

# Rapport bénéfice/risque de la réparation du pectus excavatum par la technique de Nuss

## The Nuss Procedure: Balance the Risks against Benefits

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

1. Clinique de chirurgie cardiaque et thoracique - CHU Lille - Lille.
2. Service de chirurgie thoracique - Centre hospitalier de Valenciennes.
3. Service de chirurgie thoracique - IUCPQ (Hôpital Laval - Québec) - Quebec - Canada.

### Mots clés

- ◆ Pectus excavatum
- ◆ Nuss
- ◆ MIRPE
- ◆ Ravich
- ◆ Complications

### Résumé

**Objectifs.** Le « Nuss » consiste à corriger le *pectus excavatum* par positionnement intra thoracique d'une ou plusieurs barres modelant le plastron chondrosternal déformé par compression interne. Réputé « mini invasif », il est à l'origine de complications telles qu'on doit s'interroger son innocuité.

**Matériel et méthode.** Recherches à partir de bases de données bibliographiques et sélection des complications sévères, selon les critères de Castellani.

**Résultats.** Vingt-huit patients ont été victimes de complications peropératoires, principalement hémorragiques, dont 18 perforations cardiaques ; et trois interruptions aiguës de la veine cave inférieure, ayant nécessité le retrait immédiat de la barre. Par ordre de fréquence décroissante, les complications secondaires étaient : (1) le déplacement de la barre (5,7 à 18 % des cas), à l'origine de 15 hémothorax tardifs, deux érosions de la crosse aortique et deux du poumon ; (2) l'infection du matériel ; (3) les épanchements péricardiques ; (4) l'intolérance au métal ; (5) des complications mécaniques entraînant des syndromes de la traversée cervico-thoraco-brachiale ou des érosions du sternum. Au retrait du matériel, outre certains accidents aigus hémorragiques (dont deux hémorragies cataclysmiques par déchirure cardiaque), des difficultés d'extraction furent observées. Finalement, huit patients ont fait un arrêt cardiaque per opératoire, entraînant trois décès et des séquelles d'ischémie cérébrale chez deux patients.

**Conclusions.** Alors que le Nuss est une réponse inadaptée à la pathogénie du *pectus excavatum* (anomalie de développement des cartilages costaux), cette technique se développe. Cependant l'analyse des complications et les études comparatives aux réparations à ciel ouvert, ne plaident pas en faveur de son utilisation.

### Keywords

- ◆ Pectus excavatum
- ◆ Close repair
- ◆ Nuss
- ◆ MIRPE
- ◆ Open repair
- ◆ Ravich
- ◆ Complications

### Abstract

**Objective:** The Nuss technique is a minimally invasive repair of *pectus excavatum* with intrathoracic placement of metal bar(s) allowing permanent remodeling of the anterior chest wall. Given severe complications reported so far, one must balance the risks against benefits of this procedure.

**Material and methods:** Publication searches through electronic bibliographic databases. Severe complications were selected according to Castellani's criteria.

**Results:** Twenty-eight patients sustained procedural complications, mainly hemorrhages, including 18 cardiac injuries; and 3 cases of mechanical occlusion of the inferior vena cava, which required prompt bar removal. The most common delayed complications were: (1) Bar displacement (5.7-to-18%), leading to late-onset hemothorax in 15 patients, aortic-cross injury in 2 and pulmonary injury in 2; (2) Infection of the bar; (3) Postpericardiotomy syndrome; (4) Metal allergy; (5) Mechanical conflicts and consecutive thoracic outlet syndrome or sternal erosion. Last, hemothorax or catastrophic hemorrhages due to cardiac laceration and difficulties due to neo-ossification were encountered during bar removal. Finally, 8 patients experienced per operative cardiac arrest leading to death in 3 or severe hypoxic brain injury in 2.

**Conclusions:** Besides the fact that the Nuss technique does not correct the cause of *pectus excavatum* (costal cartilage anomalies), it has gained acceptance. However, this is questionable, according to our in-depth literature study and comparative evaluations of complications after both Nuss and open Ravitch-type repair.

La technique de Nuss de réparation du *pectus excavatum* (PEX) a été mise au point à la fin des années 80 (1). Plus communément dénommée « Nuss » ou « MIRPE » (Minimally invasive repair of *pectus excavatum*), elle a pour objectif de traiter le PEX par un abord chirurgical trans-thoracique à minima du plastron chondrosternal. Deux courtes incisions latéro-thoraciques, à l'aplomb de la déformation, autorisent le pas-

sage, sous contrôle thoracoscopique, d'un guide (dont la concavité est dirigée vers le haut) immédiatement en arrière du plastron chondrosternal déformé ; puis la mise en place d'une (ou plusieurs) barre(s) (Lorentz *pectus* bar ou Nuss bar), pré cintrée(s) en salle d'opération en fonction de la déformation à corriger. Celle-ci, introduite dans le thorax à travers un espace intercostal, ressort de la paroi du côté opposé. Elle est

### Correspondance :

Alain Wurtz, Pôle de chirurgie cardiaque et thoracique - Hôpital Albert Calmette - CHU Lille - F59037 Lille Cedex France.  
Tel: +33 3 20 44 45 59 - Fax: +33 3 20 44 48 90  
E-mail : alain.wurtz@chru-lille.fr

retournée convexité vers le haut et ses extrémités sont fixées latéralement à la paroi externe par l'intermédiaire de stabilisateurs et/ou de fils d'acier encerclant les côtes. La barre remodèle le plastron chondro-sternal déformé par compression interne, au prix du maintien en place pour une période de 2 à 4 ans. Au terme de ce délai, une deuxième intervention est requise pour procéder à l'ablation du matériel. Cette technique s'est considérablement développée au fil des années, et a supplanté les techniques de réparation à ciel ouvert communément dénommées « Ravitch » (bien que les améliorations successives rendent ces techniques très éloignées de leur description initiale par l'auteur (2)). Ayant été frappés par la fréquence et la gravité de certaines complications rapportées, nous nous sommes interrogés sur le rapport bénéfice/risque du Nuss, en comparaison avec les techniques de réparation à ciel ouvert basées sur la résection sous péri-chondrale des cartilages anormaux.

## Matériel et méthodes

Les recherches bibliographiques ont été faites à partir des bases de données bibliographiques et bibliométriques Pubmed et Scopus avec notamment les mots clefs suivants : *Pectus excavatum*, close repair, Nuss, MIRPE, open repair, Ravitch, complications ; études de séries prospectives et rétrospectives, de *case reports* et *case series*, avec croisement des références bibliographiques. Nous n'avons colligé que les complications chirurgicales graves immédiates définies selon Castellan et al. : blessures d'organes ou lésions vasculaires et/ou nécessité d'une ré-intervention significative (3), ainsi que les complications tardives de gravité comparable. Les complications mineures (dilacérations intercostales, contusions ou lacerations péricardiques, pneumothorax et épanchements pleuraux séreux, ponctionnés ou drainés, atélectasies, séromes pariétaux, *sepsis* traités de manière conservatrice, ablation partielle de matériel cassé ou mal toléré, etc.) n'ont pas été prises en compte.

## Résultats

L'étude de la littérature de ces 20 dernières années nous a permis de colliger les complications péri, post opératoires et à long terme, suivantes.

### Complications graves périopératoires

#### Les perforations cardiaques

Elles constituent une des complications spécifiques de la méthode. Elles se produisent lors de l'introduction intra thoracique du guide, ou de la barre elle-même. Initialement le geste était fait à l'aveugle, mais la survenue de complications a rapidement conduit à l'utilisation d'un contrôle thoracoscopique (ce qui, néanmoins, n'a pas fait disparaître les accidents).

Nous avons colligé 18 cas de perforations cardiaques affectant : l'oreillette droite (4,5) ; le ventricule droit (6-8) ; ou les deux (3,7,9-11) ; des lésions associées de l'oreillette, de la valve tricuspide, du ventricule droit et/ou du *septum* inter ventriculaire (7,12,13) ; ou gravissimes (multiples plaies cardiaques et du lobe pulmonaire supérieur gauche) entraînant un décès précoce (14). Dans certains cas, nous ne disposons pas de données relatives au siège de la lésion, à sa prise en charge et son pronostic (15-18). Ces complications ont conduit à la sternotomie ou à la thoracotomie d'urgence pour réparation, avec ou sans circulation extracorporelle ; et le traitement du PEx était, sauf exception (4,5,12,13), définitivement abandonné. Cependant, dans un cas, une réparation tardive

du PEx était conduite sous circulation extracorporelle, pour des raisons évidentes de sécurité (18).

#### Autres lésions peropératoires

Deux cas de blessure peropératoires d'une artère thoracique interne ont été observés (19,20), ainsi qu'une hémorragie pariétale (21), qui imposaient une thoracotomie d'hémostase. Enfin, des dilacérations pulmonaires ont également été rapportées (14,22,23), et une désinsertion antérieure du diaphragme, à l'origine d'une hernie interne étranglée secondaire (24) ; et, de manière anecdotique, une plaie hépatique a été provoquée à l'introduction d'un trocart de thoracoscopie (3).

#### Les occlusions aiguës de la veine cave inférieure

Trois cas ont été rapportés (25-27). Au décours de l'intervention, les patients présentaient une instabilité hémodynamique, une oligurie et une distension abdominale ayant conduit dans deux cas à une laparotomie (25,26). Le diagnostic d'occlusion aiguë de la veine cave inférieure (probablement liée à une plicature secondaire à une modification brutale de la géométrie de la cage thoracique) a été fait par cavographie, échographie ou tomographie. Dans les trois cas, l'ablation de la barre a été salvatrice (bien qu'un patient ait fait un arrêt cardiaque per opératoire (27)). Et aucun des patients n'a eu de correction ultérieure de son PEx.

#### Complications graves post opératoires et à moyen terme

##### Déplacement secondaire de la barre

Le déplacement secondaire de la barre est la complication la plus fréquente. Dans leurs revues, Kuenzer et al. (6) et Hebra et al. (16) ont fait état d'un taux de ré intervention pour ce motif de 6 % et 9,2 % respectivement. Dans la série mono centrique de Kelly et al., le taux de déplacement était de 5,7 %, avec un taux de ré intervention de 4 % (28). Enfin, dans leur récente série, Fallon et al. font état d'un taux de 18 % (23). Méconnu ou négligé, le déplacement de la barre a été à l'origine de complications sévères :

##### • Lésions vasculaires et hémorragies retardées d'origine pariétale

Elles se produisent selon deux mécanismes : déplacement mineur, inférieur à 15° et/ou compression pariétale par la barre. Les accidents surviennent dans un délai inférieur à six mois après l'intervention. Le vaisseau le plus fréquemment lésé est l'artère thoracique interne, sous forme d'un faux anévrisme, traité par embolisation (16), ou d'une rupture dans la cavité pleurale, responsable d'un hémothorax massif ayant nécessité une thoracotomie d'urgence (29,30). Dans un autre cas, le saignement a pu être contrôlé par embolisation (31). Parfois aucun vaisseau à l'origine d'un saignement massif n'a pu être identifié (32,33). C'était également le cas dans les 10 autres observations rapportées dans cinq séries de la littérature (9,28,34-36). Il convient d'observer que l'hémothorax retardé peut être favorisé par un traumatisme fermé du thorax (28,36). On peut rapprocher de ces observations un cas d'hémopéricarde post traumatique ayant nécessité un décaillotage chirurgical (20).

##### • Lésions retardées de la crosse aortique

Le basculement intra thoracique de la barre en direction crâniale a été à l'origine d'une laceration de la crosse aortique, qui a nécessité une sternotomie d'urgence d'hémostase deux mois après l'intervention initiale (37). Ce mécanisme a également provoqué un faux anévrisme de la crosse qui s'est rompu lors de l'ablation de la barre. Une reconstruction artérielle par prothèse sous arrêt circulatoire et hypothermie profonde a dû être mise en œuvre (38).

##### • Hémorragies d'origine pulmonaire

Nous avons identifié : une hémorragie sévère par érosion d'une artère pulmonaire segmentaire, nécessitant une sternotomie d'urgence, après ablation prématurée d'une barre qui s'était mobilisée, un facteur d'échec de la correction du PEx à moyen terme (39) ; dans les mêmes circonstances, l'hémorragie provenait d'un lobe moyen dilacéré et infarci, imposant une lobectomie (40).

### Infection de la barre

Une autre source d'événement indésirable grave est l'infection de la barre, complication étudiée plus particulièrement par Calkins et al. Sur une série de 168 patients, ils ont eu à déplorer six complications septiques (3,6 %), se présentant cinq fois sous forme d'abcès, survenus entre 2 et 76 semaines après l'intervention ; et une fois sous forme de cellulite. Dans deux cas, cette complication a nécessité l'ablation du matériel (1,2 %) (41). Dans la série de Kelly et al. portant sur 1 215 patients, ces phénomènes ont nécessité trois fois l'ablation prématurée du matériel (0,25 %) (28). Moss et al. ont rapporté une observation de *sepsis* majeur : empyème pleural bilatéral et péricardite purulente ayant nécessité, outre l'ablation de la barre, une péricardectomie (14). L'utilisation de stabilisateurs est également une source supplémentaire d'ennuis, comme l'ont montré Watanabe et al. dans leur série de 53 patients. Chez cinq d'entre eux, le dispositif était responsable de séromes et de lésions cutanées par compression, qui ont évolué quatre fois vers l'ulcération, imposant l'ablation de tout ou partie du matériel (7,5 %) (42). Toutefois cette évolution péjorative n'a été observée que deux fois par Park et al. (0,6 %) (9).

### Les épanchements péricardiques

Ils viennent en troisième position dans la hiérarchie des complications post opératoires, avec un taux de 0,5 % à 2,4 % (16,28). De nature inflammatoire, ils s'apparentent, dans leur mécanisme de survenue (traumatisme péricardique), au syndrome post péricardotomie, et rétrocedent généralement sous traitement anti inflammatoire non stéroïdien, ou stéroïdien (43,44). Cependant, dans la série de Park et al., un drainage chirurgical du péricarde a été nécessaire chez deux patients et, chez un troisième, l'épanchement a évolué vers la constriction, imposant une péricardectomie (9).

### Les phénomènes d'intolérance à la barre

Ils sont liés à une allergie au nickel ou au chrome. Pour Rushing et al., l'incidence était de 2,2 %, avec la nécessité de procéder à l'ablation du matériel chez trois patients sur 862 (0,35 %) (45).

### Complications mécaniques pariétales

La mise en place de la barre, le retournement du plastron et la pression qui s'exerce sur lui (46), outre les phénomènes douloureux intenses qu'ils provoquent, entraîne une modification brutale de la géométrie du thorax et des rapports anatomiques, à l'origine de complications inattendues. Ainsi aux décours de l'intervention, une jeune patiente a présenté une luxation sterno-claviculaire bilatérale (39). Des syndromes de la traversée cervico-thoraco-brachiale ont également été observés, unis ou bilatéraux, cinq à expression neurologique, et deux, vasculaires ; et laissant des séquelles neurologiques, malgré l'ablation de la barre responsable (14,16,47,48). Enfin, la pression de la (ou des barres) exercée sur le *sternum* peut entraîner une érosion plus ou moins complète de ce dernier, avec exposition du matériel sous la peau (16,49). Il semblerait que cette rare complication soit spécifiquement observée chez les patients atteints d'une pathologie congénitale du tissu conjonctif et notamment de syndrome de Marfan (49) ; et que ce terrain soit propice à la récurrence complète de la déformation au décours de l'ablation du matériel (20).

Enfin l'opération de Nuss pourrait avoir un effet négatif sur la statique vertébrale, avec développement d'une scoliose acquise (50).

### Complications à l'ablation programmée du matériel

La technique de Nuss nécessite une extraction de la ou des barres intra thoraciques, un facteur potentiel de morbidité.

#### Accidents hémorragiques

Le plus dramatique a été une déchirure du ventricule gauche entraînant une hémorragie létale, en rapport avec le développement d'un système adhérentiel entre la barre et le péricarde symphysé, séquelle d'un épanchement péricardique postopératoire (7). Le même mécanisme, potentiellement aggravé par des antécédents de chirurgie cardiaque dans la petite enfance (pour transposition des gros vaisseaux) a également été à l'origine d'une double plaie ventriculaire avec hémorragie particulièrement sévère (51). Molins et al. ont enfin eu à déplorer une hémorragie intercostale de 1 500 ml lors de l'ablation programmée d'une barre (52).

Nyboe et al. qui ont analysé spécifiquement la morbidité de ce geste, sur une série consécutive de 343 patients, ont eu à déplorer sept complications mineures, dont deux hémothorax drainés ; et un troisième ayant nécessité une thoracotomie d'hémostase (53).

#### Difficultés à l'extraction de la barre

Ce n'est pas toujours un geste simple. En effet, des difficultés majeures ont été observées du fait de calcifications extensives ou d'une symphyse au sternum (20,54) ou avec les côtes (55).

#### Complications à long terme

Onze ans après intervention de Nuss, chez un patient de 23 ans victime d'un épisode syncopal, on a découvert un cal fibreux séquellaire comprimant sévèrement la voie d'éjection du ventricule droit, qui fut traité par résection thoroscopique (56).

#### Technique de Nuss et arrêt cardiaque

Des complications peropératoires sévères, survenues chez six patients, ont été à l'origine d'arrêts cardiaques (7,11,14,24,27). De plus, Redlinger et al., sur une série de 100 cas de ré intervention pour récurrence de PEx, ont également observé deux incidents de ce type, en relation avec une mauvaise tolérance de l'ouverture thoracique : l'un survenait en début d'intervention ; et l'autre se produisait lors de l'ablation de la barre (57).

Trois de ces huit patients sont décédés et deux ont gardé des séquelles d'ischémie cérébrale. Ils étaient tous âgés de moins de 18 ans. De plus Zoeller et al. ont démontré que la présence de la barre était une entrave à la mise en œuvre de manœuvres de ressuscitation cardio-respiratoire, en cas d'arrêt cardiaque fortuit, accident qui survient plus de 500 000 fois par an dans le monde (58). Cette observation exemplaire soulève des interrogations sur les cas d'arrêt cardiaque survenus à distance du Nuss, et pour lesquels on ne dispose d'aucune information en terme de tentative de ressuscitation (28,59).

### Commentaires

L'intervention de Nuss, réputée peu invasive, tend à devenir la référence dans le traitement du PEx. Cependant, nous

avons été impressionnés par le nombre et la gravité des complications rapportées dans la littérature, et dont le nombre ne faiblit pas au fil des années. Et certaines d'entre elles n'ont été (ou ne seront) jamais publiées. Ainsi, Bouchard et al., dans leur article relatant quatre lésions cardiaques (dont une mortelle à l'ablation de la barre), ont rapporté une conversation qu'ils ont eu avec le promoteur de la méthode : « *Dr Nuss... has noted other catastrophic outcomes in both placing the bars and removing them, yet these complications are rare but profound* » (7). De plus, ces accidents ont continué à se produire en dehors de tout contexte de learning curve (7,9,11) ; et malgré la multiplication des artifices techniques imaginés pour les éviter.

Ainsi, on est en droit de s'interroger sur l'innocuité réelle du Nuss, donc les complications sont plus nombreuses et plus graves que le « *now defunct classic Ravitch procedure* » (61). Dans une revue générale consacrée aux différentes techniques de traitement chirurgical du *pectus excavatum*, il est significatif que le chapitre dédié aux complications ne concerne, quasi exclusivement, que le Nuss (6). Castellani et al. ont étudié prospectivement les complications du Nuss chez 167 patients. Ils ont observé sept complications majeures (4,2 %), dont deux survenaient en peropératoire : une perforation cardiaque et une plaie du foie par trocart de thoracoscopie. Secondairement des complications septiques ont nécessité deux fois l'ablation de la barre. Enfin les auteurs ont observé trois déplacements secondaires survenus moins de six mois après l'intervention, qui ont nécessité une reprise pour un repositionnement correct. Le nombre de complications mineures était impressionnant : 122 (73,1 %). Certaines d'entre elles, considérées comme telles, ne sont pas, pour autant, anodines. Il en est ainsi des ruptures des muscles intercostaux (15 cas) avec parfois hernie pulmonaire secondaire ; des atélectasies postopératoires (quatre cas) ; des ablations de matériel de fixation cassé ou mal toléré (48 cas) ; des épanchements pleuraux récidivants ou hémithorax tardifs (six cas). Finalement, le taux de réadmission pour traitement d'une complication était de 10, 2 % (3). Ce taux s'élevait même à 24 % pour Fallon et al., alors qu'il s'agit d'une publication récente (23).

À l'opposé, après Ravitch, les complications sévères sont exceptionnelles et, à notre connaissance, aucune n'a entraîné de décès. Ont été rapportées des migrations d'attelles ou de divers matériels dans la cavité abdominale (62), pleurale (63) ou péricardique, le cas échéant compliquées de lésions cardiaques qui ont nécessité cinq fois une intervention sous CEC (64-66). Dans la majorité des cas ces incidents étaient consécutifs à l'utilisation d'une attelle trop petite (65) et/ou à un défaut d'ablation du matériel en temps utile et, le cas échéant, rompu (64,66) ; ou enfin secondaire au repositionnement à l'aveugle d'une broche de Kirchner prématurément déplacée (réparation sous CEC) (67). Une complication spécifique du Ravitch est la chondrodystrophie thoracique acquise, un trouble de développement de la cage thoracique provoqué par l'ablation prématurée des cartilages de croissance costaux, une complication devenue historique depuis que l'intervention n'est plus mise en œuvre avant la puberté (68,69). Une autre est le sternum flottant, également exceptionnel et conséquence d'une erreur technique : défaut de conservation des étuis de péricondre et/ou dévascularisation de la paroi, empêchant la régénération ostéo-cartilagineuse (70). Enfin vient d'être rapportée une observation de correction d'une récurrence de Pex associée à d'un défaut pariétal séquellaire, après deux tentatives de réparation à ciel ouvert (71).

Les études comparant le Nuss et le Ravitch ne sont pas en faveur de la première méthode. Ainsi, dans l'étude de Molik et al., le taux global de complications était respectivement de 43 % et de 20 % ; le taux de ré intervention était de 29 % et de 6 % (72). Pour de Souza Coelho et al., 45 % des patients opérés de Nuss ont présenté des complications, pour 15 % dans le groupe Ravitch (73). Dans ces deux études, la durée

moyenne d'hospitalisation était significativement plus longue après Nuss, en raison des besoins supplémentaires en antalgiques. Cependant, une récente méta analyse, portant sur neuf études prospectives et rétrospectives comparant les deux techniques, publiées entre 2001 et 2009, n'a pas montré de différence significative dans le taux de complications, avec toutefois un taux de ré interventions, de pneumothorax et d'hémithorax significativement plus élevé dans le Nuss (74). De plus cette étude ne reflète pas la réalité « *dans la vraie vie* », la méthodologie utilisée par les auteurs ayant conduit à ne pas prendre en compte nombre de complications sévères ou létales, publiées sous forme de *case reports* ou de *case series*, au cours de la même période d'étude : 3 *versus* 18 (un rapport de 1 à 6), respectivement pour le Ravitch (62,63,75) et le Nuss (4,7,14,15,19,24-26,30-32,37,50,55,58).

Une autre critique fondamentale à faire au Nuss est que ce n'est pas une réponse pertinente à la pathogénie du PEx. En effet, l'anomalie en longueur des cartilages costaux et/ou leur distorsion, à l'origine de la déformation, n'est pas corrigée. La mise en place de la (ou des barres) provoque une surdistension de la cage thoracique (voire des fractures), facteur de douleurs postopératoires vives, qui imposent, de facto une prise en charge antalgique par péridurale (à l'origine d'une paraplégie ayant laissé des séquelles, dans la série de Kelly et al. (29)). De plus ces douleurs persistantes peuvent imposer une ablation prématurée de la barre et, par conséquent un mauvais résultat (72,76). La restriction de la cinétique de la paroi thoracique surdistendue est un facteur d'atélectasie post opératoire (3,76), et même de détresse respiratoire aiguë, imposant l'ablation du matériel en urgence (77). En dehors des lésions des artères thoraciques internes préalablement décrites, la compression interne de la paroi thoracique antérieure peut entraîner une interruption du flux vasculaire d'un ou deux de ces vaisseaux chez 40 % des opérés, une hypothèse à leur utilisation pour un éventuel pontage coronaire ultérieur (78-79). Enfin, le défaut de correction de l'anomalie des cartilages est à l'origine d'un certain nombre de *pectus carinatum* dits « *réactionnels* », qui bénéficient en règle d'un Ravitch secondaire (73,76).

La présence de une ou plusieurs barres intra thoraciques, dont le taux de mobilisation secondaire est élevé, qui peuvent s'infecter ou entraîner des réactions d'intolérance, constituent un réel danger potentiel (« *the sword of Damocles* » selon Robisczek (80)). Nous avons vu que leur ablation secondaire n'était pas toujours aisée et anodine, contrairement aux attelles droites utilisées dans le Ravitch, enlevées en règle en ambulatoire (81) et même sous anesthésie locale (82).

Ainsi, nous avons le sentiment que le Nuss ne devrait pas avoir sa place dans l'arsenal thérapeutique du PEx (83) ; et ceci est particulièrement vrai dans la réparation combinée du PEx à une chirurgie cardio-aortique sous circulation extracorporelle (84,85).

Il existe en effet d'autres possibilités de prise en charge comme le traitement orthopédique par Vacuum Bell (86), dont l'expérience nous a montré qu'il était particulièrement efficace avant la puberté ; ainsi que le traitement chirurgical par les techniques de type Ravitch modifié (81,82,87,88), des procédures standardisées applicables à toutes formes de PEx, chez l'adolescent en fin de croissance et chez l'adulte (ceci sans limite d'âge, en raison des risques que fait courir la persistance de la déformation à long terme) (89).

## Conclusion

En dépit de la rapidité et de la simplicité apparente de son exécution, le Nuss est à l'origine d'un taux de complications particulièrement élevé, sévères dans 4 % des cas, et susceptibles d'engager le pronostic vital. Ceci est difficilement acceptable pour une chirurgie mise en œuvre chez des sujets jeu-

nes, et qui vise essentiellement à corriger une disgrâce physique.

## Discussion en séance

### Question d'I Gandjbakhch

Quel est le pourcentage de patients opérés par la technique de Nuss vis-à-vis du ciel ouvert ?

#### Réponse

Il est difficile de répondre à cette question, mais on a le sentiment que le Nuss se développe au détriment des techniques ouvertes de type Ravitch. On pourrait imaginer un pourcentage de 70 % contre 30 %. Ceci est dommageable puisque le taux de complications est très élevé après Nuss avec un taux de complications graves que l'on peut estimer à 4 %. Et les complications rapportées ne représentent que la partie émergée de l'iceberg. Ainsi Nuss lui-même a eu personnellement à déplorer une perforation cardiaque, qui n'apparaît pas dans l'analyse rétrospective de son expérience récente, au prétexte que l'accident s'était produit lors d'une démonstration opératoire effectuée dans une autre institution ! En France, il semblerait qu'il y ait eu, au cours de ces dernières années au moins sept complications gravissimes avec deux décès : trois perforations cardiaques, deux interruptions aiguës de la veine cave inférieure, une déchirure de la veine cave supérieure et une hémorragie cataclysmique provenant de la mammaire interne à l'ablation d'une barre chez un enfant. Et seules deux observations ont été publiées...

### Commentaire de J Barbier

Risque/Bénéfice *versus* Bénéfice/Risque.

#### Réponse

Votre commentaire résume parfaitement mon opinion à propos du Nuss.

### Commentaire de J Dubouset

Je n'ai jamais fait ce type d'intervention selon la technique de Nuss alors que j'ai une expérience des techniques ouvertes, soit isolées, soit associées à la chirurgie cardiaque des ectasies aortiques. Et ceci en raison des risques en particulier tardifs que vous venez de bien définir.

## Conflits d'intérêt

Aucun

## Références

- Nuss D, Kelly RE Jr, Croitoru DP, Katz ME. A 10-year review of a minimally invasive technique for the correction of pectus excavatum. *J Pediatr Surg.* 1998;33:545-52.
- Ravitch MM. The operative treatment of pectus excavatum. *Ann Surg.* 1949;129:428-44.
- Castellani C, Schalamon J, Saxena AK, Höellwarth ME. Early complications of the Nuss procedure for pectus excavatum: a prospective study. *Pediatr Surg Int.* 2008;24:659-66.
- Belcher E, Arora S, Samancilar O, Goldstraw P. Reducing cardiac injury during minimally invasive repair of pectus excavatum. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2008;33:931-3.
- Craner R, Weis R, Ramakrishna H. Emergent cardiopulmonary bypass during pectus excavatum repair. *Ann Card Anaesth.* 2013;16:205-8.
- Kuenzler KA, Stolar CJ. Surgical correction of pectus excavatum. *Paediatr Respir Rev.* 2009;10:7-11.
- Bouchard S, Hong AR, Gilchrist BF, Kuenzler KA. Catastrophic cardiac injuries encountered during the minimally invasive repair of pectus excavatum. *Sem Pediatr Surg.* 2009;18:66-72.
- Jeong JY, Suh JH, Yoon JS, Park CB. Delayed-onset hypovolemic shock after the Nuss procedure for pectus excavatum. *J Cardiothorac Surg.* 2014;9:15.
- Park HJ, Lee SY, Lee CS. Complications associated with the Nuss procedure: analysis of risk factors and suggested measures for prevention of complications. *J Pediatr Surg.* 2004;39:391-5.
- Becmeur F, Ferreira CG, Haecker FM, Schneider A, Lacreuse I. Pectus excavatum repair according to Nuss: is it safe to place a retrosternal bar by a transpleural approach, under thoracoscopic vision? *J Laparoendosc Adv Surg Tech A.* 2011;21:757-61.
- Schaarschmidt K, Lempe M, Schlesinger F, Uwe Jaeschke U, Park W, Polleichtner S. Lessons learned from lethal cardiac injury by Nuss repair of pectus excavatum in a 16-year-old. *Ann Thorac Surg.* 2013;95:1793-5.
- Willekes CL, Backer CL, Mavroudis C. A 26-year review of pectus deformity repairs, including simultaneous intracardiac repair. *Ann Thorac Surg.* 1999;67:511-8.
- Moss RL, Albanese CT, Reynolds M. Major complications after minimally invasive repair of pectus excavatum: case reports. *J Pediatr Surg.* 2001;36:155-8.
- 1Gips H, Zaitsev K, Hiss J. Cardiac perforation by a pectus bar after surgical correction of pectus excavatum: case report and review of the literature. *Pediatr Surg Int.* 2008;24:617-20.
- Nuss D, Kelly RE, Croitoru DP, Swoveland B. Repair of pectus excavatum. *Pediatric Endosurgery & Innovative Techniques.* 1998;2:205-21.
- Hebra A, Swoveland B, Egbert M, Tagge EP, Georgeson K, Otherson HB Jr, Nuss D. Outcome analysis of minimally invasive repair of pectus excavatum: review of 251 cases. *J Pediatr Surg.* 2000;35:252-7.
- Tedde ML, Campos JR, Das-Neves-Pereira JC, Abrão FC, Jatene FB. The search for stability: bar displacement in three series of pectus excavatum patients treated with the Nuss technique. *Clinics.* 2011;66:1743-6.
- Hernández S, Fernández A, Ramírez M, López S, De la Torre CA, Miguel M et al. Correction of the complicated pectus excavatum with extracorporeal circulation (ECC) support. *Cir Pediatr.* 2011;24:44-7.
- Schwabegger AH, Jeschke J, Del Frari B. A rounded dissector to reduce complications in the minimally invasive repair (Nuss) of pectus excavatum in adolescents and adults. *Thorac Cardiovasc Surg.* 2008;56:118-20.
- Vegunta RK, Pacheco PE, Wallace LJ, Pearl RH. Complications associated with the Nuss procedure: continued evolution of the learning curve. *Am J Surg.* 2008;195:313-7.
- Torre M, Mameli L, Montobbio G, Asquasciati C, Campanella V, Ferrari C, Jasonni V. The treatment of pectus excavatum: results of a minimally invasive surgical technique on the first 50 patients. *Minerva Pediatr.* 2008;60:391-6.
- Umuroglu T, Bostancı K, Thomas DT, Yuksel M, Yilmaz Gogus F. Perioperative Anesthetic and Surgical Complications of the Nuss Procedure. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2013;27:436-40.
- Fallon SC, Slater BJ, Nuchtern JG, Cass DL, Kim ES, Lopez ME, Mazziotti MV. Complications related to the Nuss procedure: minimizing risk with operative technique. *J Pediatr Surg.* 2013;48:1044-8.
- Marusch F, Gastinger I. Life-threatening complication of the Nuss-procedure for funnel chest. A case report. *Zentralbl Chir.* 2003;128:981-4.
- Nath DS, Wells WJ, Reemtsen BL. Mechanical occlusion of the inferior vena cava: an unusual complication after repair of pectus excavatum using the Nuss procedure. *Ann Thorac Surg.* 2008;85:1796-8.
- Harris B, Bushman GA, Hastings LA. Inferior vena cava obstruction after pectus excavatum repair. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2009;23:515-7.
- Ballouhey Q, Léobon B, Trinchéro JF, Baunin C, Galinier P, Sales de Gauzy J. Mechanical occlusion of the inferior vena cava: an early complication after repair of pectus excavatum using the Nuss procedure. *J Pediatr Surg.* 2012;47:e1-3.
- Kelly RE, Goretsky MJ, Obermeyer R, Kuhn MA, Redlinger R, Haney TS, Moskowitz A, Nuss D. Twenty-one years of experience with minimally invasive repair of pectus excavatum by the Nuss procedure in 1215 patients. *Ann Surg.* 2010;252:1072-81.
- Zallen GS, Glick PL. Miniature Access Pectus Excavatum Repair: Lessons We Have Learned. *J Pediatr Surg.* 2004;39:685-9.
- Barsness K, Bruny J, Janik JS, Partrick DA. Delayed near-fatal hemorrhage after Nuss bar displacement. *J Pediatr Surg.* 2005;40:e5-6.
- Adam LA, Lawrence JL, Meehan JJ. Erosion of the Nuss bar into the internal mammary artery 4 months after minimally invasive repair of pectus excavatum. *J Pediatr Surg.* 2008;43:394-7.
- Kosumi T, Yonekura T, Owari M, Hirooka S. Late-onset hemothorax after the Nuss procedure for funnel chest. *Pediatr Surg Int.* 2005;21:1015-7.
- Lin CW, Chen KC, Diao GY, Chu CC. Late-onset vital complication

- after the Nuss procedure for pectus excavatum. *Pediatr Surg Int*. 2012;28:71-3.
34. Uemura S, Nakagawa Y, Yoshida A, Choda Y. Experience in 100 cases with the Nuss procedure using a technique for stabilization of pectus bar. *Pediatr Surg Int*. 2003;19:186-9.
  35. Boehm RA, Muensterer OJ, Tiill H. Comparing minimally invasive funnel chest repair versus the conventional technique: an outcome analysis in children. *Plast Reconstr Surg*. 2004;114:668-73.
  36. Jo WM, Choi YH, Sohn YS, Kim HJ, Hwang JJ, Cho SJ. Surgical treatment for pectus excavatum. *J Korean Med Sci*. 2003;18:360-4.
  37. Hoel TN, Arne Rein K, Svennevig JL. A life-threatening complication of the Nuss-procedure for pectus excavatum. *Ann Thorac Surg*. 2006;81:370-2.
  38. Jemielity M, Pawlak K, Piwkowski C, Dyszkiewicz W. Life-threatening aortic hemorrhage during pectus bar removal. *Ann Thorac Surg*. 2011;91:593-5.
  39. Leonhardt J, Kübler JF, Feiter J, Ure BM, Petersen C. Complications of the minimally invasive repair of pectus excavatum. *J Pediatr Surg*. 2005;40:e7-9.
  40. Carlucci M, Torre M, Jasonni V. An uncommon complication of Nuss bar removal : is blind removal a safe procedure ? *J Ped Surg Case Reports*. 2013;1:34-5.
  41. Calkins CM, Shew SB, Sharp RJ, Ostlie DJ, Yoder SM, Gittes GK et al. Management of postoperative infections after the minimally invasive pectus excavatum repair. *J Pediatr Surg*. 2005;40:1004-7.
  42. Watanabe A, Watanabe T, Obama T, Ohsawa H, Mawatari T, Ichimiya Y, Abe T. The use of a lateral stabilizer increases the incidence of wound trouble following the Nuss procedure. *Ann Thorac Surg*. 2004;77:296-300.
  43. Berberich T, Haecker FM, Kehrer B, Erb TO, Günthard J, Hammer J, Jenny PM. Postpericardiotomy syndrome after minimally invasive repair of pectus excavatum. *J Pediatr Surg*. 2004;39:e1-3.
  44. Muensterer OJ, Schenk DS, Praun M, Boehm R, Tiill H. Postpericardiotomy syndrome after minimally invasive pectus excavatum repair unresponsive to nonsteroidal anti-inflammatory treatment. *Eur J Pediatr Surg*. 2003;13:206-8.
  45. Rushing GD, Goretsky MJ, Gustin T, Morales M, Kelly RE Jr, Nuss D. When it is not an infection: metal allergy after the Nuss procedure for repair of pectus excavatum. *J Pediatr Surg*. 2007;42:93-7.
  46. Weber PG, Huemmer HP, Reingruber B. Forces to be overcome in correction of pectus excavatum. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2006;132:1369-73.
  47. Kiliç B, Demirkaya A, Turna A, Kaynak K. Vascular thoracic outlet syndrome developed after minimally invasive repair of pectus excavatum. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2013;44:567-9.
  48. Lee SH, Ryu SM, Cho SJ. Thoracic outlet syndrome after the Nuss procedure for the correction of extreme pectus excavatum. *Ann Thorac Surg*. 2011;91:1975-7.
  49. Raff GW, Wong MS. Sternal plating to correct an unusual complication of the Nuss procedure: erosion of a pectus bar through the sternum. *Ann Thorac Surg*. 2008;85:1100-1.
  50. Niedbala A, Adams M, Boswell WC, Considine JM. Acquired thoracic scoliosis following minimally invasive repair of pectus excavatum. *Am Surg*. 2003;69:530-3.
  51. Haecker FM, Berberich T, Mayr J, Gambazzi F. Near-fatal bleeding after transmural ventricle lesion during removal of the pectus bar after the Nuss procedure. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2009;138:1240-1.
  52. Molins L, Fiblia JJ, Perez J, Vidal G. Chest wall surgery: Nuss technique for repair of pectus excavatum in adults. *MMCT* doi:10.1510/mmcts.2004.000315.
  53. Nyboe C, Knudsen MR, Pilegaard HK. Elective pectus bar removal following Nuss procedure for pectus excavatum: a single-institution experience. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2011;39:1040-2.
  54. Giacomo TD, Diso D, Francioni F, Anile M, Venuta F. Minimally invasive pectus excavatum repair: migration of bar and ossification. *Asian Cardiovasc Thorac Ann*. 2013;21:88-9.
  55. Morimoto K, Imai K, Yamada A, Fujimoto T, Matsumoto H, Niizuma K. Migration of a pectus bar into the ribs. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2008;61:225-7.
  56. Obert L, Munyon R, Choe A, Rubenstein J, Azizkhan R. Rare late complication of the Nuss procedure: a case report. *J Pediatr Surg*. 2012;47:593-7.
  57. Redlinger RE Jr, Kelly RE Jr, Nuss D, Kuhn MA, Obermeyer RJ, Goretsky MJ. One hundred patients with recurrent pectus excavatum repaired via the minimally invasive Nuss technique--effective in most regardless of initial operative approach. *J Pediatr Surg*. 2011;46:1177-81.
  58. Zoeller GK, Zallen GS, Glick PL. Cardiopulmonary resuscitation in patients with a Nuss bar--a case report and review of the literature. *J Pediatr Surg*. 2005;40:1788-91.
  59. Sacco Casamassima MG, Wong LL, Papandria D, Abdullah F, Vricella LA, Cameron DE, Colombani PM. Modified nuss procedure in concurrent repair of pectus excavatum and open heart surgery. *Ann Thorac Surg*. 2013;95:1043-9.
  60. Croitoru DP, Kelly RE Jr, Goretsky MJ, Lawson ML, Swoveland 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.
  61. Robicsek F. The Nuss procedure: not so fast! *Eur J Cardiothorac Surg*. 2011;39:159.
  62. Tahmassebi R, Ashrafian H, Salih C, Deshpande RP, Athanasiou T, Dussek JE. Intra-abdominal pectus bar migration--a rare clinical entity: case report. *J Cardiothorac Surg*. 2008;3:39.
  63. Kanegaonkar RG, Dussek JE. Removal of migrating pectus bars by video-assisted thoracoscopy. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2001;19:713-5.
  64. Zhang R, Hagl C, Bobylev D, Breymann T, Schmitto JD, Haverich A, Kruger M. Intrapericardial migration of dislodged sternal struts as late complication of open pectus excavatum repairs. *J Cardiothorac Surg*. 2011;6:40.
  65. Aydemir B, Sokullu O, Hastaoglu O, Bilgen F, Celik M, Dogusoy I. Aorta-to-right ventricular fistula due to pectus bar migration. *Thorac Cardiovasc Surg*. 2011;59:51-2.
  66. Biliboni Lage I, Khan K, Kaabneh A, Kendall S. Late coronary artery and tricuspid valve injury post pectus excavatum surgery. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2013;17:748-50.
  67. Pircova A, Sekarski-Hunkeler N, Jeanrenaud X, Ruchat P, Sadeghi H, Frey P, Payot M. Cardiac perforation after surgical repair of pectus excavatum. *J Pediatr Surg*. 1995;30:1506-8.
  68. Haller JA, Colombani MP, Humphries CT, Azizkhan RG, Louglin GM. Chest wall constriction after too extensive and too early operations for pectus excavatum. *Ann Thorac Surg* 1996;61:1618-25.
  69. Chen CH, Liu HC, Hung TT, Chen CH. Restrictive chest wall deformity as a complication of surgical repair for pectus excavatum. *Ann Thorac Surg*. 2010;89:599-601.
  70. Prabhakaran K, Paidas CN, Haller JA, Pegoli W, Colombani PM. Management of a floating sternum after repair of pectus excavatum. *J Pediatr Surg*. 2001;36:159-64.
  71. Jaroszewski D, Johnson K, Lackey J, McMahon L, Notrica D. Complex repair of pectus excavatum recurrence and massive chest wall defect and lung herniation after prior open repair. *Ann Thorac Surg*. 2013;96:e29-31.
  72. Molik KA, Engum SA, Rescorla FJ, West KW, Scherer LR, Grosfeld JL. Pectus excavatum repair: experience with standard and minimal invasive techniques. *J Pediatr Surg*. 2001;36:324-8.
  73. Coelho Mde 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.
  74. Nasr A, Fecteau A, Wales PW. Comparison of the Nuss and the Ravitch procedure for pectus excavatum repair: a meta-analysis. *J Pediatr Surg*. 2010;45:880-6.
  75. Barakat MJ, Morgan JA: Haemopericardium causing cardiac tamponade: a late complication of pectus excavatum repair. *Heart*. 2004;90:e22.
  76. Engum S, Rescorla F, West K, Rouse T, Scherer LR, Grosfeld J. Is the grass greener? Early results of the Nuss procedure. *J Pediatr Surg*. 2000;35:246-51.
  77. Schwabegger AH. Complications, special problems, tips, and tricks. In Schwabegger A H ed. *Congenital Thoracic Wall Deformities. Diagnosis, Therapy and Current Developments*. Springer Wien New York. 2011:277-97.
  78. Yüksel M, Ozalper MH, Bostanci K, Ermerak NO, Cimsit C, Tasali N et al. Do Nuss bars compromise the blood flow of the internal mammary arteries? *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2013;17:571-5.
  79. Wurtz A, Hysi I, Rouse N, Benhamed L. eComment. Nuss pectus excavatum repair: Friend or foe? *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2013;17:575.
  80. Robicsek F. When four plus four is less than eight: the Nuss operation. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2009;35:559-60.
  81. Fonkalsrud EW, Dunn JC, Atkinson JB. Repair of pectus excavatum deformities : 30 years experience with 375 patients. *Ann Surg*. 2000;231:443-8.
  82. Wurtz A, Rouse N, Benhamed L, Conti M, Hysi I, Pinçon C, Neviere R. Simplified open repair for anterior chest wall deformities. Analysis of results in 205 patients. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2012;98:319-26.
  83. Wurtz A, Hysi I, Benhamed L, Conti M. Does pectus tunneloscopy make the Nuss repair for pectus excavatum safe? *Interact Cardiovasc Thorac Surg* doi:10.1093/icvts/ivt250

84. Rouse 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.
85. Rouse N, Hysi I, Juthier F, Vincentelli A, Wurtz A. Combined repair of pectus excavatum and cardiopulmonary bypass surgery. What is the best strategy? *Ann Thorac Surg* 2013;96:1526-7.
86. 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.
87. Davis JT, Weinstein S. Repair of the pectus deformity: results of the Ravitch approach in the current era. *Ann Thorac Surg.* 2004;78:421-6.
88. Lopushinsky SR, Fecteau AH. Pectus deformities: a review of open surgery in the modern era. *Semin Pediatr Surg.* 2008;17:201-8.
89. Humphrey GH, Jaretzki A. Pectus excavatum. Late results with and without operation. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1980;80:686-95.