

# La chirurgie du pectus excavatum améliore l'aptitude aérobie et l'efficacité de la « pompe respiratoire cardiovasculaire » chez l'adulte

## Pectus excavatum repair improves exercise tolerance and respiratory pump efficacy in adult patients

A Wurtz [1], R Nevière [2]

1. Pôle de chirurgie cardiaque et thoracique, CHU Lille.

2. Service d'explorations fonctionnelles respiratoires EFR Hôpital Calmette, CHU Lille.

### Mots clés

- ◆ Pectus excavatum
- ◆ Explorations fonctionnelles respiratoire
- ◆ Exercice
- ◆ Pouls en oxygène

### Résumé

Objectif. L'intérêt fonctionnel de la chirurgie du *pectus excavatum* (PEx) est discuté. Notre objectif était d'en analyser les conséquences fonctionnelles cardio-pulmonaires ; et le mécanisme du bénéfice observé.

Méthodes. Une première étude, chez 70 adultes, a comparé les EFR de repos et à l'exercice, avant, puis un an après « Ravitch » simplifié. Puis chez 20 adultes, la force des muscles inspiratoires était étudiée par mesure de la pression maximale inspiratoire quasi statique (PI, max) et lors d'un sniff-test (SNIP).

Résultats. Les EFR standard étaient dans les limites inférieures des normales théoriques et peu modifiées après chirurgie. Par contre, on observait une amélioration post opératoire de l'aptitude aérobie (*pic VO2* :  $34 \pm 7$  vs  $38 \pm 6$  mL/kg/min,  $p < 0.05$ ), se faisant sans modification de la réserve et du mode ventilatoires, mais avec une normalisation du pouls en O<sub>2</sub> ( $13,3 \pm 2,5$  vs  $15,7 \pm 2,6$  ml/battement,  $p < 0.003$ ), suggérant une meilleure adaptation cardiovasculaire à l'exercice. Dans le deuxième groupe, nous avons observé une diminution de PI, max et de SNIP, corrigée de manière significative après chirurgie ( $p < 0.01$ ) ; il en était de même pour la VO<sub>2</sub>max et le pouls en O<sub>2</sub>. Nous retrouvons une corrélation positive entre l'augmentation postopératoire de PI, max et de SNIP avec celle du pouls en O<sub>2</sub> ( $r^2 = 0.23$ ;  $p = 0.04$  et  $r^2 = 0.38$ ;  $p < 0.01$ , respectivement).

Conclusions. Après chirurgie du PEx, nous avons observé une amélioration de l'aptitude aérobie, consécutive à l'augmentation de la force des muscles inspiratoires, responsable d'une meilleure efficacité à générer des pressions inspiratoires négatives, favorisant le retour veineux et rendant la « pompe respiratoire cardiovasculaire » plus efficace à l'exercice.

### Keywords

- ◆ Pectus excavatum
- ◆ Pulmonary function
- ◆ Exercise
- ◆ Oxygen pulse

### Abstract

Objective. The effect of surgical repair of *pectus excavatum* (PEX) on cardiopulmonary function remains controversial. Our study objective was twofold: to assess changes of pulmonary function at rest and exercise tolerance after PEX repair; and to study the mechanism by which exercise tolerance would increase after the procedure.

Methods. In a first series of patients, we compared cardiopulmonary function at rest and at maximal exercise, before and at 1-year follow-up after PEX repair in 70 adults. A second study was then conducted in a group of 20 patients, in which assessment of inspiratory muscle strength by means of maximal static inspiratory pressure (PImax) and sniff nasal inspiratory pressure (SNIP) were performed to get insight into the mechanisms involved in PEX repair-induced cardiopulmonary function changes.

Results. Cardiopulmonary tests at rest were within the normal range, whereas maximal oxygen uptake (VO<sub>2</sub>max) was reduced ( $34 \pm 7$  mL/kg/min; 77% of the predicted value). At 1-year follow-up, PEX repair was associated with minor cardiopulmonary function changes at rest and significant increase of VO<sub>2</sub>max ( $38 \pm 6$  mL/kg/min; 87% of the predicted value,  $p < 0.0001$ ). Postoperative O<sub>2</sub> pulse increased at maximal exercise ( $13.3 \pm 2.5$  vs  $15.7 \pm 2.6$  ml/beat,  $p < 0.003$ ) suggesting that aerobic capacity improvement was mainly the result of better cardiovascular adaptation at maximal workload. Consistently, in the second set of 20 patients, significant improvements of both VO<sub>2</sub>max and O<sub>2</sub> pulse 1 year after surgery were also observed. In addition, this group of patients displayed significant decreases of PImax and SNIP ( $p < 0.01$ ), which were significantly improved after surgery. Postoperative increases of PImax and SNIP were correlated with O<sub>2</sub> pulse increase ( $r^2 = 0.23$ ;  $p = 0.04$  et  $r^2 = 0.38$ ;  $p < 0.01$ , respectively).

Conclusion. These results demonstrate sustained improvement in exercise cardiopulmonary function at 1-year follow-up of PEX repair, due to improved capacity of inspiratory muscle system to generate intrathoracic negative pressure, facilitating venous return (the so-called respiratory pump) and consecutive improvement of aerobic capability.

Correspondance :

Alain Wurtz

Pôle de chirurgie cardiaque et thoracique, Hôpital Albert Calmette, Boulevard Professeur J Leclerc, 59000 Lille.

Tel : +33 3 20 44 45 59 / Fax : +33 3 20 44 48 90 - E-mail : alain.wurtz@chru-lille.fr

Disponible en ligne sur [www.acad-chirurgie.fr](http://www.acad-chirurgie.fr)

1634-0647 - © 2013 Académie nationale de chirurgie. Tous droits réservés.

L'intérêt fonctionnel de la chirurgie du pectus excavatum (PEX) est discuté, et plusieurs méta analyses récentes ont abouti à des réponses discordantes, voire contradictoires (1-3). Afin de résoudre ce débat, nous avons conduit une première étude prospective portant sur les conséquences fonctionnelles cardio-pulmonaires du traitement chirurgical du PEX (4). La deuxième a visé à préciser le mécanisme physiologique du bénéfice observé en termes d'amélioration de l'efficacité de la « pompe respiratoire cardiovasculaire » et d'aptitude aérobie (5). Le but de notre travail était de faire une synthèse de ces travaux et d'en évaluer la pertinence, compte tenu de leur caractère prospectif, de l'importance de l'effectif des malades inclus et de l'homogénéité de la prise en charge en termes de traitement chirurgical et d'explorations fonctionnelles mises en œuvre avant et après l'intervention.

## Patients et méthodes

Les patients candidats à une réparation chirurgicale de PEX ont fait l'objet d'un interrogatoire visant à apprécier les plaintes fonctionnelles (en règle peu fréquentes). La profondeur de la cuvette a été mesurée cliniquement, la gravité de la déformation étant également appréciée par la tomodynamométrie (TDM) thoracique avec mesure de l'index de Haller (défini comme le rapport entre le diamètre transversal du thorax et la distance sterno vertébrale au maximum de la déformation). Le traitement chirurgical mis en œuvre était une sternochondroplastie simplifiée de type « Ravitch », les temps principaux étant la résection sous péri-chondrale des cartilages hypertrophiés en longueur ; l'ostéotomie transversale haute cunéiforme du sternum ; la suture en surjet des étuis cartilagineux à effet de raccourcissement ; et la stabilisation du corps sternal en position avancée, par une attelle métallique aisément amovible (*Plaque thorax de Wurtz, Medicalex, 92220 Bagneux, France*). Celle-ci était retirée sous anesthésie locale, en règle six mois après l'intervention (6). Sur le plan fonctionnel, les patients de la première étude (groupe I) ont fait l'objet d'une échocardiographie trans-thoracique et d'explorations fonctionnelles de repos et à l'effort. Ceux de la deuxième étude (groupe II) ont eu, en supplément, une étude de la force des muscles inspiratoires, et, sur le plan morphologique, une recherche de signes de compression extrinsèque des cavités cardiaques droites en TDM. Le suivi postopératoire comportait un bilan clinique à six mois et 12 mois ; une TDM de contrôle et une échocardiographie après ablation de l'attelle rétro sternale ; des explorations fonctionnelles respiratoires à 12 mois, ainsi qu'une étude comparative de la force des muscles inspiratoires (groupe II). L'intensité de l'activité physique des patients en pré et post opératoire était évaluée grâce à un questionnaire simple. Les données pré, per et postopératoires des patients ont été prospectivement recueillies dans une base de données informatisée.

## Echographie cardiaque

L'échocardiographie (*Vivid7 GE Healthcare, France*), réalisée avec les modalités TM, 2D, Doppler pulsé et continu et Doppler pulsé tissulaire, permettait d'évaluer les fonctions myocardiques systolique et diastolique. Une épreuve de contraste par injection de microbulles était également réalisée, visant à détecter un foramen ovale perméable (les résultats préliminaires ont été rapportés dans une autre étude) (6).

## Explorations fonctionnelles respiratoires

Une étude complète de la fonction respiratoire de repos était effectuée, avec mesure des débits expiratoires, des volumes

pulmonaires en pléthysmographie et du transfert du monoxyde de carbone en apnée (DLCO), corrigée par la valeur de l'hémoglobine. Les valeurs de références étaient celles de l'Official Statement of the European Respiratory Society. Une épreuve fonctionnelle d'exercice (EFX) était pratiquée sur bicyclette (*cyclo ergomètre de marque Jaeger ER 900, Sebac, France*), avec une mesure cycle à cycle des volumes expirés à la bouche (ventilation minute, VE) par pneumotachographe, et analyse des gaz expirés (*débits d'oxygène  $VO_2$  et de dioxyde de carbone  $VCO_2$  ; Jaeger Oxycon Pro, Sebac, France*). Une mesure de la saturation artérielle en oxygène et un enregistrement de l'électrocardiogramme (ECG) 12 dériva-tions étaient réalisés. La température ambiante et les pressions barométriques et hygrométriques étaient relevées. Une calibration du pneumotachographe était effectuée par une seringue de deux litres à débit lent puis rapide. Une vérification de la calibration de l'analyseur  $O_2/CO_2$  était réalisée à partir d'un gaz étalon comprenant 12 % d' $O_2$  (incertitude de 0,01 %) et 5 % de  $CO_2$  (incertitude de 0,012 %). De plus, une calibration biologique était réalisée périodiquement, au cours de laquelle les mesures sont contrôlées chez des sujets normaux, dont les valeurs ont été déterminées antérieurement. Un gaz du sang artériel était réalisé au repos et au pic de l'exercice par un analyseur de gaz du sang (*ABL 520 Radiometer, Copenhagen, Danemark*). L'EFX était triangulaire avec une période d'échauffement à 20 watts de trois minutes suivie d'un exercice incrémental réalisé selon un protocole en rampe de 10 watts.min<sup>-1</sup>, poursuivi jusqu'à épuisement. Les valeurs de références pour les paramètres maximaux de l'EFX, utilisés pour l'interprétation étaient conformes aux recommandations de l'American Thoracic Society.

## Etude de la force des muscles inspiratoires

La force des muscles inspiratoires a été évaluée par la mesure de la pression maximale inspiratoire quasi statique (PI,max) et lors d'un reniflement (sniff-test SNIP). En effet, l'évaluation non invasive de la fonction des muscles inspiratoires repose traditionnellement sur des mesures de pressions telles que la pression inspiratoire maximale (PI,max) et la pression nasale au cours des efforts inspiratoires (SNIP). La pression buccale contre une quasi-occlusion (mise en place d'une fuite) au cours d'un effort inspiratoire maximal soutenu pendant une seconde correspond à la pression maximale de plateau (PI,max). L'existence d'une corrélation entre la pression œsophagienne (pression diaphragmatique) et la pression nasale au cours des efforts inspiratoires a permis de définir la mesure de la pression nasale lors d'une manœuvre de reniflement d'inspiration, intense et brutale en fin d'expiration normale (SNIP) comme une exploration adéquate de la fonction des muscles inspiratoires.

## Analyse statistique

Les résultats sont présentés sous la forme moyenne  $\pm$  écart-type. Les analyses statistiques étaient effectuées à l'aide du logiciel SPSS. Les moyennes de chaque variable étaient comparées entre les groupes par un test t de Student pour valeurs appariées. Une valeur de  $P < 0,05$  indiquait une différence intergroupe statistiquement significative.

## Résultats

### Caractéristiques des patients

Entre décembre 2005 et mai 2009, 120 patients adultes ont bénéficié d'une prise en charge chirurgicale de PEX. Parmi ces patients, 70 ont pu être inclus (groupe I). Il s'agissait de 61

hommes et de 11 femmes âgés en moyenne de  $27 \pm 11$  ans. L'index de Haller mesuré en TDM était de  $4,5 \pm 1,1$ .

Parmi les patients opérés de janvier 2010 à décembre 2011, 20 ont pu être inclus dans le groupe II. Il s'agissait de 14 hommes et six femmes âgées en moyenne de  $32 \pm 11$  ans. En TDM, l'index de Haller était mesuré à  $4,7 \pm 1,4$  et une compression des cavités cardiaques droites par la déformation thoracique était observée chez sept patients sur 20 (35 %).

Le suivi postopératoire a été effectué à six et 12 mois chez les patients des deux groupes. L'intensité de leur activité physique n'était pas modifiée en postopératoire.

Dans les deux groupes, l'échographie cardiaque préopératoire mettait en évidence une fonction cardiaque normale (*fraction d'éjection du ventricule gauche FEVG*  $63 \pm 7$  % ; *onde E/A*  $1,6 \pm 0,6$  ; *onde E/E'*  $5,8 \pm 1,7$ ). Les explorations fonctionnelles respiratoires de repos sont décrites dans les tableaux I et II. Il existait une diminution modérée (soit environ 90-95 % des valeurs théoriques attendues) de la capacité vitale forcée (CVF), du volume expiré maximal en une seconde (VEMS), de la capacité pulmonaire totale (CPT) et de la diffusion libre du CO (DLCO).

Les résultats de l'EFX des patients du groupe I sont décrits dans le tableau III. Il existait une limitation de l'aptitude aérobie (pic de  $VO_2$  à  $74 \pm 11$  % des valeurs théoriques attendues). La fréquence cardiaque au pic de  $VO_2$  était de  $92 \pm 8$  % de la fréquence cardiaque maximale théorique. La ventilation minute (VE) au pic de  $VO_2$  était à  $60 \pm 12$  % de VE maximale théorique. L'analyse du mode ventilatoire montrait que l'augmentation de ventilation minute se faisait surtout par une augmentation de fréquence, alors que le volume courant augmentait peu depuis le seuil ventilatoire. *Le gradient alvéolo-artériel en  $O_2$  était à  $22 \pm 7$  mmHg au pic de  $VO_2$ . La  $PaCO_2$  était diminuée à  $35 \pm 5$  mmHg au pic de  $VO_2$ . Le pouls d' $O_2$  ( $VO_2/FC$ ) était bas à  $13,3 \pm 2,5$  mL par battement, soit  $88 \pm 16$  % de la valeur maximale théorique.*

Chez les patients du groupe II, la PI, max ( $79 \pm 21$  cm d'eau) et le SNIP ( $69 \pm 19$  cm d'eau) étaient significativement diminués, soit  $76 \pm 16$  % et  $70 \pm 13$  % des valeurs théoriques attendues selon le sexe et l'âge des sujets et les résultats de l'EFX étaient conformes à ceux du groupe I (tableau IV).

### Suivi postopératoire des patients

Le résultat esthétique de l'intervention était jugé satisfaisant ou très satisfaisant par tous les patients et était confirmé objectivement par la mesure de l'index de Haller postopératoire ( $2,7 \pm 5$ ). Les bilans cliniques à six et 12 mois postopératoire étaient sans particularité. La fonction cardiaque évaluée six mois après la chirurgie demeurait normale. Les explorations fonctionnelles respiratoires postopératoires à 12 mois ( $12 \pm 0,6$  mois) (tableau II) objectivaient une diminution d'environ 2 % des valeurs préopératoires pour la CVF et la CPT. Les valeurs de VEMS, de volume résiduel (VR) et de DLCO n'étaient pas modifiées en postopératoire.

Chez les patients du groupe I, on retrouvait, une augmentation du pic de  $VO_2$  ( $87 \pm 16$  % des valeurs théoriques attendues ; tableau III), alors qu'il n'existait pas, dans le même temps, de modifications de l'activité physique. La fréquence cardiaque au pic de  $VO_2$  était de  $88 \pm 13$  % de la fréquence cardiaque maximale théorique. La ventilation minute (VE) au pic de  $VO_2$  était à  $64 \pm 14$  % de VE maximale théorique. L'amélioration de l'aptitude aérobie, observée un an après la chirurgie, se faisait en l'absence de modification du mode ventilatoire et de la ventilation minute maximale. Le gradient alvéolo-artériel en  $O_2$  était à  $20 \pm 4$  mmHg au pic de  $VO_2$ . Le pouls d' $O_2$  ( $VO_2/FC$ ) était augmenté à  $15,7 \pm 2,6$  mL par battement, soit  $107 \pm 19$  % de la valeur maximale théorique.

Chez les patients du groupe II, la PI, max et SNIP étaient significativement améliorés, soit une augmentation de  $76 \pm 16$  % à  $88 \pm 10$  % des valeurs théoriques pour PI, max et une augmentation de  $70 \pm 13$  % à  $78 \pm 14$  % des valeurs théoriques

Valeurs observées	moyenne	SD	% référence
CVF (L)	4,7	0,7	90
VEMS (L)	3,9	0,8	94
CPT (L)	6,8	1,2	95
VR (L)	1,9	0,6	110
DLCO (mL/min/mmHg)	29	4	92

Tableau I : Explorations fonctionnelles respiratoires de repos et valeurs de référence.

Les résultats sont exprimés en moyenne  $\pm$  écart-type. NS, non significatif ; Litre, L ; capacité vitale forcée, CVF ; volume expiré maximal à la première seconde, VEMS ; capacité pulmonaire totale, CPT ; volume résiduel, VR ; transfert du monoxyde de carbone, DLCO.

	Préopératoire	Postopératoire	p value
CVF (L)	$4,7 \pm 0,7$	$4,5 \pm 0,8$	<0,01
VEMS (L)	$3,9 \pm 0,8$	$3,9 \pm 0,9$	NS
CPT (L)	$6,8 \pm 1,2$	$6,6 \pm 1,1$	<0,01
VR (L)	$1,9 \pm 0,6$	$1,9 \pm 0,4$	NS
DLCO (mL/min/mmHg)	$29 \pm 4$	$30 \pm 3$	NS

Tableau II : Explorations fonctionnelles respiratoires de repos pré et postopératoires.

Les résultats sont exprimés en moyenne  $\pm$  écart-type. NS, non significatif ; Litre, L ; capacité vitale forcée, CVF ; volume expiré maximal à la première seconde, VEMS ; capacité pulmonaire totale, CPT ; transfert du monoxyde de carbone DLCO. NS non significatif.

	Préopératoire	Postopératoire	p
<b>Valeurs mesurées au seuil</b>			
$VO_2$ (mL/kg.min)	$20 \pm 2$	$23 \pm 5$	<0,01
VE (L/min)	$40 \pm 12$	$40 \pm 10$	NS
Vt (L)	$1,6 \pm 0,5$	$1,7 \pm 0,3$	NS
$f_R$ (cycle/min)	$25 \pm 5$	$24 \pm 4$	NS
<b>Valeurs mesurées au pic</b>			
$VO_2$ (mL/kg.min)	$34 \pm 7$	$38 \pm 6$	<0,01
$VO_2$ (% valeurs prédites)	$74 \pm 11$	$87 \pm 16$	<0,01
VE (L/min)	$82 \pm 17$	$87 \pm 19$	NS
VE (% valeurs prédites)	$60 \pm 12$	$64 \pm 14$	NS
Vt (L)	$2,2 \pm 0,4$	$2,3 \pm 0,5$	NS
$f_R$ (cycle/min)	$36 \pm 7$	$38 \pm 7$	NS
Vt/CVF (%)	$49 \pm 5$	$48 \pm 1$	NS
Fc (battement/min)	$176 \pm 18$	$168 \pm 27$	NS
PAs (mmHg)	$180 \pm 25$	$185 \pm 30$	NS
P(A-a) $O_2$ (mmHg)	$22 \pm 7$	$20 \pm 4$	NS
Pouls $O_2$ (ml/battement)	$13,3 \pm 2,5$	$15,7 \pm 2,6$	<0,01

Tableau III : Explorations fonctionnelles à l'exercice pré et postopératoires. Les résultats sont exprimés en moyenne  $\pm$  écart-type ; NS, non significatif ; consommation d'oxygène,  $VO_2$  ; ventilation minute, VE ; volume courant, Vt ; fréquence respiratoire,  $f_R$  ; capacité vitale forcée, CVF ; fréquence cardiaque, Fc ; pression artérielle systolique, PAs ; gradient alvéolo-artériel en  $O_2$ , P (A-a) $O_2$ .

Valeurs observées	Préopératoire	Postopératoire	p
PI, max (cm H <sub>2</sub> O)	$79 \pm 21$ (76% $\pm$ 16%)	$90 \pm 17$ (88% $\pm$ 10%)	<.01
SNIP (cm H <sub>2</sub> O)	$69 \pm 19$ (70% $\pm$ 13%)	$77 \pm 18$ (78% $\pm$ 14%)	<.01
$VO_2$ (mL/kg/min)	$30,8 \pm 6,9$ (73% $\pm$ 10%)	$34,4 \pm 8,6$ (82% $\pm$ 11%)	<.01
Pouls $O_2$ (ml/battement)	$11,5 \pm 3,2$ (80% $\pm$ 12%)	$12,9 \pm 3,5$ (91% $\pm$ 14%)	<.05

Tableau IV. Groupe II : études des muscles inspiratoires et explorations fonctionnelles à l'exercice pré et post opératoires (Valeurs mesurées au pic).

Les résultats sont exprimés en moyenne  $\pm$  écart-type ; les valeurs sont représentées en valeur absolue et en pourcentage (%) des valeurs de référence de la population. maximale inspiratoire quasi statique, PI, max ; reniflement, sniff-test, SNIP ; consommation d'oxygène,  $VO_2$ .

pour SNIP. Comme dans le groupe I, le pic de  $VO_2$  et le pouls en  $O_2$  étaient significativement augmentés (tableau IV). Nous retrouvons une corrélation entre l'augmentation postopératoire de  $PI_{max}$  et de SNIP avec celle du pouls en  $O_2$  soit  $r^2=0.23$  ;  $p=0.04$  et  $r^2 = 0.38$  ;  $p < 0.01$ , respectivement, suggérant que l'augmentation postopératoire des pressions inspiratoires s'accompagnait d'une augmentation de la performance ventriculaire évaluée par le rapport  $VO_2/FC$ .

## Discussion

Nos résultats montrent que le traitement chirurgical du PE s'accompagne, en postopératoire, d'une amélioration significative de l'aptitude aérobie, consécutive à l'augmentation de la force des muscles inspiratoires, à l'origine d'une meilleure efficacité à générer des pressions inspiratoires négatives favorisant le retour veineux et rendant la « pompe respiratoire cardiovasculaire » plus efficace à l'exercice.

Le retentissement du PEx sur les fonctions cardiovasculaire et pulmonaire a été largement débattu dans la littérature (1-3). Il existe, en effet, des travaux, effectués essentiellement chez l'enfant et l'adolescent, montrant que l'existence d'un PEx avait un effet délétère sur la fonction cardio-pulmonaire de repos ; et que sa cure chirurgicale s'accompagnerait d'une amélioration de la fonction cardio-pulmonaire à l'exercice. Par exemple, Malek et al. (1,7) ont montré qu'il existait une diminution de l'aptitude aérobie chez des patients présentant un PEx malgré la pratique d'une activité sportive régulière ; et que la fonction cardiovasculaire était améliorée après sa correction chirurgicale. Cependant ces dernières conclusions étaient contestées par Guntheroth et Spiers du fait, selon eux, des limitations de l'examen échographique liées à la déformation thoracique ; et du manque de pertinence du pouls en  $O_2$  comme mesure indirecte du débit cardiaque (2). Quant à la méta analyse de Johnson et al., elle concluait en l'absence d'amélioration postopératoire de la tolérance à l'exercice, malgré l'amélioration du volume d'éjection systolique observé (3). Cette divergence de résultats, ou d'interprétation, s'explique par l'existence de facteurs confondants tels que l'absence de standardisation de l'épreuve d'effort, la croissance des enfants et la modification de leurs habitudes d'activité physique postopératoire.

A contrario, aucune donnée n'était disponible dans la littérature concernant un éventuel bénéfice fonctionnel de la cure chirurgicale du PEx à l'âge adulte. Notre étude prospective, portant sur la plus grande série homogène de patients adultes ayant fait l'objet d'un traitement chirurgical et d'épreuves fonctionnelles respiratoires standardisés, montre que la déformation thoracique n'a pas de conséquence directe majeure en terme de restriction pulmonaire caractérisée. Il existe néanmoins une diminution très modérée (90-95 % des valeurs prédites) de la capacité vitale forcée et de la capacité pulmonaire totale. Le suivi postopératoire à un an montre une réduction modeste (0-2 % des valeurs préopératoires) des volumes pulmonaires mesurés. Ces résultats sont en accord avec les études antérieures qui montrent qu'une chirurgie à type de sternochondroplastie (8) ou de Nuss (9), s'accompagne d'une discrète diminution des volumes pulmonaires (CVF, VEMS, CPT) pouvant témoigner, malgré l'augmentation de volume du thorax, d'une rigidité pariétale induite par la chirurgie (10,11).

A l'effort, alors qu'il existait chez nos patients une réduction significative de la  $VO_2$  max et du pouls en  $O_2$ , nous avons observé une nette amélioration postopératoire de la capacité aérobie (ceci sans modification des activités physiques). L'augmentation significative du pouls en  $O_2$  au pic de l'effort suggérerait une meilleure adaptation de la fonction cardiovasculaire à l'exercice après la correction du PEx. Le pouls en  $O_2$  est, en effet, une mesure indirecte du volume d'éjection systolique (en l'absence de perturbations de l'extraction péri-

phérique en  $O_2$ ) ; et son évolution permet d'apprécier la qualité de l'adaptation cardiovasculaire au cours de l'exercice. En préopératoire, le pouls en  $O_2$  au pic de  $VO_2$  était inférieur ( $88 \pm 16$  %) à la valeur théorique, suggérant une mauvaise adaptation cardiovasculaire à l'exercice ; et il se normalisait en postopératoire ( $107 \pm 19$  % de la valeur théorique). Ces résultats étaient en accord avec plusieurs études réalisées chez l'enfant et le jeune adolescent, qui retrouvaient une amélioration de  $VO_2$  et une augmentation significative du pouls en  $O_2$  après chirurgie (12-15). Les anomalies du pouls en  $O_2$  observées chez nos patients présentant un PEx pouvaient, en partie, s'expliquer par la compression sternale des cavités cardiaques droites. Une étude récente a démontré que les patients présentant un PEx amélioraient leur aptitude aérobie et leur volume d'éjection systolique lorsqu'ils passaient de la position assise à la position couchée (16). Ces résultats suggèrent que la compression cardiaque (qui diminue en position couchée) s'opposait à l'augmentation du remplissage des cavités cardiaques et par conséquent du volume d'éjection systolique (ces deux phénomènes sont des réponses indispensables à l'augmentation du débit cardiaque lors d'un exercice). Pour autant, les patients qui présentent une telle compression extrinsèque des cavités droites sont minoritaires (35 % dans le groupe II). Nous avons, de ce fait, envisagé l'intervention d'un autre facteur, un déficit fonctionnel des muscles inspiratoire en relation avec le PEx. Cette hypothèse a été pleinement confirmée par la réduction significative de  $PI_{max}$  et de SNIP chez nos patients avant l'intervention. Ce déficit de la fonction des muscles inspiratoires a pour conséquence une diminution de la capacité du système respiratoire à générer une pression pleurale négative pendant l'inspiration, laquelle favorise le retour veineux dans les cavités cardiaques. Un an après correction du PEx, les paramètres  $PI_{max}$  et SNIP se sont améliorés, témoignant de la meilleure capacité des muscles inspiratoires à générer une pression négative intra thoracique à l'effort. Ce mécanisme de « pompe respiratoire cardiovasculaire » optimise le retour veineux dans les cavités droites. Par conséquent, l'amélioration postopératoire de l'efficacité de cette pompe permet d'augmenter le volume de remplissage ventriculaire, le volume d'éjection systolique et la tolérance à l'exercice. Des études complémentaires visant à identifier le retentissement de la chirurgie du PEx sur la géométrie et la dynamique du diaphragme et sur les phases de remplissage et d'éjection ventriculaires permettront de conclure sur le rôle cette « pompe » dans l'amélioration cardiovasculaire observée chez les patients.

Ainsi, nos résultats plaident pour une prise en charge effective de la correction du PEx chez l'adulte, en dehors de toute considération d'indication d'ordre esthétique.

## Discussion en séance

Question de B Andreassian

Quelle était la moyenne d'âge des opérés ? S'agissait-il d'adolescents ou d'adultes ?

Réponse

Nous confirmons que les opérés inclus étaient tous des adultes, avec une moyenne d'âge de l'ordre de 27 ans. Les rares patients opérés avant l'âge de 18 ans n'ont pas été enrôlés dans l'étude (il s'agissait de cas particuliers comme, par exemple, le syndrome de Marfan, avec nécessité d'une chirurgie combinée à un geste de chirurgie cardio-aortique). En tout état de cause, il n'est pas souhaitable de mettre en œuvre une sternochondroplastie avant la fin de la croissance, car la résection des cartilages peut entraîner des troubles de développement de la cage thoracique.

Question d'H Judet



Est-ce que l'amélioration espérée n'est pas plutôt une dégradation progressive et lointaine des résultats observés comme dans l'expérience de sa famille ?

#### Réponse

Cette question fait référence à la fréquence des récurrences après sternochondroplastie, susceptibles d'hypothéquer les résultats fonctionnels. Avec la technique de résection sous perichondrale des cartilages que nous employons (et qui porte sur plus de 200 cas), nous avons une majorité d'excellent résultats. Les quelques cuvettes résiduelles observées étaient mineures, sans conséquence fonctionnelle, et furent traitées par lipofilling, en collaboration avec nos collègues plasticiens. Nous suggérons de présenter prochainement notre expérience à l'Académie.

## Références

1. 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.
2. Guntheroth WG, Spiers PS. Cardiac function before and after surgery for pectus excavatum. *Am J Cardiol* 2007;99:1762-4.
3. Johnson JN, Hartman TK, Pianosi PT, Driscoll DJ. Cardiorespiratory function after operation for pectus excavatum. *J Pediatr* 2008; 153:359-64.
4. 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 Cardiothorac Surg*. 2011; 40:77-82.
5. Nevière 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.
6. Wurtz A, Rousse N, Benhamed L, Conti M, Hysi I, Pinçon C, et al. Simplified open repair for anterior chest wall deformities. Analysis of results in 205 patients. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2012; 98:319-26.
7. Malek MH, Fonkalsrud EW, Cooper CB. Ventilatory and cardiovascular responses to exercise in patients with pectus excavatum. *Chest* 2003; 124: 870-882.
8. Conti M, Cavestri B, Benhamed L, Porte H, Wurtz A. Malformations de la paroi thoracique antérieure. *Rev Mal Respir* 2007; 24: 107-20.
9. Bawazir OA, Montgomery M, Harder J, Sigalet DL. Midterm evaluation of cardiopulmonary effects of closed repair for pectus excavatum. *J Pediatr Surg* 2005; 40: 863-7.
10. Derveaux L, Clarysse I, Ivanoff I, Demedts M. Preoperative and postoperative abnormalities in chest x-ray indices and in lung function in pectus deformities. *Chest* 1989; 95: 850-6.
11. Malek MH, Berger DE, Marelich WD, Coburn JW, Beck TW, Housh TJ. Pulmonary function following surgical repair of pectus excavatum: a meta-analysis. *Eur J Cardiothorac Surg* 2006; 30: 637-643.
12. Cahill JL, Lees GM, Robertson HT. A summary of preoperative and postoperative cardiorespiratory performance in patients undergoing pectus excavatum and carinatum repair. *J Pediatr Surg* 1984; 19: 430-3.
13. Wynn SR, Driscoll DJ, Ostrom NK, Staats BA, O'Connell EJ, Mottram CD, et al. Exercise cardiorespiratory function in adolescents with pectus excavatum. Observations before and after operation. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1990; 99: 41-7.
14. Quigley PM, Haller JA Jr, Jelus KL, Loughlin GM, Marcus CL. Cardiorespiratory function before and after corrective surgery in pectus excavatum. *J Pediatr* 1996; 128: 638-643.
15. Sigalet DL, Montgomery M, Harder J, Wong V, Kravarsic D, Alassiri A. Long term cardiopulmonary effects of closed repair of pectus excavatum. *Pediatr Surg Int* 2007; 23: 493-7.
16. Zhao L, Feinberg MS, Gaides M, Ben-Dov I. Why is exercise capacity reduced in subjects with pectus excavatum? *J Pediatr* 2000; 136: 163-167.
17. Maagaard M, Tang M, Ringgaard S et al. Normalized cardiopulmonary exercise function in patients with pectus excavatum three years after operation. *Ann Thorac Surg* 2013;96:272-8.