

Résultats à long terme de la correction des déformations de la paroi thoracique antérieure de l'adolescent et l'adulte par sternochondroplastie simplifiée

Simplified Open Repair of Anterior Chest Wall Deformities in Adolescent and Adult Patients: Long-Term Results

A Wurtz [1], L Benhamed [2], I Hysi [1], N Rousse [1], M Conti [3], R Nevière [4]

1. Clinique de Chirurgie Cardiaque et Thoracique - CHU Lille - France.
2. Service de Chirurgie Thoracique - Centre Hospitalier de Valenciennes - France.
3. Service de Chirurgie Thoracique IUCPO (Hôpital Laval, Québec) - Québec - Canada.
4. Service d'Explorations Fonctionnelles Respiratoires - CHU Lille - France.

Resumé

Objectifs. Les déformations de la paroi thoracique antérieure tirent leur origine d'une anomalie de développement de certains cartilages costaux.

Mots clés

- ◆ Pectus excavatum
- ◆ Thorax en entonnoir
- ◆ Pectus carinatum
- ◆ Pectus arcuatum
- ◆ Sternochondroplastie

Nous avons évalué les résultats esthétiques et fonctionnels d'une technique de sternochondroplastie simplifiée basée sur la résection sous péri-chondrale des cartilages anormaux.

Matériel et méthode. D'octobre 2001 à septembre 2009, 205 adolescents et adultes (171 hommes et 34 femmes) ont été opérés de *pectus excavatum* (181), *pectus carinatum* (19) et *pectus arcuatum* (5). L'ensemble des données pré, per et postopératoires des patients a été recueilli de manière prospective dans une base de données, puis analysé. Les résultats ont été appréciés avec un recul minimum de cinq ans.

Résultats. L'intervention était peu invasive (aucune transfusion), la morbidité faible et il n'y avait pas de mortalité. Les résultats anatomiques étaient classés excellents (72,5 %), bons (24,5 %), moyens (2,5 %) et échec (0,5 %). Les patients avaient une appréciation encore plus positive de leur résultat. Dans le *pectus excavatum*, nous avons observé une fréquence élevée de *foramen ovale* perméable en échographie (17,5 %), qui s'obturait dans 61 % des cas après intervention, ainsi qu'une amélioration statistiquement significative de la fonction cardio-circulatoire à l'exercice après chirurgie.

Conclusion. Notre technique de sternochondroplastie, basée sur la résection sous péri-chondrale des cartilages anormaux, procure des résultats esthétiques satisfaisants dans les différents types de déformation de la paroi thoracique antérieure. De plus, elle corrige les désordres fonctionnels fréquemment associés au *pectus excavatum*. Elle devrait contribuer à une prise en charge effective de ces déformations, actuellement faible au regard de leur prévalence.

Abstract

Objective. Pectus deformities are the most frequently seen inborn anomalies of the chest wall. The cause of

Keywords

- ◆ Pectus excavatum
- ◆ Pectus carinatum
- ◆ Pectus arcuatum
- ◆ Sternochondroplasty
- ◆ Ravitch-type repair

these conditions is thought to be a developmental disorder of rib cartilages. We here report our clinical experience and the results of a sternochondroplasty technique based on the subperichondrial resection of abnormal rib cartilages.

Material and methods. During the period from October 2001 through September 2009, 205 adolescent and adult patients (171 male and 34 female) underwent *pectus excavatum* (181), *carinatum* (19) and *arcuatum* (5) repair. The patients' pre and postoperative data were prospectively collected using a database, and the results were assessed with a minimum of 5-year follow-up.

Results. The postoperative morbidity rate was minimal and the mortality was nil. The surgeon graded cosmetic results as excellent (72,5%), good (24,5%), fair (2,5%) or failure (0,5%) while patients reported better results. Patients with *pectus excavatum* were found to have much more patent *foramen ovale* than the normal adult population, which occluded after the procedure in 61% of patients, and significant improvement was found in cardiopulmonary exercise function and exercise tolerance at the 1-year follow-up.

Conclusion. Our sternochondroplasty technique based on the subperichondrial resection of abnormal cartilages allows satisfactory repair of both *pectus excavatum* and sternal prominence. It is a safe procedure that might improve the effectiveness of surgical therapy in patients with pectus deformities.

Les déformations de la paroi thoracique antérieure (DPTA) affectent le plastron chondrosternal selon deux modalités principales : les déformations en creux (les plus fréquentes) : *pectus exca-*

vatum (PEx) ou thorax en entonnoir ; et les déformations en protrusion : *p carinatum* (PCar) ou thorax en carène, et *p arcuatum* (PArc), le plus rare. Le déplacement vers l'arrière ou l'avant et, le cas échéant, la déformation du sternum ré-

sultent d'un trouble de développement de certains cartilages costaux entraînant en règle leur hypertrophie et/ou leur distorsion. De ce fait, Robicsek *et al.* considéraient que le traitement des DPTA relevait de la correction de ces anomalies (1).

Correspondance :

Alain Wurtz, Clinique de chirurgie cardiaque et thoracique - Hôpital Albert Calmette - CHU de Lille - 59037 Lille Cedex.
Tel : +33.3.20.44.45.59 / Fax : +33.3.20.44.48.90
E-mail : alain.wurtz@chru-lille.fr

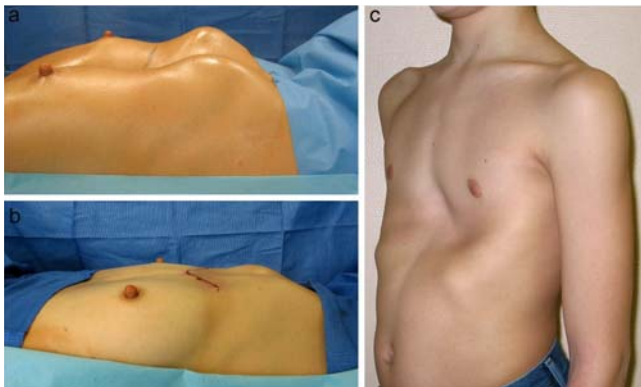


Figure 1. Pectus excavatum.
(a) Forme extensive avec saillie anormale des auvents costaux.
(b) Même patiente : aspect après correction chirurgicale.
(c) Forme basse avec sillon de Harrison gauche.

Notre technique de sternochondroplastie, basé sur la résection des cartilages anormaux, répond à cet objectif (2). Notre étude vise à en apprécier les résultats esthétiques et fonctionnels à long terme.

Matériel et méthodes

Les patients consultant pour une DPTA étaient majoritairement informés des techniques de traitement par l'intermédiaire de sites Internet, et avaient fait le choix de bénéficier de notre technique. Sauf cas particulier, l'intervention était programmée en fin de croissance, et sans limite d'âge. Si les patients n'avaient pas l'âge requis (15 ans pour les filles et 17 ans pour les garçons), ils faisaient l'objet d'un suivi (et plus récemment, pour sept d'entre eux atteints de PEX, d'une prise en charge orthopédique par « Vacuum Bell » (3)). Des informations supplémentaires leur étaient fournies, portant sur les bénéfices fonctionnels potentiels de l'intervention. L'examen appréciait le préjudice esthétique (le critère étant une cuvette excédant 25 mm, en cas de PEX). Une saillie anormale des auvents costaux (Fig.1a), une dépression basithoracique - sillon de Harrison - (Fig.1c) et, chez la femme, une convergence mammaire associée au PEX (Fig.2a) ; ou, à l'opposé, une divergence associée au PARC et/ou une hypotrophie mammaire (en règle unilatérale droite) étaient notées. Les troubles de la statique vertébrale et les signes de syndrome de Marfan étaient systématiquement recherchés.

Finalement la DPTA était classée selon nos critères, qui prennent en compte le niveau des anomalies cartilagineuses ; et l'existence ou non d'une asymétrie de la déformation (2) :

- troisièmes aux septièmes cartilages : formes habituelles ou « standard » de PEX et PCar ;
- deuxièmes aux septièmes : formes « extensives » de PEX et PCar ; PARC avec cuvette sous-jacente (forme mixte, rare) ;
- quatrièmes aux septièmes : formes « basses » de PEX et de PCar ;
- deuxièmes aux quatrièmes (ou cinquièmes) : formes « hautes », PARC.

Bilan pré opératoire

Le bilan morphologique comportait des radiographies de thorax et un examen tomodynamométrique thoracique. Les coupes axiales permettaient le calcul du « pectus index » (Haller), ainsi que du « pectus index théorique » correspondant à la morphologie thoracique d'un sujet identique et indemne de déformation (4) (Fig.3a). En cas de PEX, l'indication opératoire était retenue en cas de « pectus index » égal ou supérieur à 3,5. La morphologie du sternum et le degré d'angulation manubrio sternale étaient étudiés en coupes

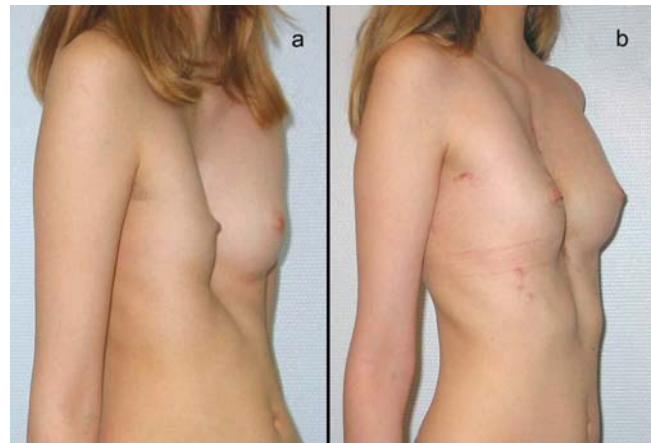


Figure 2. Pectus excavatum et syndrome de Marfan. Sévère convergence mammaire corrigée par sternochondroplastie simplifiée séquentielle, synchrone d'une cure d'anévrisme aortique sous circulation extracorporelle (intervention de Tirone David).

(a) Aspect préopératoire.
(b) Aspect postopératoire (avant augmentation mammaire droite pour corriger une hypoplasie).

sagittales ; la cage thoracique et les parties molles par les reconstructions 3D (Fig.3c). Ces constantes étaient ensuite utilisées pour mesurer le « pectus index postopératoire » (Fig.3b) et apprécier la régénération ostéo cartilagineuse (Fig.3d). La comparaison entre le « pectus index théorique » et le « pectus index » postopératoire permettait l'appréciation objective des résultats (4).

Le bilan fonctionnel des patients atteints de PEX comportait une étude de la fonction respiratoire au repos (EFR) et une épreuve d'exercice sur bicyclette ergométrique. Une échocardiographie avec épreuve de contraste (injection de microbulles) à la recherche d'un *foramen ovale* perméable (FOP)

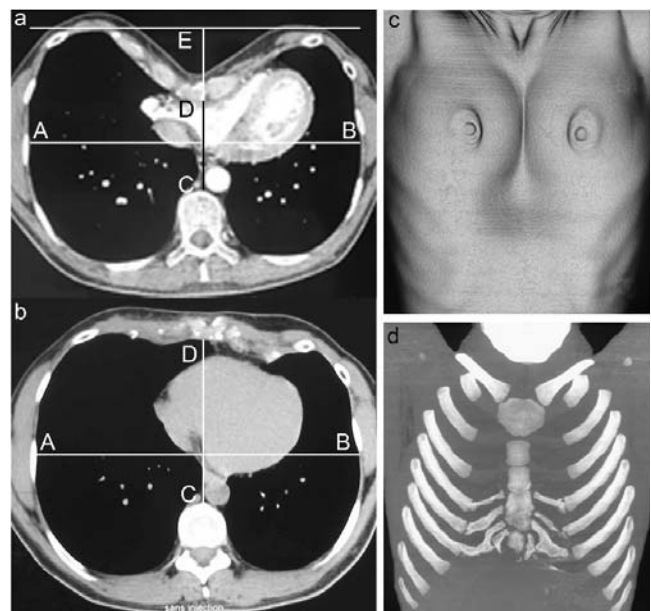


Figure 3. Renseignements obtenus de la tomodynamométrie thoracique.
(a) Compression extrinsèque du ventricule droit par un pectus excavatum. Mesure du « pectus index » de Haller, $AB/CD = 3,60$ et mesure du « pectus index théorique », calculé après avoir tracé une tangente à l'extrémité antérieure des côtes, $AB/CE = 1,98$.
(b) Même patient en post opératoire ; le « pectus index » : 1,95 est sensiblement égal au « pectus index théorique », confirmant de manière objective le bon résultat de la correction.
(c) Reconstruction 3D des parties molles : pectus excavatum et strabisme mammaire convergent.
(d) Etude postopératoire 3D après cure d'une forme basse de pectus excavatum montrant les néo cartilages ossifiés.

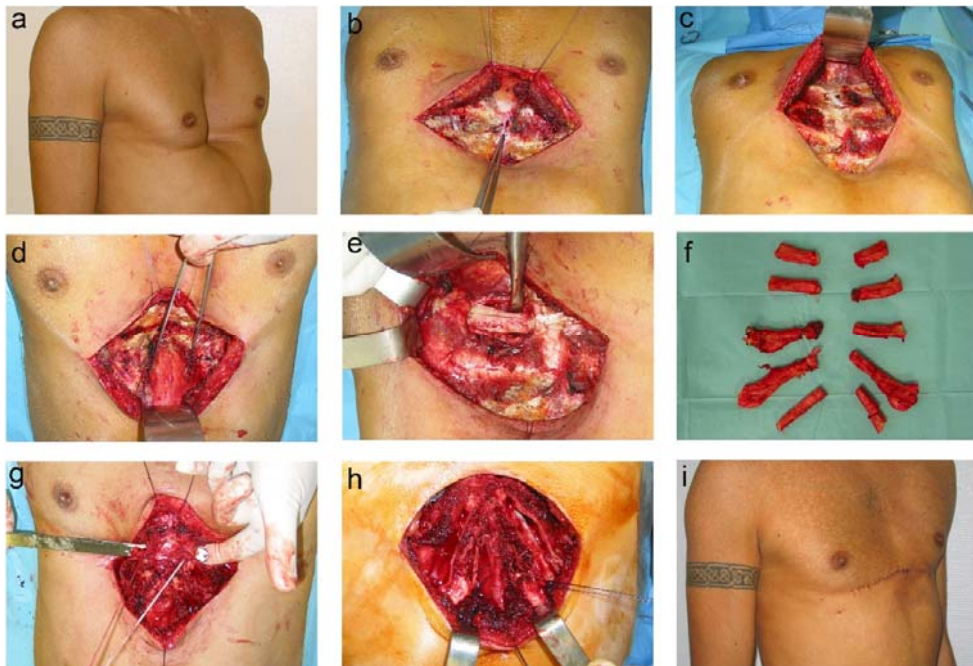


Figure 4. Principaux temps opératoires chez le patient correspondant à la tomодensitométrie en Fig. 3a,b.
 (a) Pectus excavatum avec cuvette mesurée à 6 cm.
 (b) Après incision jusqu'au plan ostéo-cartilagineux, désinsertion des m. *pectoralis major*.
 (c) Exposition haute du plastron chondrosternal déformé par relèvement de l'auvent musculo-cutané.
 (d) Exposition basse après désinsertion des muscles *rectus abdominis*, ménageant leur gaine postérieure repérée par la pince à disséquer.
 (e) Résection sous péri-chondrale des cartilages : dissection postérieure du troisième cartilage droit à la rugine.
 (f) Cartilages réséqués, des troisièmes aux septièmes.
 (g) Mise en place de l'attelle métallique, en va et vient, après passage d'un lac assurant le relèvement du corps sternal.
 (h) Réinsertion des 7es cartilages sur le processus xiphoïde.
 (i) Résultat à J 13.

(5) a également été effectuée en routine à partir de décembre 2005. Ces investigations ont été renouvelées à distance de l'intervention.

Sternochondroplastie simplifiée. Technique opératoire (Fig. 4a-i)

L'incision cutanée était horizontale (a,b) ou bi sous-mammaire chez la femme. Le plastron chondro sternal était exposé par désinsertion *a minima* des m. *pectoralis major* (c), puis des m. *rectus abdominis*, en respectant leur gaine postérieure (d). La résection des cartilages était strictement sous péri-chondrale, un plan de clivage exsangue (e). Elle était totale des troisièmes aux sixièmes, et limitée à l'extrémité des septièmes dans les formes « standard » (f). Dans les formes « extensives », elle était complétée par une section subtotale verticale aux deux extrémités des deuxièmes cartilages, afin de faciliter la mobilisation haute du sternum. Dans les formes « basses », la résection sous péri-chondrale se limitait aux quatrièmes, cinquièmes sixièmes, et à l'extrémité des septièmes cartilages. Enfin, dans les formes « hautes » la résection se limitait aux deuxièmes, troisièmes et quatrièmes (ou cinquièmes) cartilages. Une sternotomie transversale haute, au niveau de l'angle de Louis, ou plus basse à l'aplomb de l'insertion des troisièmes cartilages dans les formes basses, était effectuée au ciseau frappé ou à la scie oscillante, en ménageant la corticale postérieure. De type cunéiforme dans le PEx, ou simple dans le PCar, elle était suivie d'une fracture « en bois vert » de la corticale postérieure, assurant la mobilisation antérieure du corps sternal (PEX), ou postérieure (PCar) ; et sa dérotation, dans les formes asymétriques. Elle devenait optionnelle à partir de 2008, essentiellement dans les PEx extensifs, afin de ne pas aggraver le défaut d'angulation manubrio sternale caractéristique de cette forme, ainsi que dans les PCar d'intensité modérée.

Dans le PEx, la stabilité du plastron était assurée par une attelle métallique droite, aisément amovible (Plaque thorax de Wurtz, Medicaex®, 92220 Bagneux, France), glissée en arrière de l'extrémité caudale du sternum (g), prenant appui latéralement sur les arcs antérieurs costaux, et fixée au sternum par un point en X de monofilament lentement résorbable (PDS II 1, Ethicon France, Issy les Moulineaux, France). Les extrémités des septièmes cartilages étaient réinsérées à l'extrémité inférieure du sternum ou au processus xiphoïde (h).

Les étuis de péri-chondre étaient suturés en surjet au fil tressé résorbable (Optime 1, Péters surgical, Bobigny, France), assurant la mise en tension des espaces intercostaux adjacents (Fig.5).

En cas de diastasis des m. *pectoralis major*, les muscles étaient médialisés par suture sur la ligne médiane, après relèvement de l'auvent musculo-cutané. Après réinsertion de la gaine antérieure des m. *rectus abdominis* à l'extrémité inférieure du sternum, la continuité des m. *pectoralis major* - *rectus abdominis* était rétablie par suture de leurs gaines respectives. Le drainage sous musculaire était assuré par deux drains aspirés (Blake n°10 ; Ethicon France, Issy Les Moulineaux, France).

Patients

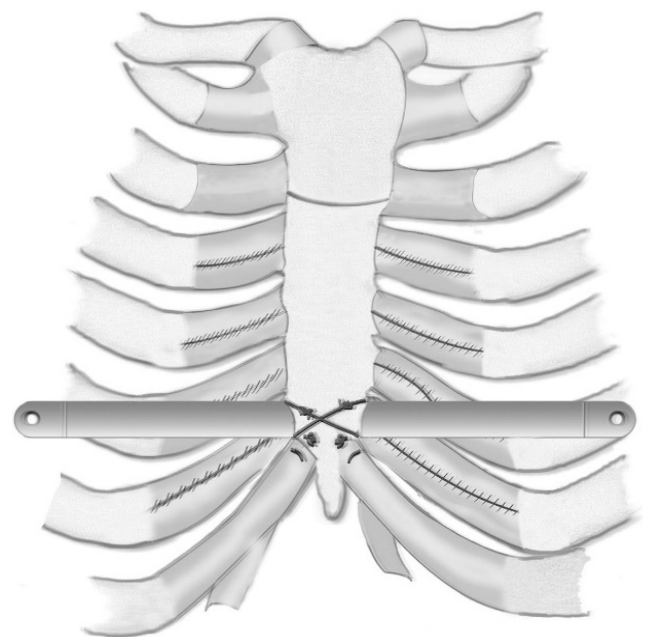


Figure 5. Pectus excavatum. Schéma de la réparation, après mise en place de l'attelle rétro sternale prenant appui latéralement sur les arcs antérieurs costaux, réinsertion des 7es cartilages sur le processus xiphoïde et suture des étuis de péri-chondre.

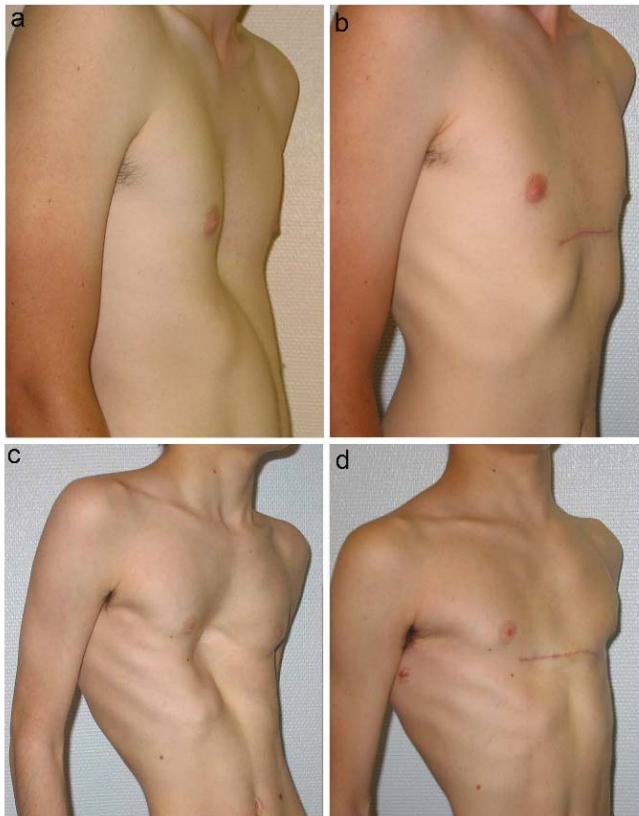


Figure 6. Pectus excavatum. Aspects préopératoires et résultats postopératoires.

(a) Forme standard et symétrique.

(b) Résultat postopératoire.

(c) Forme standard et asymétrique chez un patient aux antécédents de pneumonectomie gauche en période néonatale et, par ailleurs porteur d'une scoliose sévère.

(d) Aspect postopératoire.

D'octobre 2001 à septembre 2009, 205 patients ont été opérés de sternochondroplastie simplifiée : il s'agissait de 171 hommes et 34 femmes, âgés en moyenne de 25 ± 14 ans. Ils présentaient 181 PEx (88,3 %), dont 12 associés à un sillon de Harrison ; et 24 déformations en protrusion : 19 PCar (9,2 %) et 5 PArc (2,5 %), dont deux associés à une cuvette sous-jacente.

Trois patients avaient une récurrence de PEx, après sternochondroplastie pratiquée dans une autre institution. Parmi les six patients qui présentaient un syndrome de Marfan, deux, âgés respectivement de 14 et 37 ans, ont bénéficié d'une sternochondroplastie séquentielle pour PEx, combinée à la cure d'un anévrisme de l'aorte, sous circulation extracorporelle (6) ; une autre patiente (sans Marfan), âgée de 63 ans, a bénéficié de la même opération combinée.

Des gestes complémentaires étaient effectués : résection tangentielle bilatérale (10) ou unilatérale (8) d'auvents costaux hypertrophiés ; ostéotomies cunéiformes pour redresser des arcs costaux antérieurs incurvés vers l'arrière en cas de PEx sévère (15) ; correction des asymétries modérées du sternum, ou de la protrusion manubrio sternale du PArc, par résection tangentielle de la corticale externe (55).

Prise en charge péri- et postopératoire

Les patients recevaient une antibioprophylaxie péri opératoire par céfamandole (1,5 g), mais pas d'anticoagulant en postopératoire. Le traitement antalgique comportait une association paracétamol, anti-inflammatoire non stéroïdien et morphinomimétique par pompe autocontrôlée, ou parfois une analgésie épidurale.

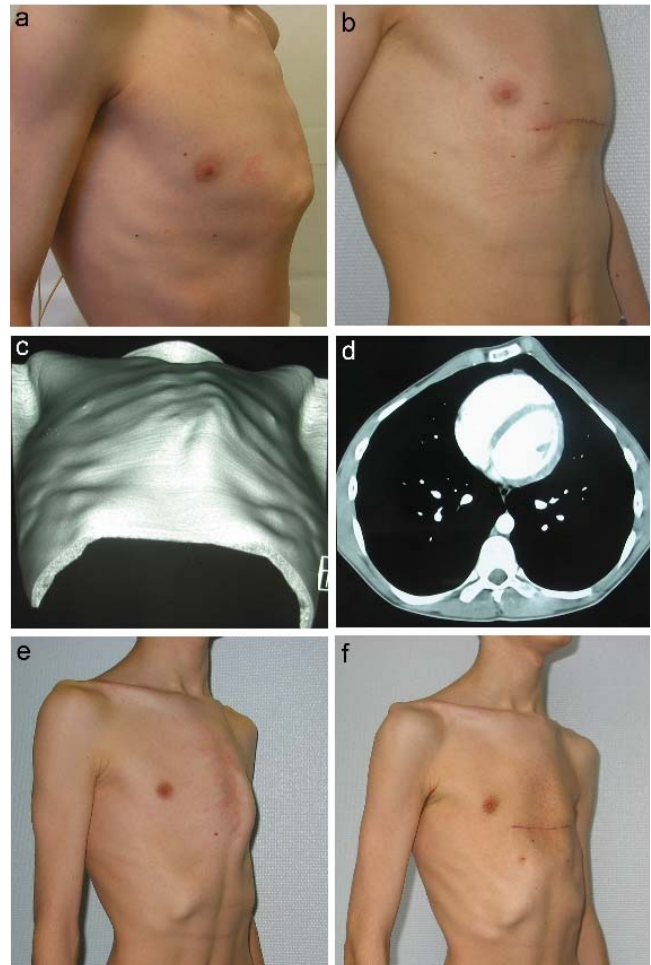


Figure 7. Pectus carinatum. Aspects préopératoires et résultats postopératoires.

(a) Forme standard et symétrique.

(b) Résultat postopératoire.

Forme standard et asymétrique : (c) Reconstruction 3D et (d) coupe axiale tomographique préopératoire.

(e) Aspect préopératoire.

(f) Résultat postopératoire.

Le lever avait lieu dès le lendemain de l'intervention, facilité par la stabilité du montage. Les drains étaient enlevés au bout de 2 à 3 jours, et la sortie autorisée entre le 3^e et le 5^e jour. En cas de PEx, l'attelle était enlevée à 6 mois, par une incision cutanée élective de 1 cm à une des extrémités, en règle sous anesthésie locale et en ambulatoire.

Les patients ont été revus pour une évaluation des résultats, avec un recul minimum de cinq ans. Certains gestes complémentaires de chirurgie plastique ont été effectués chez 19 d'entre-eux : neuf reprises de cicatrice chéloïde, associée trois fois à une retouche cartilagineuse ; cinq *lipofilling* d'un creux résiduel ; et, chez la femme, correction d'hypoplasies mammaires bilatérales (3) ou unilatérales (2) par implant ; mammoplastie de réduction (1).

Recueil des données et évaluation des résultats

Les données pré, per et postopératoires des patients ont été prospectivement recueillies dans une base de données informatisée. Les résultats des épreuves fonctionnelles qui ont été colligés chez 70 patients enrôlés dans une étude publiée par ailleurs (7).

Cette base de données comportait : (a) l'état civil et les antécédents (syndrome de Marfan, chirurgie cardiaque), le type de DPTA, les « pectus index » préopératoire, théorique et postopératoire, (b) la date de l'intervention, ses modalités et

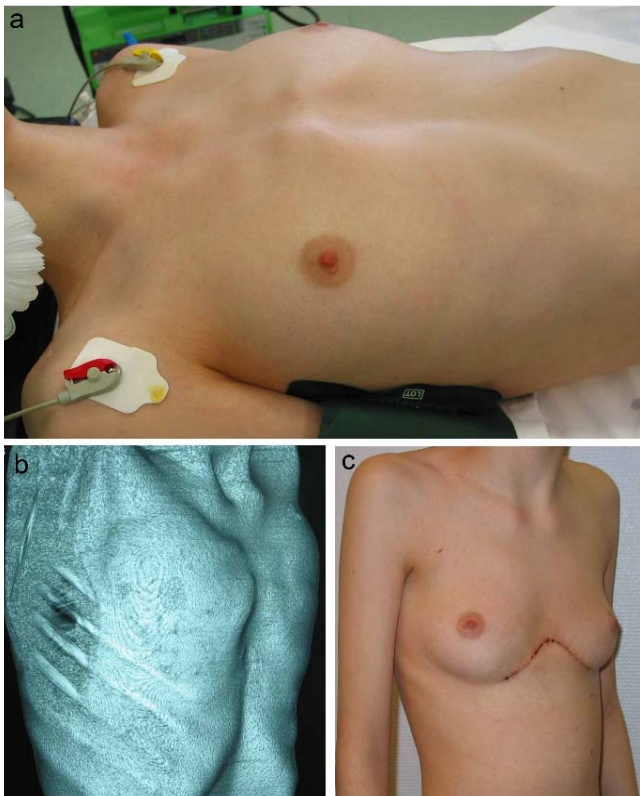


Figure 8. (a) Pectus arcuatum avec cuvette sous-jacente, avec comme conséquence un strabisme mammaire divergent. (b) Reconstitution 3D des parties molles. (c) Aspect postopératoire : médialisation des seins assurant la restauration du galbe mammaire.

sa durée ; l'évaluation du saignement per opératoire ; (c) la durée d'hospitalisation postopératoire et les complications éventuelles ; (d) à distance, les gestes complémentaires effectués et la durée du suivi ; (e) le résultats des bilans fonctionnels cardio-pulmonaires pré et postopératoires ; (f) le résultat esthétique évalué par le chirurgien, comparé à l'autoévaluation du résultat par le patient.

Les résultats esthétiques ont été appréciés comme suit :

- excellent : morphologie thoracique sensiblement normale (Fig.6-8) ;
- bon : discret creux ou incurvation sternale basse résiduelle ; cicatrice hypertrophique ou chéloïde ;
- moyen : cuvette résiduelle, mais amélioration de plus de 50 % par rapport à la situation initiale ;
- échec : cuvette supérieure à 50 % de la profondeur initiale.

Analyse statistique

L'analyse statistique a été effectuée avec le logiciel SAS (SAS v8, SAS Institute Inc, Cary, NC).

Les variables qualitatives ont été décrites par les effectifs et proportions de leurs classes, les variables quantitatives par leur moyenne \pm écart-type. Les évaluations des résultats par les chirurgiens ont été comparées à celles des patients par un test de Bhapkar, généralisation du test de McNemar.

Pour les résultats fonctionnels cardio-pulmonaires (PEx), les moyennes de chaque variable avaient été comparées entre les groupes par un test t de Student pour valeur appariées, après vérification que les valeurs suivaient une loi normale. Une valeur de $p < 0,05$ avait été requise pour confirmer une différence entre les groupes (7).

Résultats

Résultats immédiats

En dehors des trois interventions combinées à une chirurgie aortique (menées par sternotomie médiane verticale), l'incision mesurait $13 \pm 1,8$ cm ; les pertes sanguines per opératoires étaient évaluées à 114 ± 80 ml ; la durée d'intervention était de 196 ± 51 minutes et celle de l'hospitalisation postopératoire de $4,36 \pm 1,36$ jours. Aucun patient ne recevait de transfusion sanguine.

Complications postopératoires

Des complications précoces survenaient chez 17 patients (8,3 %), traitées 12 fois en ambulatoire :

- retard de cicatrisation par lymphorrhée prolongée (6) ou sepsis (2) ;
- hématome ponctionné (1) ou drainé *a minima* (1) ;
- pneumothorax drainé (1) et épanchement pleural séreux ponctionné (2) ;
- pneumopathie (2) et atélectasie (1) chez des fumeurs, d'évolution favorable sous antibiotiques, ou après fibroscopie ;
- embolie pulmonaire (1) révélée par un épanchement pleural à la troisième semaine et traitée en ambulatoire par héparinothérapie sous-cutanée.

Des complications tardives survenaient chez trois patients (1,5 %) :

- déplacement prématuré de l'attelle (2), repositionnée par une incision cutanée élective à l'extrémité faisant saillie sous la peau.

La complication la plus grave a été observée chez un patient opéré 30 ans auparavant de PEx dans une autre institution, chez qui on découvrait, lors de la sternochondroplastie pour récurrence complète, un corps étranger oublié, à l'origine une ostéite sternale chronique. Elle nécessitait une série de curetages osseux laissant une cuvette résiduelle à titre de séquelle.

Résultats anatomiques et esthétiques

Un opéré de PEx, au résultat excellent, a été perdu de vue. L'étude a porté sur 204 patients avec un recul de cinq ans à 12 ans. Les figures 6 à 8 illustrent les résultats obtenus dans les déformations en creux, en protrusion, ou mixtes, grâce à une prise en charge standardisée. Anatomiquement, les convergences ou divergences mammaires étaient corrigées par le modelage de la paroi thoracique antérieure (Fig.2b et 8c). Chez deux patients, la cure d'un PEx levait une compression bronchique extrinsèque du tronc intermédiaire (responsable d'un trouble de ventilation lobaire moyen et lobaire inférieur droit : patient de la Figure 6c,d) ; ou du lobe moyen (*middle lobe syndrome*).

Dès le deuxième mois postopératoire, des cartilages néoformés et calcifiés assuraient la stabilité du plastron et la pérennité des résultats (Fig.3d).

Évaluation des résultats esthétiques par le chirurgien :

- Excellent : 148 (72,5 %).
- Bon : 50 (24,5 %).
- Moyen : 5 (2,5 %).
- Nous avons observé un échec tardif de cure de PEx, après 6 ans (0,5 %).

Fait remarquable, l'autoévaluation des patients donnait des résultats encore plus favorables (test de Bhapkar : $p < 0,0001$) :

- Excellent : 176 (86,3 %)
- Bon : 25 (12,2 %)
- Non satisfait : 3 (1,5 %),

Enfin, le « pectus index » postopératoire a pu être comparé au « pectus index théorique » (4) chez 177 patients. C'était un élément objectif d'appréciation de la bonne qualité des résultats : Tableau I.

Tableau I. Pectus index moyen préopératoire, théorique et postopératoire calculés chez 177 patients.

Pectus index	Pectus excavatum	Déformations en protrusion
Préopératoire (Haller)	4,03 ± 1,41	1,98 ± 0,46
Théorique (Préopératoire)	2,45 ± 0,42	2,34 ± 0,56
Postopératoire	2,62 ± 0,43	2,19 ± 0,37

Résultats fonctionnels cardio-pulmonaires (PEx)

Parmi les 160 patients explorés par échocardiographie, 28 (17,5 %) présentait un FOP, qui s'obturait 17 fois après l'intervention (61 % des cas).

Les résultats des évaluations fonctionnelles cardio-pulmonaires ont été publiés par ailleurs (7). En bref, la correction du PEX n'a aucune incidence sur les EFR de repos. Par contre, les explorations cardio-pulmonaires à l'exercice préopératoires, qui objectivaient une limitation notable de l'aptitude aérobie, s'amélioraient de façon statistiquement significative un an après la chirurgie.

Discussion

Le meilleur moment pour prendre en charge les DPTA, l'opportunité d'intervenir et les modalités thérapeutiques restent discutés. Historiquement, Ravitch a été un des pionniers de leur traitement, en corrigeant le PEX par résection des cartilages anormaux. Cependant la résection extra péri-chondrale qu'il effectuait, interdisait toute possibilité de régénération cartilagineuse (8). Baronofski a amélioré de manière substantielle cette technique en étant le premier à décrire la résection sous péri-chondrale des cartilages : ainsi, la conservation du péri-chondre assurait-elle la régénération cartilagineuse et la consolidation du plastron en position anatomique (9). Notre technique de sternochondroplastie s'inspire de ce principe, mais nous l'avons simplifiée en abandonnant des gestes superflus : ablation du processus xyphoïde, dissection rétro sternale extensive, ostéotomies sternales multiples et drainage pleural ; et absence d'ostéosynthèse en cas de PCar.

En 1987, l'arsenal thérapeutique s'est enrichi de la technique de Nuss : mise en place d'une ou plusieurs barres métalliques convexes intra thoraciques, assurant le modelage du plastron chondrosternal par compression interne (10) ; et de la technique de comblement du PEX par endoprothèse en silicone (11). Enfin des traitements orthopédiques modernes ont été développés : réduction du PEX par cloche à dépression ou « *Vacuum Bell* » (3) ou compression externe dynamique des déformations en protrusion (12).

L'histoire naturelle du PEX a été étudiée par Humphrey et Jaretski (13). Ces auteurs ont observé une amélioration ou une disparition de celui-ci dans 66 % des cas au cours de la première année de vie, puis une amélioration dans 40 % des cas entre un et 13 ans. Au-delà, il était stable (69 %) ou s'aggravait (31 %). A la lumière de cette évolution naturelle, nous suggérons un traitement orthopédique chez l'enfant avant, ou proche de la puberté, très efficace du fait de la plasticité du thorax. Moins efficace par la suite, nous l'utilisons en solution d'attente avant sternochondroplastie programmée en fin de croissance. En effet, une résection trop précoce des cartilages costaux est susceptible d'engendrer des troubles sévères de développement de la cage thoracique (14). Enfin, la cure du PEX mérite d'être recommandée sans limite d'âge, puisque 11,5 % de décès tardifs de causes cardio-circulatoires, directement ou indirectement imputables à l'absence de correction pariétale, ont été observés dans une étude de suivi à long terme d'adultes porteurs de PEX (13).

Le mode opératoire devrait répondre à deux impératifs : une correction adaptée à la pathogénie (anomalie des cartilages), et un risque opératoire minimum. A cet égard la technique de Nuss, qui procure des résultats satisfaisants chez l'enfant au thorax malléable, à condition d'assurer la stabilisation cor-

recte des barres (15,16), ne répond à aucun de ces critères chez l'adulte : l'absence de réduction de l'excès en longueur ou de distorsion des cartilages est à l'origine d'hypercorrections, comme le reconnaît son promoteur (10), ou de persistance d'asymétries, secondairement corrigées par sternochondroplastie (17). De plus les complications multiples, graves ou létales régulièrement rapportées principalement chez des adolescents (18-20) et les séquelles (obstruction des artères thoraciques internes hypothéquant une éventuelle intervention de revascularisation coronarienne (21)) soulèvent le problème éthique de la mise en œuvre du Nuss en routine (22). La technique de comblement (11), à l'opposé, ne fait courir aucun risque majeur, mais elle ne devrait être réservée qu'aux formes très modérées de PEX. Nous avons, en effet, démontré comme d'autres (7,23), le bénéfice de la restauration de la géométrie de la paroi thoracique en terme d'adaptation cardiovasculaire et de tolérance à l'effort, du fait d'un meilleur remplissage des cavités droites, par augmentation de la force des muscles inspiratoires optimisant la pompe respiratoire cardiovasculaire (24-27).

La prévalence échographique du FOP est estimée à environ 10 % dans la population générale (28). Il est à l'origine de complications rares mais sévères, comme les accidents vasculaires cérébraux du sujet jeune (un de nos patients avait cet antécédent). Le taux élevé de FOP découvert en échographie dans notre série de PEX (17,5 %) suggère un mécanisme de déplacement médiastinal et de redistribution du flux cave inférieur vers le *foramen ovale*, ce qui entraîne sa réouverture (5,28). Le recentrage du médiastin secondaire au modelage de la paroi a abouti à la fermeture du *foramen ovale* dans près de deux tiers des cas, ce qui laissait persister un taux de perméabilité échographique résiduel légèrement inférieur à celui habituellement observé dans une population normale (28).

Notre technique de sternochondroplastie simplifiée est caractérisée par une cicatrice courte, identique en longueur à celle des deux incisions nécessaires à la réalisation d'un Nuss (29). De plus la dissection sous péri-chondrale des cartilages, pratiquement exsanguine, autorise une intervention synchronisée sous circulation extracorporelle, sans risque hémorragique (6). Cette intervention est peu algique, autorisant une sortie rapide (un peu plus de quatre jours, en moyenne). Enfin, l'ablation de l'attelle à six mois, par une voie élective de 1cm, est aisément mise en œuvre sous anesthésie locale et en ambulatoire.

Dans la littérature en langue anglaise, les résultats « excellents » et « bons » sont regroupés en résultats « satisfaisants » : les nôtres sont conformes aux grandes séries publiées (30-33) : Tableau II.

Conclusion

Une meilleure connaissance de l'histoire naturelle, du retentissement fonctionnel et des moyens thérapeutiques orthopédiques et chirurgicaux des DPTA devrait accroître leur prise en charge effective, actuellement faible au regard de leur prévalence. La sternochondroplastie simplifiée est une technique chirurgicale adaptée à leur pathogénie et applicable, sans exception, à toutes leurs variantes anatomiques. Mise en œuvre chez l'adolescent en fin de croissance, ou chez l'adulte, elle procure des résultats esthétiques satisfaisants, au prix d'une faible morbidité et sans mortalité. Elle corrige

Auteur	Année	Type d'intervention	Nombre d'opérés	Complications (%)	Résultats satisfaisants (%)
Shamberger	1987	PC+PA	152	3,9	98
Shamberger	1988	PE	704	4,4	94
Haller	1989	PE	664	5	95
Fonkalsrud	2000	PE	375	12	97
Notre série	2015	PE+PC+PA	205	9,8	97

Tableau II. Sternochondroplastie. Résultats de la littérature.

PE : Pectus Excavatum
PC : Pectus Carinatum
PA : Pectus Arcuatum

enfin les désordres fonctionnels cardio-circulatoires associés au PEx.

Discussion en séance

Question de B Launois

Existe-t-il un syndrome respiratoire restrictif et, si oui, est-il amélioré ?

Réponse

Les patients porteurs d'un PEx ont effectivement un syndrome restrictif modéré, mais qui se situe dans les limites inférieures des normales théoriques. La chirurgie ne l'améliore pas, sans doute du fait de l'augmentation de la rigidité de la cage thoracique après intervention. Par contre, à l'épreuve d'effort, il existe une réduction statistiquement significative de l'aptitude aérobie, d'origine cardio-circulatoire ; puis une amélioration, également statistiquement significative, après chirurgie. Physiologiquement, à l'effort, la limitation n'est pas respiratoire, mais cardio-circulatoire et de ce fait, le syndrome restrictif observé est sans incidence sur l'aptitude aérobie : son amélioration après chirurgie est particulièrement bien ressentie chez les sportifs entraînés, qui voient leurs performances optimisées (26).

Question de P Montupet

La technique qui est le plus souvent mentionnée avec votre nom pour le *pectus excavatum* a été présentée après que JL Jouve ait présenté une série comparable selon la technique de NUSS. Quels sont les arguments qui entraînent votre réticence à cette dernière ?

Réponse

Comme je l'ai précisé à l'issue de la communication de JL Jouve, c'est le nombre très élevé et la gravité des complications publiées dans la littérature après intervention de Nuss (20) qui m'ont incité à ne pas adopter cette technique. Je viens d'ailleurs d'apprendre, en séance, que sa pratique aurait été suspendue il y a quelques semaines au Royaume Uni, à la suite d'un nouveau décès par perforation cardiaque per opératoire, chez une fillette.

Question de D Loisançe

Quelle est votre expérience actuelle de la chirurgie combinée PEx et intervention sous CEC ?

Réponse

Notre expérience actuelle est d'une douzaine de cas, en incluant les patients pour lesquels nous avons pu collaborer avec les chirurgiens cardiaques de Rouen, Montpellier et de Paris La Pitié notamment. Grâce au temps initial de résection des cartilages, ils ont pu apprécier la sécurité d'exécution de la sternotomie, un challenge en cas de PEx accusé et d'anévrysme aortique sous-jacent ; et la qualité de l'exposition du champ opératoire pour la mise en œuvre de l'intervention sous CEC. La cure concomitante du PEx n'a pas entraîné de morbidité particulière, notamment en terme de saignement post opératoire.

Commentaire d'H Judet

Avec mon père nous avons opéré des PEx par la technique de retournement du plastron chondrosternal et nous avons observé un certain nombre de récurrences, contrairement à votre expérience. Comment expliquer cette divergence ?

Réponse

Elle pourrait s'expliquer par l'âge des opérés. Les récurrences s'observent plus fréquemment chez les sujets dont la croissance n'est pas achevée. Notre série comportait une majorité d'adultes et la reconstitution de néocartilages ossifiés a pu contribuer à assurer la pérennité des résultats.

Remerciements

Nous remercions très sincèrement le Professeur Véronique Duquenois-Martino pour l'excellent travail d'équipe établi entre les Services de Chirurgie Thoracique et de Chirurgie Plastique du CHU de Lille ; ainsi que Emmanuel Rousse pour son travail d'artiste.

Conflit d'intérêts

A.W. Interventions ponctuelles : activité de conseil pour Medicaex.

Références

1. Robicsek F, Sanger PW, Taylor FH. The surgical treatment of chondrosternal prominence (pectus carinatum). *J Thorac Cardiovasc Surg* 1963;45:691-701.
2. Conti M, Benhamed L, Porte H, Wurtz A. Traitement chirurgical des malformations de la paroi thoracique antérieure par sternochondroplastie. *EMC (Elsevier Masson SAS Paris), Techniques chirurgicales - Thorax* 2008 ;42:483.
3. Schier F, Bahr M, Klobe E. The vacuum chest wall lifter: an innovative, nonsurgical addition to the management of pectus excavatum. *J Pediatr Surg* 2005;40:496-500.
4. Wurtz A. La chirurgie des déformations de la paroi thoracique antérieure. *J Chir Thorac Cardio-Vasc* 2005;9:205-6.
5. Wallaert B, Cavestri B, Fournier C, Nevière R, Aguilani B. Positional hyperventilation-induced hypoxemia in pectus excavatum. *Eur Respir J* 2006;28:243-7.
6. Rousse N, Juthier F, Prat A, Wurtz A. Staged repair of pectus excavatum during an aortic valve-sparing operation. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2011;141:e28-30.
7. Nevière R, Montaigne D, Benhamed L, Catto M, Edme JL, Matran R, et al. Cardiopulmonary response following surgical repair of pectus excavatum in adult patients. *Eur J Cardio-Thorac Surg* 2011;40:e77-82.
8. Ravitch MM. The operative treatment of pectus excavatum. *Ann Surg* 1949;129:428-44.
9. Baronofski ID. Technique for the correction of pectus excavatum. *Surgery* 1957;42:884-90.
10. Croitoru DP, Kelly Jr RE, Goretzky MJ, Swuveland B, Nuss D. Experience and modification update for the minimally invasive Nuss technique for pectus excavatum repair in 303 patients. *J Pediatr Surg* 2002;37:437-45.
11. Marks MW, Argenta LC, Lee DC. Silicone implant correction of pectus excavatum: Indications and refinement in technique. *Plast Reconstr Surg* 1984;74:152-8.
12. Martinez-Ferro M, Fraire C, Bernard S. Dynamic compression system for the correction of pectus carinatum. *Semin Pediatr Surg* 2008;17:194-200.
13. Humphrey GH, Jaretzki A. Pectus excavatum. Late results with and without operation. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1980;80:686-95.
14. Haller JA, Colombani MP, Humphries CT, Azizkhan RG, Loughlin GM. Chest wall constriction after too extensive and too early operations for pectus excavatum. *Ann Thorac Surg* 1996;61:1618-25.

15. Uemura S, Nakagawa Y, Yoshida A, Choda Y. Experience in 100 cases with the Nuss procedure using a technique for stabilization of the pectus bar. *Pediatr Surg Int* 2003;19:186-9.
16. Kabbaj R, Burnier M, Kohler R, Loucheur N, Dubois R, Jouve JL. Minimally invasive repair of pectus excavatum using the Nuss technique in children and adolescents: indications, outcomes, and limitations. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2014;100:625-30.
17. Coelho M de S, Silva RF, Bergonse Neto N, Stori W de S, dos Santos AF, Mendes RG et al. Pectus excavatum surgery: sternochondroplasty versus Nuss procedure. *Ann Thorac Surg* 2009;88:1773-9.
18. Wurtz A, Hysi I, Benhamed L, Conti M. eComment. Does pectus tunneloscopy make the Nuss repair for pectus excavatum safe? *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 2013;17:236.
19. Wurtz A, Hysi I, Rouse N, Benhamed L. eComment. Nuss pectus excavatum repair: Friend or foe? *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 2013;17:575.
20. Wurtz A, Benhamed L, Hysi I, Rouse N, Conti M. Rapport bénéfice/risque de la réparation du pectus excavatum par la technique de Nuss. e-mémoires de l'Académie Nationale de Chirurgie 2014 ;13:66-72.
21. Kulcü K, Elenbaas TW, Nguyen DT, Verhees RP, Mihal C, Verberkmoes NY et al. Patency of the internal mammary arteries after removal of the Nuss bar: an initial report. *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 2014;19:6-10.
22. Wurtz A, Hysi I. The Nuss procedure: above all, do not harm. *Ann Thorac Surg* 2015 (in press).
23. Malek MH, Berger DE, Housh TJ, Marelich WD, Coburn JW, Beck TW. Cardiovascular function following surgical repair of pectus excavatum : a metaanalysis. *Chest* 2006;130:506-16.
24. Nevriere R, Montaigne D, Benhamed L, Catto M, Wurtz A. Pectus excavatum repair improves respiratory pump efficacy and cardiovascular function at exercise. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2013;145:605-6.
25. Nevriere R, Pentiah AD, Montaigne D, Wurtz A. Pectus excavatum repair improves cardiovascular function at maximal exercise by facilitating heart filling. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2013;43:661.
26. Wurtz A, Nevriere R. La chirurgie du pectus excavatum améliore l'aptitude aérobie et l'efficacité de la «pompe respiratoire cardiovasculaire» chez l'adulte. *E-Mem Acad Natle Chir* 2013;12(3):33-37.
27. Nevriere R, Wurtz A. Evidence of normalized cardiopulmonary function after pectus excavatum repair. *Ann Thorac Surg* 2014;97:1123-4.
28. Darchis JS, Ennezat PV, Charbonel C, Aubert JM, Gonin X, Auffray JL et al. Hemidiaphragmatic paralysis : an underestimated etiology of right-to-left shunt through patent foramen ovale ? *Eur J Echocardiography* 2007;8:259-64.
29. Robicsek F, Hebra A. To Nuss or not to Nuss ? Two opposing views. *Semin Thorac Cardiovasc Surg* 2009;21:85-8.
30. Shamberger RC, Welch KJ. Surgical correction of pectus carinatum. *J Pediatr Surg* 1987;22:48-53.
31. Shamberger RC, Welch KJ. Surgical correction of pectus excavatum. *J Pediatr Surg* 1988;23:615-22.
32. Haller JA, Scherer LR, Turner CS, Colombani PM. Evolving management of pectus excavatum based on a single institutional experience of 664 patients. *Ann Surg* 1989;209:578-83.
33. Fonkalsrud EW, Dunn JC, Atkinson JB. Repair of pectus excavatum deformities: 30 years experience with 375 patients. *Ann Surg* 2000;231:443-8.