-blinded prospective cohort study. *J Am Acad Dermatol*, 2010;62:262-269.
10. CHAN NP *et al.* Safety study of transcutaneous focused ultrasound for non-invasive skin tightening in Asians. *Lasers Surg Med*, 2011;43:366-375.
11. LEE HS *et al.* Multiple Pass Ultrasound Tightening of Skin Laxity of the Lower Face and Neck. *Dermatol Surg*, 2011.
12. SUH DH *et al.* Intense focused ultrasound tightening in asian skin: clinical and pathologic results. *Dermatol Surg*, 2013;37:1595-1602.
13. MACGREGOR JL, TANZI EL. Microfocused ultrasound for skin tightening. *Semin Cutan Med Surg*, 2013;32:18-25.
14. BROBST RW, FERGUSON M, PERKINS SW. Ulthera: initial and six month results. *Facial Plast Surg Clin North Am*, 2012;20:163-176.
15. SUH DH, OH YJ, LEE SJ *et al.* An intense-focused ultrasound tightening for the treatment of infraorbital laxity. *J Cosmet Laser Ther*, 2012;14:290-295.
16. SASAKI GH, TEVEZ A. Clinical efficacy and safety of focused-image ultrasonography: a 2-year experience. *Aesthet Surg J*, 2012;32:601-612.
17. NAOURI M, ARIGON V, THOUX Z *et al.* Efficacité des Ultrasons Focalisés Haute Intensité Ulthera dans la remise en tension de l'ovale du visage. *Ann Dermatol Venerol* (sous presse).
18. ALSTER TS, TANZI EL. Noninvasive lifting of arm, thigh, and knee skin with transcutaneous intense focused ultrasound. *Dermatol Surg*, 2012;38:754-759.
19. TEITELBAUM SA, BURNS JL, KUBOTA J *et al.* Noninvasive body contouring by focused ultrasound: safety and efficacy of the Contour I device in a multicenter, controlled, clinical study. *Plast Reconstr Surg*, 2007;120:779-789.
20. ASCHER B. Safety and efficacy of UltraShape Contour I treatments to improve the appearance of body contours: multiple treatments in shorter intervals. *Aesthet Surg J*, 2010;30:217-224.
21. MORENO-MORAGA J, VALERO-ALTES T, RIQUELME AM *et al.* Body contouring by non-invasive transdermal focused ultrasound. *Lasers Surg Med*, 2007;39:315-323.
22. FATEMI A, KANE MA. High-intensity focused ultrasound effectively reduces waist circumference by ablating adipose tissue from the abdomen and flanks: a retrospective case series. *Aesthetic Plast Surg*, 2010;34:577-582.
23. FATEMI A. High-intensity focused ultrasound effectively reduces adipose tissue. *Semin Cutan Med Surg*, 2009;28:257-262.
24. FERRARO GA, DE FRANCESCO F, NICOLETTI G *et al.* Histologic effects of external ultrasound-assisted lipectomy on adipose tissue. *Aesthetic Plast Surg*, 2008;32:111-115.
25. FODOR PB, SMOLLER BR, STECCO KA *et al.* Biochemical changes in adipocytes and lipid metabolism secondary to the use of high-intensity focused ultrasound for noninvasive body sculpting. In: American Society for Aesthetic Plastic Surgery Annual Meeting, Orlando, 21-25 Apr. 2006.
26. GADSDEN E, AGUILAR MT, SMOLLER BR *et al.* Clinical safety and histological changes associated with the use of a novel high-intensity focused ultrasound device for noninvasive body sculpting In: 5th European Masters in Aesthetic and Anti-aging Medicine, Paris, 2-3 Oct. 2009.
27. GARCIA-MURRAY E, RIVAS OA, STECCO KA *et al.* Evaluation of the acute and chronic systemic and metabolic effects from the use of high-intensity focused ultrasound for adipose tissue removal and noninvasive body sculpting. In: American Society of Plastic Surgeons Annual Meeting, Chicago, 24-25 Sept. 2009.
28. SMOLLER BR, GARCIA-MURRAY E, RIVAS OA *et al.* The histopathological changes from the use of high-intensity focused ultrasound (HIFU) in adipose tissue. In: American Academy of Dermatology 64th Annual Meeting, San Francisco, 3-7 Mar. 2006.
29. JEWELL M, BAXTER R, COX SE *et al.* Randomized sham-controlled trial to evaluate the safety and effectiveness of a high-intensity focused ultrasound device for noninvasive body sculpting. *Plast Reconstr*, 2011;128:253-262.
30. JEWELL ML, WEISS RA, BAXTER RA *et al.* Safety and tolerability of high-intensity focused ultrasonography for noninvasive body sculpting: 24-week data from a randomized, sham-controlled study. *Aesthet Surg J*, 2012;32:868-876.
31. SOLISH N, LIN X, AXFORD-GATLEY RA *et al.* A randomized single-blind, postmarketing study of multiple energy levels of high-intensity focused ultrasound for noninvasive body sculpting. *Dermatol Surg*, 2012;38:58-67.
32. MAZER JM. Lipolysis lasers. *Ann Dermatol Venerol*, 2009;136:S359-S362.
33. JEWELL ML, SOLISH NJ, DESILETS CS. Noninvasive body sculpting technologies with an emphasis on high-intensity focused ultrasound. *Aesthetic Plast Surg*, 2011;35:901-912.

L'auteur a déclaré ne pas avoir de conflits d'intérêts concernant les données publiées dans cet article.