

Reconstruction

Indications en chirurgie plastique des implants sur mesure 3D

Conception et fabrication assistée par ordinateur

RÉSUMÉ : Les trois principales applications de chirurgie par implants 3D sont le *pectus excavatum*, le syndrome de Poland dans sa localisation thoracique et l'atrophie de jambe d'origine pathologique. Ces malformations ont en commun de ne pas entraîner de trouble fonctionnel majeur mais, par la déformation physique qu'elles provoquent, elles sont à l'origine d'un complexe et d'une gêne psychologique perturbant les relations sociales et sportives.

La qualité des scanners en coupes millimétriques et les progrès des logiciels de reconstruction 3D permettent le remodelage de certaines déformations anatomiques congénitales ou acquises à l'aide d'implants en élastomère de silicone conçus à partir de données numériques précises.



J.-P. CHAVOÏN¹, B. CHAPUT¹, B. MORENO²,
P. LEYX², M. DAHAN³, L. BROUCHET³,
J.-L. GROLLEAU¹

¹ Service de Chirurgie plastique et des grands brûlés, CHU Rangueil,

² AnatomikModeling SAS,

³ Service de Chirurgie thoracique CHU Larrey, TOULOUSE.

Technologie de conception et fabrication des implants sur mesure

1. Technologie de conception

Les procédés de conception assistée par ordinateur (CAD [*computer aided design*] ou CAO [*conception assistée par ordinateur*]) permettent, à partir de

coupes tomodensitométriques scanner DICOM (*digital imaging for communication medicine*), de réaliser une copie 3D virtuelle du corps de chaque patient avec séparation par densité des différents tissus (os, muscles, peau, cartilages..., **fig. 1**). Ces reconstructions 3D font appel à des algorithmes mathématiques complexes de traitement de l'imagerie médicale.



Fig. 1 : *Pectus excavatum*. Segmentation des tissus à l'aide d'un scanner (coupes de 1 à 1,2 mm).



Fig. 2 : Pectus excavatum. Femme, type 1 médian, profond et symétrique, résultat à 3 mois et CAO.

L'implant est ensuite conçu virtuellement sur le corps numérique du patient. Chaque implant est unique et parfaitement adapté à l'anatomie de chacun. Le résultat est contrôlé et affiné par le couple chirurgien-informaticien.

Ces technologies de conception sont le fruit de dix années de recherche et développement menés par les services de chirurgie plastique et de chirurgie thoracique du CHU de Toulouse avec la société AnatomikModeling, basée également à Toulouse. Entre 1993 et 2018, 811 patients ont bénéficié dans cette ville d'un traitement par implants sur mesure. À partir de 2008, le moulage plâtré du thorax est abandonné, tous les implants sont conçus et fabriqués avec une assistance numérique.

2. Technologie de fabrication

On parle de CAM (*computer aided manufacturing/milling*). Une fois le modèle 3D de l'implant conçu, celui-ci est traité en prototypage par fraisage (*milling*) pour obtention d'une copie parfaite physique de l'implant. Ce prototype de résine va servir à la réalisation du moule de coulée. La fabrication des implants est assurée par les laboratoires Sebbin (Paris). Ils sont réalisés en élastomère de silicone médical polymérisé (Avantor-NuSil) de densité et de souplesse adaptées (shore 20). Ils sont ensuite stérilisés et conditionnés en double enveloppe dans un blister adapté.

■ Indications chirurgicales

1. Correction du thorax en entonnoir

L'intervention est possible à partir de l'âge de 15 ans, à la fin de l'évolution de la dépression thoracique. Elle est prise en charge par l'Assurance Maladie en France selon le code CCAM : LJMA005. Le coût de l'implant est à la charge de l'établissement de santé ou à défaut du patient. Notre expérience est de 638 *pectus excavatum* opérés entre 1993 et novembre 2018, d'abord à partir d'un moulage thoracique puis, depuis 2008, grâce à la conception assistée par ordinateur. La comparaison des deux techniques [1] démontre l'intérêt de la CAO notamment chez la femme et dans les fréquentes formes asymétriques.

Le *pectus excavatum* est une déformation du thorax antérieur caractérisée par une dépression médiane ou latéralisée du sternum et des côtes. En cas d'asymétrie, la déformation s'associe à une rotation sternale. C'est la malformation thoracique congénitale la plus fréquente avec une incidence située entre 1/300 à 1/1 000 naissances selon les auteurs. Il est plus fréquent chez l'homme avec un rapport homme/femme de 6 pour 4 dans notre série (contre 6 pour 1 dans la littérature). Selon des méta-analyses récentes, il n'y a pas de retentissement respiratoire [2] et/ou cardiaque [3], sauf dans des cas

exceptionnels que nous n'avons jamais rencontrés. La gêne est d'ordre psychologique quel que soit l'âge. Actuellement, seulement 15 % des personnes porteuses d'un *pectus excavatum* se feraient opérer : le potentiel pour les implants et les plasticiens est élevé !

Les interventions lourdes comme la sternochondroplastie modelante chez l'adulte de Ravitch [4] ou surtout la technique dite mini-invasive chez l'adolescent de Nuss [5] ont un rapport bénéfice/risque controversé et un impact médico-économique beaucoup plus lourd. Elles ne sont justifiées qu'en cas de retentissement fonctionnel démontré.

>>> Formes cliniques

La classification de Chin [6] est la plus communément utilisée. Il s'agit d'une description clinique qui classe la malformation en trois types :

- **type 1** : la dépression est marquée, profonde, médiane et symétrique (**fig. 2**) ;
- **type 2** : la dépression est moins profonde, plus large et symétrique ;
- **type 3** : la déformation est asymétrique. L'enfoncement de la cage thoracique est associé à une rotation sternale (**fig. 3**).

Nous rajoutons deux types complémentaires moins fréquents :

- **type 4** ou *pectus arcuatum* déformant la partie basse gladiolaire du sternum en forme d'arc (*horse shoe*), idéal pour l'implant ;
- **type 5** ou *pectus* secondaire à un traumatisme ou à l'échec d'une autre intervention modelante ou de comblement [7].

>>> Index radiologique ou numérique

La profondeur de la déformation n'a pas de signification fonctionnelle et ne limite en rien le choix d'un implant. L'index radiologique de Haller (rapport de la largeur de la cage thoracique sur la distance sternum-colonne vertébrale) offre la possibilité d'évaluer de manière objective la déformation congénitale dans son ensemble [8]. Mais seul l'index

Reconstruction



Fig. 3 : Pectus excavatum. Homme athlétique, type 3 très profond et asymétrique, résultat à un an et CAO.

numérique de la CAO permet de donner avec précision le volume de l'implant et du déficit.

>>> Avantages des implants sur mesure

La conception assistée par ordinateur de l'implant sur mesure présente de nombreux avantages pour le patient car celui-ci s'adapte parfaitement au plan osseux receveur pour corriger une déformation : il est adapté à l'anatomie de chaque patient, sa pose est facilitée et sa stabilité en sous-pectoral parfaite. L'implant en gomme de silicone est fait pour rester à vie, il n'y a pas besoin de deuxième intervention pour ablation de matériel. Les risques d'hématomes sont faibles, le drainage n'est pas obligatoire.

Les suites opératoires sont beaucoup moins lourdes qu'après les techniques orthopédiques : 45 minutes d'intervention, 2-3 jours d'hospitalisation. Le résultat esthétique est affiné, les bords fins de la prothèse profonde sont invisibles. Les

reprises d'interventions insuffisantes (Ravitch, Nuss, implants mammaires) donnent toute satisfaction et deviennent incontournables [7].

L'intérêt est démontré dans la correction des malpositions et asymétries mammaires induites par le *pectus*.

>>> Intervention chirurgicale

L'intervention se déroule sous anesthésie générale, avec antibiothérapie dissuasive à l'induction. Elle dure moins d'une heure. Le prototype non stérile est utilisé pour le tracé du pourtour de l'implant dans sa position très précise prédéterminée par la CAO.

Le chirurgien prépare la loge à la taille de l'implant par un abord médian vertical de 7 cm. L'implant est glissé plié dans la loge en sous-musculaire après désinsertion médiale des muscles pectoraux et en sous-aponévrotique dans la partie supérieure des muscles droits de l'abdo-

men. Il est fendu au niveau de son pôle inférieur et chevauche la cloison intermusculaire conservée intacte : cela lui confère stabilité et discrétion, l'implant est totalement invisible. La fermeture se fait en 3 plans au fil résorbable, avec surjet intradermique ou colle. La durée d'hospitalisation est de 3 jours maximum et peut être réduite.

Les suites de l'intervention sont simples, la douleur est traitée par antalgiques de palier 1. Une collection séro-hématique est fréquente avec ou sans drain, elle nécessite 2 à 5 ponctions transcutanées indolores. Cela est préférable pour nous à un drainage aspiratif et une hospitalisation prolongée. Il n'y a pas besoin de soins infirmiers postopératoires : les points sont résorbables, pas de drains, seulement un pansement pendant 8 jours et le port d'une brassière de contention avec tampon souple dès la sortie puis pendant 1 mois jour et nuit est indiqué. La pratique du sport doit être restreinte pendant 3 mois pour éviter une désunion intempestive des sutures musculaires.

2. Correction du syndrome de Poland

L'intervention est possible à partir de l'âge de 18 ans en fin de croissance, elle est prise en charge par l'Assurance Maladie en France selon le code CCAM : LJMA002. L'implant est à la charge de l'établissement de santé ou du patient. Notre expérience est basée sur une série de 149 Poland opérés entre 2001 et 2018, d'abord à partir d'un moulage thoracique puis, depuis 2008, grâce à une conception assistée par ordinateur [9].

Le syndrome de Poland se définit par l'absence unilatérale – le plus souvent à droite – d'une partie ou de la totalité du muscle grand pectoral. L'anomalie se traduit par une dépression sous la clavicule et chez la femme par une asymétrie mammaire. Cette atrophie musculaire caractéristique est parfois associée : – à une atrophie tissulaire d'intensité variable d'autres plans anatomiques de la région pectorale : plan costal en

POINTS FORTS

- La correction d'un *pectus excavatum* répond à une demande essentiellement esthétique.
- Les implants en élastomère de silicone sont posés à vie.
- Contrairement aux implants mammaires, ces implants ne peuvent subir de coques, de rupture ou de lymphome.
- Ils sont la meilleure solution dans les reprises d'échecs des techniques orthopédiques invasives.
- Les interventions sont prises en charge sans entente préalable. Les implants inclus dans le GHS peuvent être payés par l'établissement de santé comme les barres (Nuss et Ravitch).
- En cas de *pectus* ou de Poland, ne jamais poser d'implants mammaires sans avoir corrigé le profil thoracique au préalable.



Fig. 4 : Syndrome de Poland. Segmentation musculaire à l'aide d'un scanner (coupes de 1 à 2 mm). Le muscle grand pectoral sain du côté gauche est copié-inversé et privé de son prolongement axillaire.

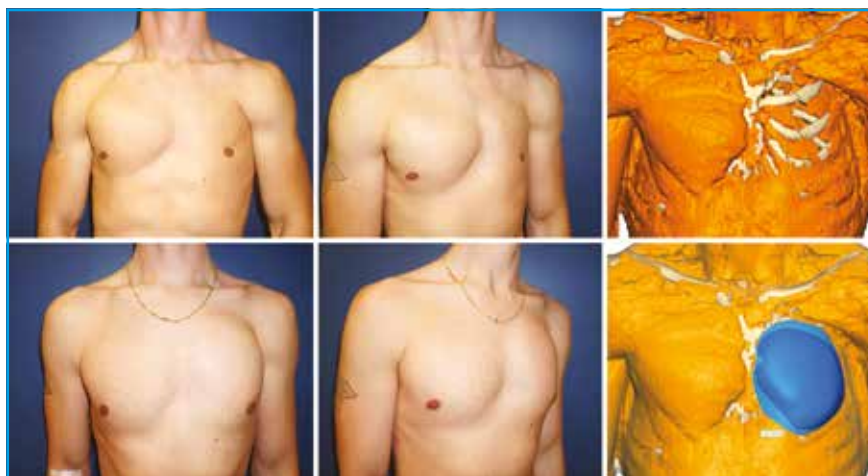


Fig. 5 : Syndrome de Poland gauche chez un homme athlétique, échec d'un lipofilling. Résultat à un an et CAO.

profondeur, plan sous-cutané en superficie avec adhérences chez l'homme et atrophie ou hypotrophie mammaire chez la femme ;

- à une atrophie et une dystopie du complexe aréolo-mamelonnaire ;
- à une malformation de la main ou du membre supérieur ;
- à un sein tubéreux controlatéral.

La malformation étant d'ordre esthétique, la correction par prothèse implantable sur mesure constitue un traitement de choix. Cette technique permet de prendre en charge en un seul temps les grandes variations anatomiques des cas de Poland. Concrètement, l'implant viendra combler et remplacer le muscle grand pectoral permettant une symétrisation de la cage thoracique chez l'homme (**fig. 4 et 5**) et, chez la femme, une symétrisation de la base des seins. Comme pour les *pectus excavatum*, l'implant est réalisé en gomme de silicone et non pas en gel de silicone. Il est mis en place en sous-cutané par voie axillaire dans un espace précisément mesuré grâce à la CAO, à partir du scanner bras le long du corps.

Chez la femme, l'hypoplasie mammaire nécessite la pose d'un implant mammaire en gel de silicone : la mise en place se fait dans un temps ultérieur et dans une loge distincte, séparée de l'implant thoracique par sa capsule. La symétrisation du sein controlatéral parfois tubéreux et des aréoles se fait aussi dans ce second temps (**fig. 6**).

3. Correction des atrophies acquises de jambes

Elle est prise en charge par l'Assurance Maladie en France selon le code CCAM : QZLA001 pour 1 implant et QZLA002 pour 2 ou 4. Le coût des implants (moitié des implants thoraciques) est à la charge de l'établissement de santé ou à défaut du patient. Notre expérience est basée sur une série de 21 atrophies de jambe opérées entre 2012 et 2018 par implants sur mesure en élastomère de silicone [10].

Reconstruction



Fig. 6 : Syndrome de Poland droit chez une femme. Résultat en deux temps, implant thoracique droit puis implant mammaire et symétrisation.



Fig. 7 : Atrophie de la jambe gauche (pied bot), résultat à 3 mois après pose de deux implants et CAO.

L'atrophie porte sur un ou deux muscles gastrocnémiens. L'étiologie la plus souvent rencontrée est le pied bot varus équin, souvent opéré dans l'enfance par les chirurgiens pédiatres avec allongement du tendon d'Achille. L'atrophie peut aussi être la séquelle d'une poliomyélite, une maladie neurodégénérative de Charcot, un myélo-méningocèle de l'enfance ou une chirurgie traumatologique du pied (amputation, arthrodèse).

La technique d'augmentation de volume de jambe a été proposée la première fois par le jeune Glicenstein [11] : insertion par voie poplitée en position rétro-aponévrotique d'un ou de deux implants préremplis de gel de silicone, introduits dans chaque loge musculaire. Nous avons gardé la même excellente technique mais utilisé depuis 2012 des implants sur mesure en gomme de silicone réalisés selon les mêmes principes que les précédents à partir d'un scanner 3D par reconstruction informatique et prototypage puis coulage [11]. La consistance des implants facilite leur introduction dans l'espace pré musculaire et rétro-aponévrotique préparé à sa taille exacte par un décollement atraumatique et non hémorragique : en cas de double correction médiale et latérale, on respecte toujours la cloison intermusculaire qui contient les perforantes cutanées de l'axe vasculonerveux médian sural (**fig. 7**).

Comme pour les syndromes de Poland, certains cas d'atrophie de jambe débordant le cadre de la simple hypotrophie musculaire, notamment au niveau du tiers distal de jambe, pourront bénéficier dans un temps ultérieur d'un complément par lipofilling.

Conclusion

La correction de disgrâces physiques, souvent congénitales, parfois acquises, bénéficie de l'apport des techniques les plus modernes d'assistance informatique pour la conception et la fabrication

POUR EN SAVOIR PLUS

- CHAVOIN JP (dir). *Pectus and Poland syndrome surgery, Custom-made silicone implants by computer aided design*. Springer, 2019.
- CHAVOIN JP (dir). *Chirurgie plastique du sein, oncologie, reconstruction et esthétique*. Elsevier-Masson, 2012.

d'implants sur mesure. Le corps déformé est une source de mal-être pour les patients et ces interventions chirurgicales simples et sans risques peuvent leur apporter un confort psychologique étonnant en améliorant le contact social et l'estime de soi, à tout âge et de façon définitive.

BIBLIOGRAPHIE

1. CHAVOIN JP, GROLEAU JL, MORENO B *et al*. Correction of pectus excavatum by custom-made silicone implants: contribution of computer-aided design reconstruction. A 20-year experience and 401 cases. *Plast Reconstr Surg*, 2016; 137:860-871.
2. MALEK MH, BERGER DE, MARELICH WD *et al*. Pulmonary function following surgical repair of pectus excavatum: a meta-analysis. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2006;30:637-643.
3. GUNTHEROTH WG, SPIERS PS. Cardiac function before and after surgery for pectus excavatum. *Am J Cardiol*, 2007;99: 1762-1764.
4. RAVITCH MM. The operative treatment of pectus excavatum. *Ann Surg*, 1949; 129:429-444.
5. NUSS D, KELLY JR RE, CROITORU DP *et al*. A ten years review of a minimally invasive technique for the correction of pectus excavatum. *J Pediatr Surg*, 1998;33:545-552.
6. CHIN EF, ADLER RH. The surgical treatment of pectus excavatum (funnel chest). *Br Med J*, 1954;1:1064-1066.
7. CHAVOIN JP, GROLEAU JL, CHAPUT B *et al*. Le pectus excavatum: chirurgie secondaire par implants. *Ann Chir Plast Esthet*, 2019;64:620-633.
8. HALLER JA JR, KRAMER SS, LIETMAN SA. Use of city scans for pectus excavatum surgery: a preliminary report. *J Pediatr Surg*, 1987;22:904-906.
9. CHAVOIN JP, TAIZOU M, MORENO B *et al*. Correcting Poland syndrome with a custom-made silicone implant: contribution of three-dimensional computer-aided design reconstruction. *Plast Reconstr Surg*, 2018;142:109-119.
10. GLICENSTEIN J. Correction of amyotrophies of the limbs with silicone prosthesis inclusion. *Rev Bras Cir*, 1979;69:117-122.
11. CHAVOIN JP, LUPON E, MORENO B *et al*. Correcting of calf atrophy with a custom-made silicone implant: contribution of three-dimensional-computer-aided design reconstruction: a pilot study. *Aesth Surg J*, 2020;41:1-11.

J.-P. Chavoin (membre du conseil scientifique), B. Moreno (cofondateur et directeur général) et P. Leyx (material engineer) ont déclaré des liens d'intérêts avec AnatomikModeling SAS. Les autres auteurs ont déclaré ne pas avoir de conflits d'intérêts concernant les données publiées dans cet article.