

漏斗胸治療の進化—Nuss 法がもたらした変革

長野県立こども病院形成外科
信州大学医学部形成再建外科教室

野口昌彦

I はじめに

漏斗胸は先天性胸郭変形の約90%を占め、その発生頻度は300~400人に1人とされ、先天性外表異常の中でも比較的高頻度に認められる疾患である。多くの医師が一度は診察した経験を有する疾患である一方で、その疾患概念および治療戦略は、この10年間で大きな変化を遂げてきた。

この変化の契機となったのが、形成外科領域における *breakthrough* の一つとして位置づけられる Nuss 法の導入である。Nuss 法は、漏斗胸治療に「矯正治療」という新たな概念をもたらし、胸腔内に金属製バーを留置することによって胸郭形態の再建を図る低侵襲手術である。

本邦に Nuss 法が導入されてから四半世紀が経過した。当初は低侵襲性が最大の特徴として注目された同術式であるが、その後の術式改良と臨床経験の蓄積により、安全性および治療成績は大きく向上した。さらに、こうした進歩は漏斗胸という疾患の病態理解そのものにも変革をもたらしてきた。

本稿では、まず Nuss 法の導入によって漏斗胸治療において何が変化したのかを概観し、その過程で明らかとなった漏斗胸の病態について整理する。さらに、より安全で、より確実かつ効果的な治療を目指して発展してきた Nuss 法手技の現状と最新の知見について概説する。

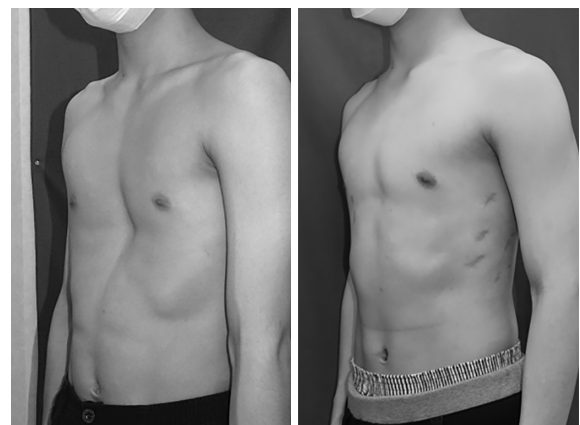
II Nuss 法導入で何か変わったのか？

漏斗胸は前胸部の陥凹変形を特徴とする疾患であり、その変形の主座は胸骨および肋軟骨にある。詳細な病態形成過程については他稿に譲るが、成長に伴う各構成要素の骨化にともなう形態変化により、漏斗胸の変形様式自体も経時的に変化する¹⁾。とくに10歳前後以降では、胸郭前後径の減少による胸郭の扁平化が進行し、これに伴って胸郭左右の非対称性が増悪する傾向

にある。

すなわち、漏斗胸における治療の標的は、単に前胸部の陥凹変形そのものにとどまらず、胸郭全体の扁平化を含めた三次元的変形にあると考えられる。Nuss 法以前の外科的治療においても陥凹変形の改善は一定程度可能であったが、扁平化した胸郭に十分な前後径、すなわち胸郭の厚みを再建することは困難であった。この点において、Nuss 法は胸腔内に留置したバーにより胸郭全体を前方へ持ち上げ、胸郭の厚みを再建できる点が最大の利点である(図1)。胸郭前後径が回復することにより、心臓や肺といった胸郭内臓器への圧迫が解除され、運動耐容能の制限が改善することが報告されている(図2)²⁾。

さらに近年、心臓MRIや心エコーを用いた画像評価により、漏斗胸患者において右室流出路の狭小化や吸気時における心室壁の平坦化など、胸骨陥凹に起因する心臓の形態学的変化および力学的制限が明らかにされている³⁾。これらの所見は、漏斗胸変形が心臓、とくに右心系の拡張や拍出機能に影響を及ぼし得ることを示唆する重要な知見である。



14歳、男。術前斜位像 17歳時。バー抜去後8か月

図1 漏斗胸術前後での胸郭形態の変化

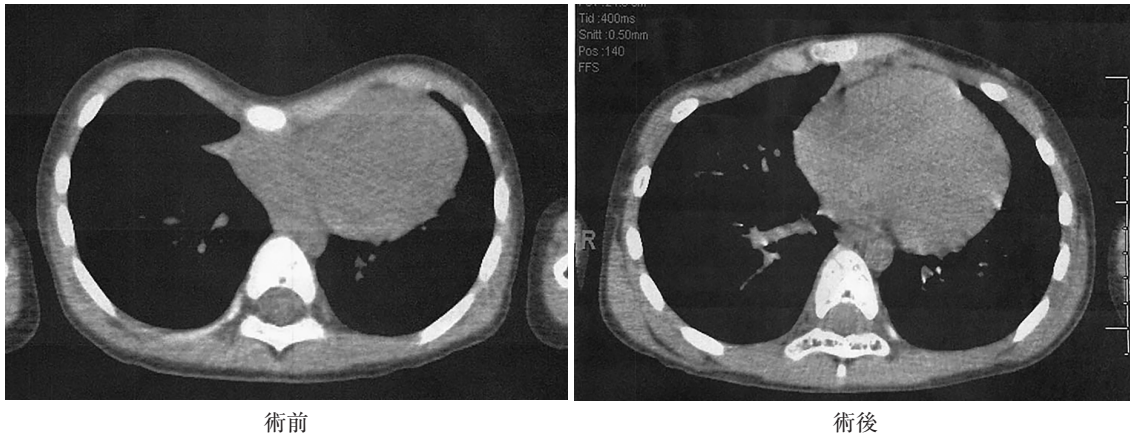


図2 漏斗胸術前後での心臓形態の変化

以上より、現在では漏斗胸は単なる胸部の形態異常としてではなく、心臓や肺といった胸郭内臓器の圧迫や可動性制限を伴う機能的障害を有する疾患として認識されるようになってきている。

Ⅲ Nuss 法の術式進化と安全対策

低侵襲手術として広く認識されている一方で、Nuss 法には重篤な合併症として心臓損傷のリスクが指摘されてきた。胸腔鏡の併用は一定の有用性を有するものの、そのみでは十分な安全性を担保できず、より確実な術野確保の方法が模索されてきた。この状況を大きく転換させたのが、Park により報告された crane technique である⁴⁾。同手技は、ベッドサイドに固定した支柱を介して胸骨裏面に牽引フックを掛け、前胸郭を挙上することで安全な視野を確保する方法である。この手技の導入により、胸骨裏面の剝離操作における安全性が飛躍的に向上するとともに、再建後に目標とする胸郭位置を術前・術中に確認できるようになった。その結果、バーの成形や配置を含めた治療の精度向上が可能となった。

一方、Nuss 法におけるもう一つの重要な課題として、治療の至適時期が挙げられる。当初は6～12歳頃が適応年齢とされていたが、思春期前に施行された症例において、成長に伴う再発が多いことから、同時期での治療がリスク因子となり得ることが報告されるようになり、治療時期は12～15歳頃へと大きくシフトした。Nuss 法では、入院を含め社会生活への復帰までに約3週を要し、さらにバー偏位の高リスクな術後3～4か月間は運動制限が必要となる。とくに本邦では、これらの期間が受験などの重要なライフイベントと重なる点が臨床上的大きな課題であった。

こうした背景を踏まえ、早期治療の可能性を検討するため、我々は胸郭形態の維持に寄与する構造要素に関する研究を行ってきた。その結果、胸骨尾側端を支持し胸郭前後径を維持する基本構造として下部肋軟骨縁が重要な役割を果たすことを明らかにし、同部を再建するための手技について報告した⁵⁾。さらに同時期に cross-bar technique が報告され、この術式を取り入れることで下部肋軟骨縁の挙上および安定化が可能となった。これらの手技を組み込んだシミュレーション研究により、下部肋軟骨縁の再建が成長に伴う再発防止に有用であることが示唆された (Hasegawa W, Noguchi M: <https://www.synopsys.com/simpleware/resources/case-studies/thumbs.html>, 2022)。

加えて、思春期前に治療を行った群と12歳以降に治療を行った群を対象に、バー抜去後の胸郭形態を比較検討した。その結果、バー抜去前後における形態変化量に両群間で有意差は認められなかった一方、胸郭前後径(胸郭の厚み)は思春期前治療群において有意に大きいことが確認された。これらの結果は現在投稿中である。

以上の進展により、Nuss 法は単なる陥凹矯正術から、胸郭前後径を再建し胸郭の厚みを獲得することで機能的改善を目指す治療へと発展し、漏斗胸治療の概念そのものを大きく変化させた。

Ⅳ おわりに

Nuss 法の登場により大きく変遷してきた漏斗胸治療について、本稿ではとくに至適治療年齢を中心にその概要を述べてきた。一方で近年では、これまで慎重に扱われてきた成人例に対する治療が改めて検討されるようになってきている。成人症例では、不整脈や心悸亢

進などの症状を有する例が少なくなく、治療にあたっては胸郭前後径を確実に獲得することがより重要となる。可塑性の低下した胸郭組織を挙上する目的で、従来の治療法である Ravitch 法を併用した術式が応用されている。

また、Nuss 法における課題の一つであった術後疼痛に対しても、近年大きな進歩がみられている。N₂O ガス（亜酸化窒素）を用いて冷却したハンドピースに

より、胸腔鏡下に肋間神経を一時的に冷凍する鎮痛法が導入され、入院期間の短縮や術後オピオイド使用量の減少が報告されている。本邦を除く多くの地域では、本手技はすでに標準的な疼痛管理法として導入され、患者 QOL の向上に大きく寄与している。著者らは本手技の国内導入にも取り組んできたが、現在は厚生労働省との協議を継続している。

文 献

- 1) 野口昌彦, 近藤昭二, 両角智子: Nuss 法のメカニズムと至適手術時期. 形成外科 50: 381-390, 2007
 - 2) Jaroszewski DE, Velazco CS, Pulivarthi V, et al: Cardiopulmonary function in thoracic wall deformities: what do we really know? Eur J Pediatr Surg 28: 327-346, 2018
 - 3) Gaston A, Ignacio M, Alejandro D, et al: Impact of pectus excavatum on cardiac morphology and function according to the site of maximum compression: effect of physical exertion and respiratory cycle. Eur Heart J Cardiovasc Imaging 21: 77-84, 2020
 - 4) Park HJ, Rim G, Yoon SK: Crane-powered pectus excavatum repair: the NeoPectus surgery. Front Surg 1-7, 2023
 - 5) Noguchi M, Kondoh S, Fujita K: A simple and safe technique for manipulation of retrosternal dissection in the Nuss procedure. Eplasty 14: e8, 2014
-