

Remodelage cartilagineux assisté par laser (LACR) pour traiter les oreilles décollées : d'un modèle animal aux patients

Laser Assisted Cartilage Reshaping (LACR) for the treatment of protruding ears

FMP Leclère [1], I Petropoulos [2], M Trelles [3], M Germain [4], SR Mordon [1]

1. INSERM, U 703 (French National Institute of Health and Medical Research), Université Lille Nord de France - Lille University Hospital - CHRU, France.
2. ENT Department, 404 Military Hospital Larissa, Greece.
3. Instituto Médico Vilafortuny, Fundación Antoni de Gimbernat, Cambrils, Spain.
4. Département de Chirurgie, Institut Gustave Roussy, Villejuif, France.

Mots clés

- ◆ Oreilles décollées
- ◆ Laser
- ◆ Cloison nasale
- ◆ Remodelage alaire

Résumé

Introduction. Les oreilles décollées représentent une pathologie congénitale fréquente, de l'ordre de 13,5 %. Depuis les premiers travaux de Dieffenbach en 1845, plus de 170 méthodes chirurgicales ont été proposées pour leur correction. Depuis 2004 et les travaux de Mordon, l'INSERM U703 travaille sur le remodelage cartilagineux par laser (LACR) pour la cure des oreilles décollées.

Méthode. Entre 2004 et 2010, trois séries de patients furent traitées avec le laser Er : Glass 1540 nm pour la cure des oreilles décollées. Ces séries furent entreprises après des essais animaux réalisés chez le lapin. Cet article revient sur les particularités du modèle animal choisi et les difficultés de la transition à la clinique. Les essais cliniques sont ensuite discutés et les perspectives d'avenir présentées.

Résultats. Depuis notre publication princeps de 2004 sur le modèle animal, 49 patients ont été opérés par cette technique et sont inclus dans trois études différentes. La thérapie a été très bien tolérée dans chaque cas. Lorsque la fluence utilisée était de 84 J/cm² et l'attelle moulée de façon correcte, la correction obtenue et sa stabilité dans le temps apparaissait similaire à celle obtenue par la technique conventionnelle. De plus, nous notons que cette technique offrait une courbure plus régulière et naturelle de l'oreille, sans aucune cicatrice.

Conclusion. Le LACR, effectué sans aucune anesthésie, est une thérapie prometteuse pour les oreilles décollées, présentant très peu de complication. D'autres applications sont aujourd'hui à l'étude notamment comme alternative à la septoplastie classique.

Keywords

- ◆ Protruding ears
- ◆ Laser
- ◆ Nasal septum
- ◆ Alar reshaping

Abstract

Introduction. Protruding ears are a common congenital condition. Since the early work of Dieffenbach in 1845, over 170 surgical methods have been proposed for their correction. Since 2004 and the work of Mordon, INSERM U703 has been working on Laser Assisted Cartilage Reshaping (LACR) for the treatment of protruding ears.

Methods. Between 2004 and 2010, three series of patients were treated with laser Er: Glass 1540 nm for the treatment of protruding ears. These series were performed after animal series on rabbits. This article discusses the characteristics of the chosen animal model and the difficulties in transition to clinical practice. Clinical trials and future applications are then discussed.

Results. Since our original publication in 2004 on the animal model, 49 patients were operated by this technique and are included in three different studies. The therapy was well tolerated in each case. When the fluence used was 84 J/cm² and the splint correctly molded, the correction obtained and its stability over time appeared similar to that obtained by the conventional technique. In addition we noted that this technique offered a more regular and natural curvature of the ear, without any scars.

Conclusion. The LACR, performed without anesthesia, is a promising therapy for protruding ears. Other applications are now being considered including as an alternative to conventional septoplasty.

Les oreilles décollées sont une pathologie fréquente, observée chez plus de 13,5 % de la population. Depuis les premiers travaux de Dieffenbach (1), plus de 170 techniques chirurgicales ont été proposées (2-7). L'originalité des nouvelles techniques fait souvent défaut puisqu'elles associent ou excluent certaines techniques précédemment décrites. Malgré l'abondance des procédés, les complications inhérentes à cette chirurgie

restent fréquentes (8).

Depuis les premiers travaux de Sobol et al. en 1993, le remodelage cartilagineux par laser a suscité beaucoup d'intérêt en chirurgie plastique, maxillo-faciale et ORL (9, 10). De nombreuses longueurs d'onde ont ainsi été utilisées et récemment Bagratashvili (11) a démontré que la longueur d'onde 1,5 µm était parfaitement appropriée pour le cartilage en comparai-

Correspondance :

Franck Marie Leclère, MD, MSc, INSERM U 703
Lille University Hospital, 152, rue du Dr. Yersin, 59120 Loos- France.
E-mail: franck.leclere@inserm.fr; franckleclere@yahoo.fr

son avec d'autres lasers de pénétration plus superficielle comme le laser Ho:YAG laser et le laser CO₂. En 2004, nous avons rapporté la possibilité de remodeler avec succès le cartilage des oreilles de lapin à l'aide de cette longueur d'onde (12). Cette dernière permet un remodelage sans aucune incision, ni fragilisation mécanique du cartilage. De plus, du fait d'un système de refroidissement incorporé, aucune anesthésie n'est nécessaire pendant la procédure. Cet article revient sur les particularités du modèle animal choisi et les difficultés de la transition à la clinique. Les essais cliniques sont ensuite présentés et les perspectives d'avenir discutées.

Essais animaux

Modèle animal

Le modèle animal choisi a été le lapin qui était facilement accessible au laboratoire et doté d'oreilles de grandes dimensions. Ce modèle était cependant limité de par la présence de muscles auriculaires beaucoup plus puissants que ceux retrouvés chez l'homme (12). Dans notre laboratoire, le traitement LACR (*Laser Assisted Cartilage Reshaping*) a été réalisé *in vivo* sur 12 oreilles de lapin en utilisant un laser Er : Glass 154 µm connecté à une pièce à main présentant un système de refroidissement intégré (fig. 1). Le traitement a consisté en 15 points contigus (3 millisecondes, 7 impulsions, 12 J/cm², 2 Hz, fluence cumulée 84 J/cm²) appliqués sur huit rangées parallèles le long de l'oreille. Une attelle préformée en aluminium était ensuite posée pour une durée d'une semaine. Après son retrait, chaque oreille avait une légère tendance à reprendre sa forme initiale. Cependant, la nouvelle courbure auriculaire s'est stabilisée après 10 jours (fig. 2). À trois semaines, le rayon de courbure moyen a été de 7,25 mm comparé à 5 mm avant traitement. Des biopsies, réalisées lors du suivi, ont mis en évidence l'absence de toute brûlure cutanée (une semaine postopératoire) et une prolifération des chondroblastes (trois semaines postopératoires). Après six semaines, on observait un épaississement du cartilage. Cette couche néoformée se comporte alors comme une attelle biologique qui maintient l'oreille dans sa forme désirée.

Passage de l'animal à la clinique

Les difficultés liées au passage de l'animal à la clinique étaient de trois types.

- Les risques de brûlure cutanée et de dénaturation du cartilage, d'abord, étaient directement liés à la nature de la

technique. Sobol avait affirmé initialement que le remodelage cartilagineux ne pouvait être stable que si la température délivrée au niveau du cartilage était proche de 70°C (9, 10). Des études complémentaires menées par Diaz et al. (13) ont cependant démontré qu'à cette température, la viabilité des chondrocytes était compromise. Dans le même temps, Chae et al. (14) ont déterminé que la température associée au remodelage cartilagineux se situait entre 50°C et 65°C. Si les biopsies réalisées sur les oreilles irradiées ont bien montré l'absence de brûlure de l'épiderme et la viabilité des chondrocytes, la plage de température apparaît réduite. Considérant l'épaisseur variable de l'oreille humaine et la sensibilité cutanée, une attention particulière devait être accordée au système de refroidissement de surface afin d'atteindre une température optimale au sein du cartilage sans altération cutanée.

- Corollaire de l'élévation de la température, la douleur liée au traitement LACR devait être prévenue. Nous avons à notre disposition un système de refroidissement intégré, et la prescription systématique d'anti-inflammatoires était la règle.
- Enfin, le succès de cette nouvelle technique était fortement lié à la présence d'une attelle dans la phase postopératoire immédiate. Cette dernière devait être capable de maintenir l'oreille dans sa forme désirée. La difficulté était alors d'imposer cette contrainte aux patients jeunes et d'obtenir leur collaboration.

Séries cliniques

Technique LACR

La fluence du laser Er : Glass 1540 nm (Aramis, Quantel Derma GmbH, Erlangen, Allemagne, fig. 2) est réglée sur 12 J/cm² par spot (15). Le traitement consiste en une répartition d'environ une cinquantaine de tirs lasers (durée du spot : 3 ms ; fréquence : 2 Hz ; fluence cible cumulée : 84 J/cm²) délivrés sur chacune des deux faces de l'hélix et de la conche à l'aide d'une pièce à main de 4 mm comprenant un système intégré de refroidissement (Koolburst, Quantel Derma GmbH, Erlangen, Allemagne). Le système est particulièrement effi-



Figure 1. Remodelage des oreilles de Lapin par laser 1540 nm. Ici, 10 jours après traitement, la courbure est stabilisée dans sa forme quasi-définitive.

Figure 2. Laser Er : Glass 1540 nm utilisé pour le traitement LACR.





Figure 3. Traitement LACR, réalisé à l'aide d'un laser Er : Glass 1540 nm connecté à une pièce à main présentant un système de refroidissement intégré.

ce et ne nécessite l'emploi d'aucune anesthésie lors de la procédure (fig. 3).

Mise en place de l'attelle

Immédiatement après traitement, une attelle en silicone est appliquée au niveau de l'hélix pour maintenir la forme de l'oreille (Hydro-C, Detax, Ettlingen, Germany). Après trois minutes, le silicone est solidifié, et l'attelle ainsi mise en place est portée constamment pendant trois semaines, puis pendant trois semaines supplémentaires uniquement durant la nuit. La procédure entière ne prend pas plus de 15 à 20 minutes par oreille. Un traitement anti-inflammatoire est prescrit pendant trois jours.

Études cliniques

Depuis notre publication princeps de 2004 sur le modèle animal (12), 49 patients ont été opérés par cette technique et sont inclus dans trois études différentes (15-17) (fig. 4 et 5).

Une première série, réalisée sur un nombre restreint de patients, a permis de rendre compte d'une excellente capacité d'adaptation de la technique LACR à la clinique. Dans cette étude effectuée sur 12 oreilles chez huit patients avec la technique décrite ci-dessus, on notait un épaississement cartilagineux après deux semaines (16) ; de plus, la matrice cartilagineuse restait intacte dans chaque cas. Les chondrocytes étaient viables et fonctionnels. Ce remodelage apparaissait stable et comparable aux techniques chirurgicales conventionnelles. De plus, on ne déplorait aucune survenue de complications de type hématomes ou chéloïdes dans cette première série clinique. Enfin, un aspect plus naturel des oreilles était noté après opération LACR en comparaison avec les techniques conventionnelles.

Dans une deuxième série clinique réalisée sur 48 oreilles chez 24 patients, le suivi postopératoire fut dépourvu de complications, excepté pour six patients pour lesquels on déplorait l'apparition d'une légère dermatite due à une forme d'attelle mal appropriée (15). Ces patients ont arrêté le port de l'attelle, ce qui a conduit à un remodelage incomplet. On ne dénombrait, cependant, aucune infection ni nécrose cutanée ni hématome dans la série. Pour les 18 patients restant (six enfants et neuf adultes), le remodelage escompté a été atteint dans 15 cas (fluence : 84 J/cm^2) ; chez trois adultes, un remodelage partiel, voire incomplet, a été observé et corrélé avec une fluence moindre que celle décrite dans la technique ci-dessus (70 J/cm^2). Ces patients ont été à nouveau traités



Figure 4. Jeune fille avant et après traitement LACR pour thérapie des oreilles décollées.



Figure 5. La technique LACR est non-invasive et peut être appliquée à tout âge, ici avant et après traitement LACR pour correction de l'oreille décollée à gauche.

après trois mois avec une fluence de 84 J/cm^2 . Ce nouveau traitement a conduit au remodelage escompté.

Une troisième série réalisée sur 32 oreilles décollées chez 17 patients a bien montré que cette technique pouvait également s'appliquer à tout âge (17). Il s'agit d'une étude prospective dans laquelle les distances céphalo-auriculaires ont été mesurées de manière prospective après un recul allant parfois jusqu'à quatre ans. Les premières conclusions mettent en avant la grande stabilité de la technique à long-terme et son très faible taux de complications.

Discussion : évolution et autres possibilités thérapeutiques

Depuis les premiers travaux de Sobol et al. en 1993, de nombreuses spécialités chirurgicales se sont intéressées au remodelage cartilagineux assisté par laser (9, 10). Après des essais concluants chez l'animal, notre unité a développé une technique pour la cure des oreilles décollées en clinique. Le LACR réalisé sans anesthésie est très apprécié par les patients. Cette méthode a l'avantage de permettre une courbure plus régulière et naturelle de l'oreille, sans aucune cicatrice. Dans notre expérience (12,15-17), le remodelage obtenu par le laser 1540 nm est plus stable que celui effectué par les lasers YAG et CO₂ (18). Il est obtenu, non pas uniquement par l'augmentation de température, qui entraînerait une nécrose cutanée et cartilagineuse, mais bien par une prolifération et une régénération des cellules cartilagineuses (12), un phénomène probablement dû à la présence de cellules souches dans le péri-chondre et à la libération de facteurs de croissance dans

la matrice adjacente comme l'a bien démontré Bos (19). Des études récentes sur la peau ont clairement prouvé que les protéines de choc thermique (Famille Hsp70), fortement exprimées après irradiation laser (45-50°C), peuvent jouer un rôle déterminant, notamment par l'expression coordonnée de facteurs de croissance comme le TGF β 1 (20). Ces hypothèses ont gagné graduellement en importance, surtout depuis que les travaux de Tiffée ont mis en évidence le fait que les protéines de choc thermique participaient au métabolisme chondrocytaire (21).

La principale limite de cette technique reste cependant le port de l'attelle qui est difficilement supportable, en particulier pour les jeunes patients. En 2002, Jemec (22) soulignait leur importance après otoplastie. Il affirmait que leur port permettait une amélioration du résultat postopératoire immédiat et, par là même, de la confiance des patients. Tan et al. (23) ont même mis en avant une attelle comme alternative à la chirurgie. Dans notre deuxième série de 48 oreilles traitées par laser, un remodelage a été incomplet chez six patients, dû à une forme d'attelle inappropriée ou à une mauvaise collaboration des jeunes patients (15). Des recherches sont en cours afin de créer une attelle légère et de petite taille plus facile à porter.

Le remodelage assisté par laser réalisé sans aucune anesthésie et permettant d'obtenir un aspect plus naturel des oreilles après opération semble promis à un bel avenir. Cette application du remodelage cartilagineux n'est pas la seule, car actuellement d'autres indications sont également à l'étude.

- La septoplastie a été développée très tôt par l'équipe de Sobol (10). Dans une étude récente, Bourolias et al. ont présenté une série de 64 septums chez 64 patients corrigés par laser (24). Le score NOSE (25), traduisant les plaintes cliniques à l'anamnèse des patients, passaient de 17 à 10. De plus une rhinomanométrie permettait de confirmer la diminution de la résistance nasale. Nous avons récemment réalisé une étude semblable sur 12 patients à l'aide d'un laser 1540 nm sous anesthésie topique. Nos résultats sont comparables, puisque nous obtenons une diminution du score NOSE de 11,6 à 5,3 et une amélioration des résistances nasales à la rhinomanométrie (-16 %). Trois mois après traitement LACR, le débit narinaire est ainsi amélioré de 19 % (26). Si les résultats semblent encourageants, il semblerait cependant que cette thérapie se confronte aux grandes variations interindividuelles de l'anatomie des septums (27).
- Le remodelage des cartilages alaires dans la cure des fentes palatines (28). Si ces malformations peuvent être partiellement corrigées par la chirurgie (29), il nous semble que ce type de traitement soit une piste. Une première étude réalisée en 2006 a montré que cette thérapie était très bien tolérée. Il n'y a eu ni hématome ni nécrose de la peau. Le cartilage alaire était irradié par un laser 1540 nm grâce à un spot de 4 mm (7 spots de 12 J/cm²) et à un système de refroidissement instantané. Contrairement aux autres applications effectuées auparavant, cette thérapie était cependant appliquée au décours de la chirurgie afin d'irradier les deux faces du cartilage alaire. Elle est actuellement en cours d'évaluation sur de plus grandes séries de patients.

Conclusion

Le LACR, effectué sans aucune anesthésie, est une thérapie prometteuse pour les oreilles décollées. D'autres applications sont aujourd'hui à l'étude, notamment comme alternative à la septoplastie classique.

Questions

Question de J. Hureau

Ne peut-il pas y avoir hypercorrection ? Et que peut-on faire ?

Réponse

Nous avons montré (15) qu'en cas de remodelage incomplet ou de forme d'oreille non désirée après traitement (hypercorrigée par exemple), un second traitement LACR était possible et conduisait au résultat escompté. Il est important de souligner que cette technique permet une courbure plus régulière et naturelle de l'oreille que la technique conventionnelle, sans aucune cicatrice.

Question de R Virag

Compliments, associez Serge Mordon à ces compliments. Comment avez-vous calculé la fluence nécessaire au cartilage humain ?

Réponse

Dans cette application, le choix de la longueur d'onde optimale a été crucial. Le refroidissement par contact de l'épiderme et du derme a été aussi essentiel afin de confiner l'élévation de température au niveau du périchondre. La fluence (énergie délivrée par surface de cartilage irradié) a été déterminée par calcul puis validée lors d'expérimentations sur l'animal. Le souci était ici d'obtenir l'élévation de température nécessaire au remodelage sans altérer les tissus. Lors du passage à la clinique, nous avons d'emblée utilisé la fluence de 84 J/cm². Nous avons pu montrer qu'une fluence plus faible (70 J/cm²) ne permettait pas d'obtenir un chauffage suffisant. Au-delà de 84 J/cm², il n'y a pas de gain en efficacité, mais un risque potentiel de lésion de l'épiderme.

Références

1. Dieffenbach JF. Die operative chirurgie. Leipzig FA Brook-Haus, Wiesbaden 1845.
2. Luckett WH. A new operation for prominent ears based on the anatomy of the deformity. Surg Gynecol Obstet 1910 ; 10 : 635-8.
3. Mustarde JC. Treatment of prominent ears by buried mattress sutures. Plast Reconstr Surg 1967 ; 4 : 382-6.
4. Minderjahn A, Wolf R, Hildmann H. Mustarde's otoplasty. Evaluation of correlation between clinical and statistical findings. J Maxillofac Surg 1980 ; 8 : 241-50.
5. Morestin H. De la reposition et du plissement cosmétiques du pavillon de l'oreille. Rev Ortho Chir Appar Mot 1903;4:289
6. Becker OJ. Correction of the protruding deformed ears. Br J Plast Surg 1952 ; 5 : 187.
7. Stenström S. A simple operation for prominent ears. Acta Otolaryngol Suppl 1967 ; 224 : 393.
8. Limandjaja GC, Breugem CC, Mink van der Molen AB, Kon M. Complications of otoplasty: a literature review. J Plast Reconstr Aesthet Surg 2009 ; 62 : 19-27.
9. Helidonis E, Sobol E, Kavvalos G, Bizakis J, Christodoulou P, et al. Laser shaping of composite cartilage grafts. Am J Otolaryngol 1993 ; 14 : 410-2.
10. Sobol E, Bagratashvili NV, Omel'chenko A, Sviridov A. Laser shaping of cartilage. In: Anderson RR, Katzir A (eds) Laser surgery: advanced characterization, therapeutics, and systems, 4th ed, vol 2128. SPIE, Bellingham, WA, 1994 : 43-9.
11. Bagratashvili NV, Bagratashvili VN, Gapontsev VP, Makhmutova G, Minaev VP, et al. Change in the optical properties of hyaline cartilage heated by the near-IR laser radiation. Quantum Electron 2001 ; 31 : 534-8.
12. Mordon S, Wang T, Fleurisse L, Creusy C. Laser cartilage reshaping in an in vivo rabbit model using a 1.54 micron Er:glass laser. Lasers Surg Med 2004 ; 34 : 315-20.
13. Diaz-Valdes SH, Aguilar G, Basu R, Lavernia EJ, Wong BJ. Modeling the thermal response of porcine cartilage to laser irradiation. Laser-tissue interaction XIII: Photochemical, photothermal, and photomechanical. CA, USA : San Jose ; 2002. pp 47-56.
14. Chae Y, Aguilar G, Lavernia EJ, Wong BJ. Characterization of temperature dependent mechanical behavior of cartilage. Lasers Surg Med 2003 ; 32 : 271-8.

15. Leclère FM, Petropoulos I, Mordon S. Laser-Assisted Cartilage Reshaping (LACR) for Treating Ear Protrusions: A Clinical Study in 24 Patients. *Aesthetic Plast Surg* 2010 ; 34 : 141-7.
16. Trelles MA, Mordon S. Correction of ear malformations by laser-assisted cartilage reshaping (LACR). *Lasers Surg Med* 2006 ; 38 : 659-62.
17. Leclère FM, Trelles MA, Mordon S. Laser Assisted Cartilage Reshaping for Protruding Ears (LACR): A prospective Long term follow-up of 32 procedures. In Review.
18. Sviridov AP, Sobol EN, Bagratashvili VN, Omel'chenko AI, Ovchinnikov YM, Shekhter A, Svistushkin V, Shinaev AA, Nikiforova G, Jones N et al (1999) In vivo study and histological examination of laser reshaping of cartilage. In: Anderson RR (ed) *Lasers in surgery: Advanced characterization, therapeutics, and systems*, vol 3590, 9th edn. SPIE, Bellingham, WA, pp 222-8.
19. Bos PK, van Osch GJ, Frenz DA, Verhaar JA, Verwoerd-Verhoef HL. Growth factor expression in cartilage wound-healing: temporal and spatial immunolocalization in a rabbit auricular cartilage wound model. *Osteoarthritis Cartilage* 2001 ; 9 : 382-9.
20. Capon A, Mordon S. Can thermal lasers promote skin wound healing? *Am J Clin Dermatol* 2003 ; 4 : 1-12.
21. Tiffée JC, Griffin JP, Cooper LF. Immunolocalization of stress proteins and extracellular matrix proteins in the rat tibia. *Tissue Cell* 2000 ; 32 : 141-7.
22. Jemec BI, Jemec GBE. Braces for postoperative bandage after otoplasty. *Aesthetic Plast Surg* 2002 ; 26 : 156-8.
23. Tan ST, Shibu M, Gault DT. A splint for correction of congenital ear deformities. *Br J Plast Surg* 1994 ; 47 : 575-8.
24. Bourolias C, Prokopakis E, Sobol E, Moschandreas J, Velegrakis GA, Helidonis E. Septal cartilage reshaping with the use of an Erbium doped glass fiber laser. Preliminary results. *Rhinology* 2008 ; 46 : 62-5.
25. Stewart MG, Witsell DL, Smith TL, Weaver EM, Yueh B, Hannley MT. Development and validation of the Nasal Obstruction Symptom Evaluation (NOSE) scale. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2004 ; 130 : 157-63.
26. Leclère FM, Petropoulos I, Mordon S. Laser Assisted Septal Cartilage Reshaping (LASCR) : A Prospective Study in 12 Patients. *Laser Surg Med* 2010 ; 42 : 693-8.
27. Saunders MW, Jones NS, Kabala J, Lowe J. An anatomical, histological and magnetic resonance imaging study of the nasal septum. *Clin Otolaryngol Allied Sci* 1995 ; 20 : 434-8.
28. leclère FM, Wang T, Mordon S. Reshaping du cartilage alaire par laser Er:Glass 1540 nm : premiers résultats cliniques chez l'enfant. *Congrès Soc Fran Laser Med (SFLM)*. Janvier 2011.
29. Planas J, Planas J. Nostril and Alar Reshaping. *Aesth Plast Surg* 1993 ; 17 : 139-50.