

# 计算机辅助手术系统(Hisense CAS) 在小儿漏斗胸NUSS术中的应用

石佳宁<sup>1</sup>, 王菲菲<sup>2</sup>, 李富江<sup>1</sup>, 周显军<sup>1</sup>, 段于河<sup>1</sup>, 董 蓓<sup>1,2\*</sup>, 邢茂青<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>青岛大学附属医院小儿外科, 山东 青岛

<sup>2</sup>山东省数字医学与计算机辅助外科重点实验室, 山东 青岛

收稿日期: 2024年1月29日; 录用日期: 2024年2月23日; 发布日期: 2024年2月29日

## 摘 要

目的: 探讨海信计算机辅助手术系统(Hisense CAS)在小儿漏斗胸NUSS术中的应用及临床意义。方法: 收集2019年1月至2023年10月青岛大学医学院附属医院收治的42例不对称漏斗胸患儿的临床资料, 按照手术方式的不同将患儿分为CAS手术组(n = 21, 应用CAS系统对其胸部CT数据进行三维重建)与常规手术组(n = 21, 未应用CAS系统指导手术)。对比分析两组手术效果。结果: 两组年龄、性别、术中出血量[(5.5 ± 1.4) ml vs (5.8 ± 1.7) ml]差异无统计学意义(P > 0.05)。CAS手术组与常规手术组手术时间[(44.2 ± 3.3) min vs (52.1 ± 7.3) min, P = 0.01]、手术优良率[(90.48%) vs (76.20%), P = 0.02]、术后并发症发生率[(4.76%) vs (28.57%), P = 0.04]差异均有统计学意义。结论: CAS系统有助于提高小儿外科医生对患儿个体胸壁及心肺解剖的认识, 辅助设计NUSS手术个性化方案, 可提高手术的准确性、安全性, 减少手术时间, 降低术后并发症, 提高手术满意度, 具有较高的临床应用价值。

## 关键词

计算机辅助手术系统, 不对称漏斗胸, 儿童, NUSS手术

# Computer Aided Surgery System (Hisense CAS) Application in NUSS Operation of Infundibular Chest in Children

Jianing Shi<sup>1</sup>, Feifei Wang<sup>2</sup>, Fujiang Li<sup>1</sup>, Xianjun Zhou<sup>1</sup>, Yuhe Duan<sup>1</sup>, Qian Dong<sup>1,2\*</sup>, Maoqing Xing<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Pediatric Surgery, Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao Shandong

<sup>2</sup>Shandong Key Laboratory of Digital Medicine and Computer-Assisted Surgery, Qingdao Shandong

\*通讯作者。

文章引用: 石佳宁, 王菲菲, 李富江, 周显军, 段于河, 董蓓, 邢茂青. 计算机辅助手术系统(Hisense CAS)在小儿漏斗胸 NUSS 术中的应用[J]. 临床医学进展, 2024, 14(2): 3970-3978. DOI: 10.12677/acm.2024.142553

## Abstract

**Objective:** To investigate the application and clinical significance of Hisense CAS in NUSS of infundibular chest in children. **Methods:** Clinical data of 42 children with asymmetric infundibular chest admitted to the Affiliated Hospital of Qingdao University Medical College from January 2019 to October 2023 were collected. According to different surgical methods, the children were divided into CAS surgery group (n = 21, three-dimensional reconstruction of chest CT data was performed by CAS system) and conventional surgery group (n = 21, the CAS system was not used to guide surgery). The operation effect of the two groups was compared and analyzed. **Results:** There was no significant difference in age, gender and intraoperative blood loss [(5.5 ± 1.4) ml vs (5.8 ± 1.7) ml] between the two groups (P > 0.05). Operation time [(44.2 ± 3.3) min vs (52.1 ± 7.3) min, P = 0.01], surgical excellence rate [(90.48%) vs (76.20%), P = 0.02], incidence of postoperative complications [(4.76%) vs (28.57%) between CAS surgery group and conventional surgery group, P = 0.04]. The differences were statistically significant. **Conclusion:** CAS system is helpful for pediatric surgeons to improve their understanding of the chest wall and cardiopulmonary anatomy of individual children, and assist in the design of NUSS surgical personalized plan, which can improve the accuracy and safety of surgery, reduce the operation time, reduce postoperative complications, and improve the satisfaction of surgery, and has high clinical application value.

## Keywords

Computer Aided Surgery System, Asymmetrical Funnel Chest, Children, NUSS Operation

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

小儿漏斗胸是一种临床上较为常见的胸廓畸形疾病，其特征为胸骨中下段及其相连肋骨、肋软骨呈漏斗状凹陷，故常称为漏斗胸[1]。其发病机制仍不明确，可能与家族史有关[2]。前微创漏斗胸修复术(NUSS手术)因手术切口小，不需切断肋软骨和胸骨，对儿童生长发育影响较小而成为小儿外科医生手术的首选方式[3]。目前认为 Nuss 手术适用于胸廓对称凹陷的患者。不对称型 PE 在矫正时，需要符合胸廓畸形特点相应的钢板，钢板长度和弧度可影响 Nuss 手术效果[4]。目前对漏斗胸的治疗提倡个性化治疗，即根据患者病情决定相应的手术治疗策略。个性化治疗原则在一定程度上使得手术策略的制定取决于医生的经验，而缺乏对一般标准的参考[5]。海信计算机辅助外科手术是一种新的外科手术概念，指利用计算机技术进行个性化手术前规划，并指导或辅助进行手术[6]。本研究旨在对 2019 年 1 月至 2023 年 10 月青岛大学附属医院收治的不对称漏斗胸患儿临床资料进行对比分析，探讨 CAS 在小儿漏斗胸 NUSS 术中应用的临床价值。

## 2. 资料和方法

### 2.1. 一般资料

本研究为回顾性研究，以 2019 年 1 月至 2022 年 10 月于青岛大学附属医院就诊的不对称漏斗胸患儿

为研究对象。纳入标准：1) 不对称漏斗胸且 Haller 指数比值大于 3.2；2) 已配合完成胸部 CT 检查；3) 无慢性呼吸系统疾病及其他肺部合并症。4) 术前均行血常规、尿常规、肝肾功能、凝血功能、血型、心电图等常规检查，无手术禁忌证；5) 术后随访时间大于 2 月。排除标准：1) 对称性漏斗胸或不对称漏斗胸 Haller 指数比值小于等于 3.2；2) 不能配合完成术前胸部 CT 检查，或报告缺失；3) 存在慢性呼吸系统疾病病史及其他肺部合并症；4) 术前血常规、尿常规、肝肾功能、凝血功能、血型、心电图等常规检查提示手术禁忌；5) 术后随访时间不足 2 月或随访信息丢失。42 例患儿中，男性 37 例，女性 5 例。年龄 3 至 18 岁，平均年龄 14.28 岁。根据手术方式不同，将患儿分为 CAS 手术组及常规手术组，其中 CAS 手术组 21 例，男 18 例，女 3 例；常规手术组 21 例，男 19 例，女 2 例。本研究获得青岛大学附属医院医学伦理委员会批准(QYFY WZLL 28136)，所有患儿家属均知情同意。

## 2.2. 术前检查

胸部 CT 检查所用仪器为 256CT 扫描系统(飞利浦公司 BRILLIANCE ICT 机型，荷兰)。扫描范围从胸廓入口至膈肌水平。扫描参数设置：管电压设置为 120 kV，电流设置为 250 mA，设置层距 0.625 mm，扫描层厚 0.625 mm，旋转时间设置为 0.33 s。

## 2.3. 三维重建

将患儿术前胸部 CT 三维成像检查所扫描的影像信息以医学数字成像和通信(digital imaging and communications in medicine, DICOM)格式存储并导入海信计算机辅助手术系统进行三维重建。步骤如下：1) 胸廓的重建：在横断面视窗中选择骨窗，窗位-400，窗宽 1500，在横断面中胸廓区域绘闭合曲线，标记肋骨及肋软骨，并在冠状面、矢状面不同的断面对其分割，系统自动生成立体的胸廓(图 1)。2) 肺脏的提取：在横断面视窗中肺脏区域选择分割种子点，通过在矢状图中拖拽，调整横断面视窗中 CT 序号，多次选择种子点，启动快速分割算法，分割肺脏，分解结果显示在三维视窗中。系统自动生成立体的左右肺(图 2)。3) 肺内管道信息提取：包括对肺动脉、肺静脉、支气管的信息提取。可通过选取肺内管道

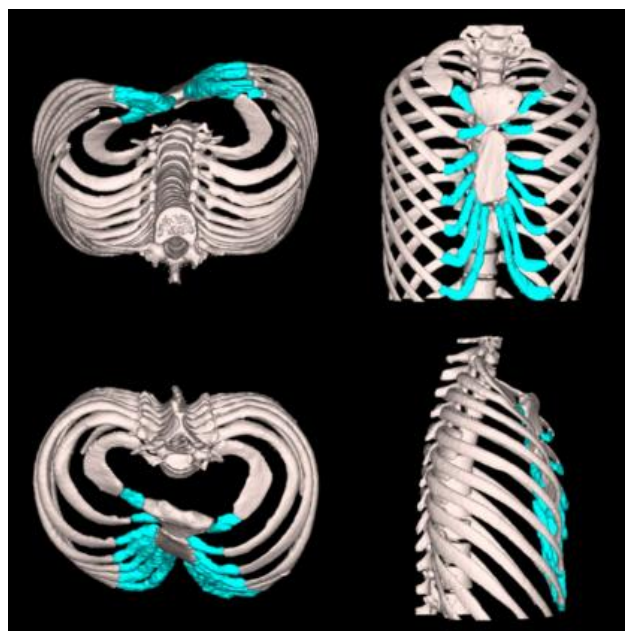
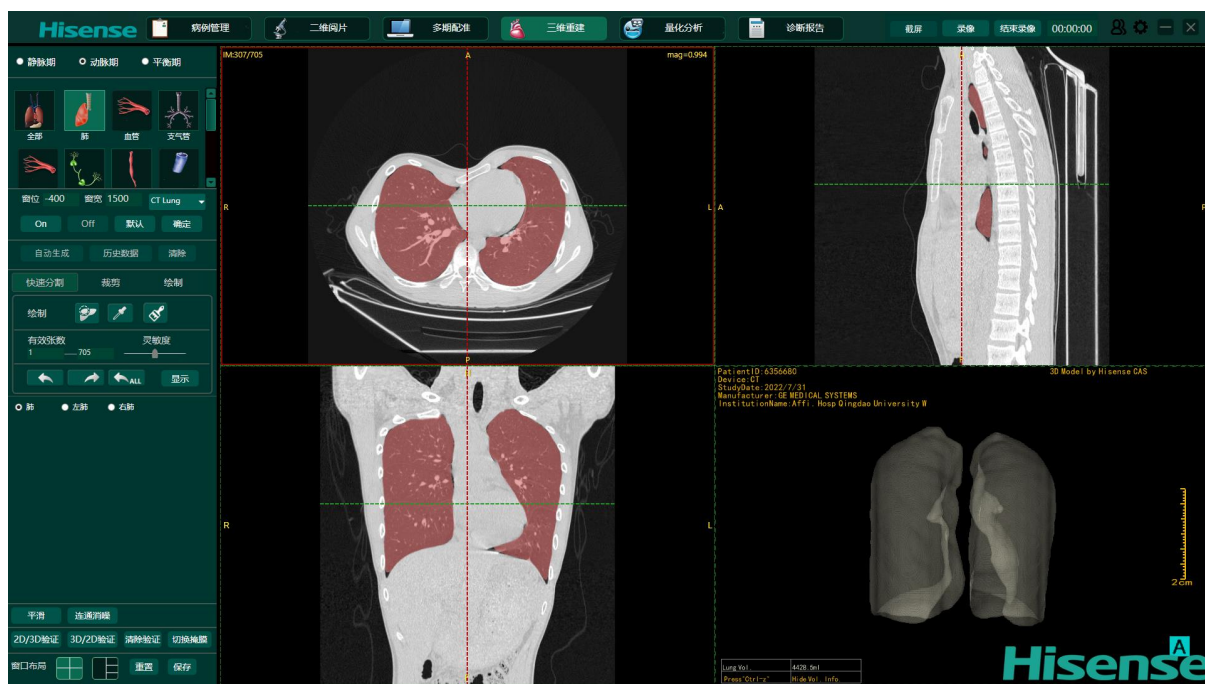


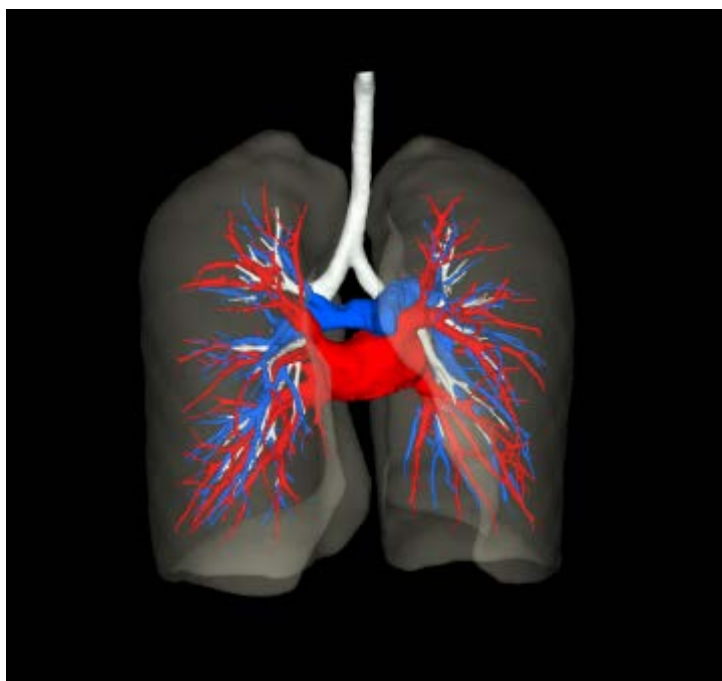
Figure 1. Three-dimensional thoracic reconstruction by CAS  
图 1. CAS 重建的立体胸廓

的标识点, 确定生成血管的范围, 对肺内管道信息自动提取, 通过调节识别敏感度进行调整(图 3)。4) 三维结果整合: 对肺段、支气管、血管、肋骨、肋软骨进行整合, 通过提取与分割胸廓肋骨、肺血管、支气管区域进行三维重建, 可立体、清晰地显示胸肺各脏器空间解剖关系(图 4)。



**Figure 2.** Three-dimensional reconstruction of both lungs using CAS

**图 2.** 使用 CAS 重建立体双肺



**Figure 3.** CAS reconstruction of pulmonary duct

**图 3.** CAS 重建肺内管道

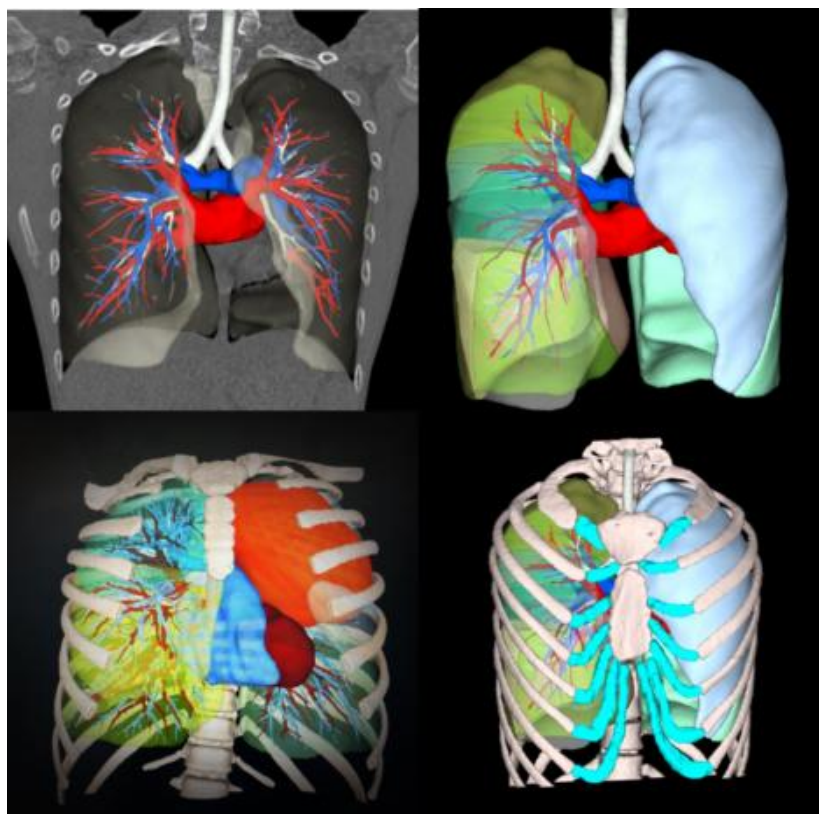


Figure 4. Integration of CAS 3D reconstruction results  
图 4. CAS 三维重建结果整合

#### 2.4. 手术规划及手术方法

常规手术组及 CAS 手术组患儿术前均由术者团队观察二维 CT 影像初步制定手术方案。CAS 组患儿再使用计算机辅助手术系统进行模拟手术，根据胸壁肋骨及胸腔脏器的位置、大小、毗邻关系及血管的走行、分支等空间解剖关系，深度分析手术，对初步制定的手术规划方案进行重新调整，明确手术入路，明确钢板长度和弧度，并使用 CAS 模拟制作个性化钢板(图 5)，修订手术方案。手术方法：两组患儿均取仰卧位，全身麻醉并气管插管，仪器检测生命体征，双上肢外展，碘伏消毒术区范围，铺无菌洞单。常规组患儿术中测量，现场设计 NUSS 钢板曲率，完成钢板制作(图 6)；CAS 组患儿术中以基于 CAS 测量结果的模拟个性化钢板形状为辅助，1:1 复刻钢板弯曲度，完成实际术中 NUSS 钢板的制作。常规组患儿取凹陷最明显处两侧腋前与腋中线之间胸壁，各做一 2~3 cm 横切口切开皮肤、皮下组织；CAS 组患儿术中根据术前手术规划，取预先选定的肋间隙做手术切口，切开皮肤、皮下组织。两组均在胸腔镜直视下，将导向穿透器沿预先选定的肋间隙缓慢向前通过肋骨下凹陷处，在肋骨后越过纵隔至对侧切口穿出，把钢板连到穿透器上。引导钢板凸面朝后拖出胸骨后方。钢板到位后将其翻转 180°，检测患儿生命体征，观察胸骨和前胸壁突起形状，视情况调整钢板曲率。单侧或双侧钢板套入固定器，将固定器缝在肋骨骨膜上，再把固定器与胸壁及钢板缝在一起，关闭切口，手术完成。

#### 2.5. 围术期处理及预后评估

2 组均于术前 30 min 预防性应用抗生素 1 次；术后均予以 24 h 心电监护、血压监测、面罩吸氧，并予常规补液以及消肿止痛等对症支持治疗。嘱患儿术后 2 周内不弯曲、不转动胸腰、不翻滚，术后 4 周

内保持背部挺直，半年内避免剧烈运动。分别于术后1天、2周、4周拍摄胸部正侧位片，观察钢板有无移位及术后恢复情况。出院后2组患儿随访时间均大于4周。

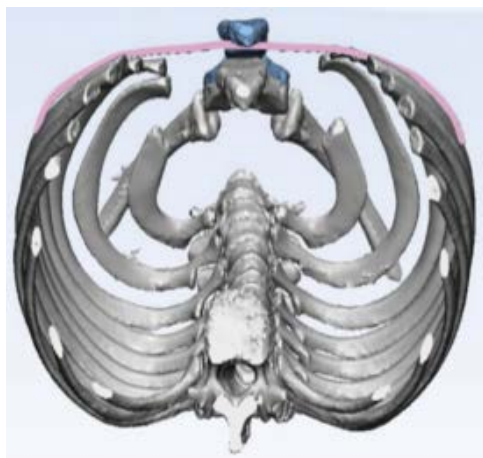


Figure 5. Personalized steel plate made by CAS simulation  
图 5. CAS 模拟制作的个性化钢板



Figure 6. Personalized Nuss plates in actual surgery  
图 6. 实际术中个性化 Nuss 钢板

术中记录手术出血量及手术时间。随访记录并发症发生情况，根据 Nuss 手术效果评定标准[7]评价 Nuss 手术优良率：1) 经 X 线检查胸骨无凹陷；2) 胸廓呈现饱满状态，弹性及伸展性均良好；3) 胸廓外观对称；4) 患儿及其家属均满意。优：符合以上 4 项者；良：符合 3 项；中：符合 2 项；差：0~1 项符合，手术优良率 = (优例数 + 良例数) / 总例数 × 100%。

## 2.6. 统计学分析

采用 SPSS 26.0 进行统计学分析。采用单样本 K-S 检验对所有计量资料进行正态性检验，服从正态分布计量资料采用  $\bar{x} \pm s$  表示，组间比较采用独立样本  $t$  检验或配对  $t$  检验；不服从正态分布的计量资料采用  $M(Q_1, Q_3)$  表示，组间比较采用 Mann-Witney 秩和检验或配对秩和检验。P < 0.05 为差异有统计学意义。

## 3. 结果

对比 CAS 手术组与常规手术组年龄、性别差异无统计学意义(P > 0.05)；CAS 手术组术中出血量[(5.5 ± 1.4) ml]少于常规手术组[(5.8 ± 1.7) ml]，差异无统计学意义(P > 0.05)。CAS 手术组手术时间[(44.2 ± 3.3)

min]短于常规手术组手术时间[(52.1 ± 7.3) min], 差异有统计学意义(P = 0.01); CAS 手术组手术优良率(90.48%)高于常规手术(76.20%), 差异有统计学意义(P = 0.02) (表 1); CAS 手术组术后并发症发生率(4.76%)低于常规手术组(28.57%)差异均有统计学意义(P = 0.04) (表 2)。

**Table 1.** Comparison of excellent and good rate of NUSS operation between the two groups (example)

**表 1.** 两组 NUSS 手术优良率比较(例)

组别	优	良	可	差	优良率(%)
常规手术组(n = 21)	6	10	5	0	76.20
CAS 手术组(n = 21)	11	8	2	0	90.48
$\chi^2$ 值					1.54
P 值					0.02

**Table 2.** Comparison of the incidence of surgical complications between the two groups (example)

**表 2.** 两组手术并发症发生率比较(例)

组别	切口感染	气胸	矫枉过正	钢板移位	并发症发生率(%)
常规手术组(n = 21)	1	2	2	1	28.57
CAS 手术组(n = 21)	1	0	0	0	4.76
$\chi^2$ 值					4.28
P 值					0.04

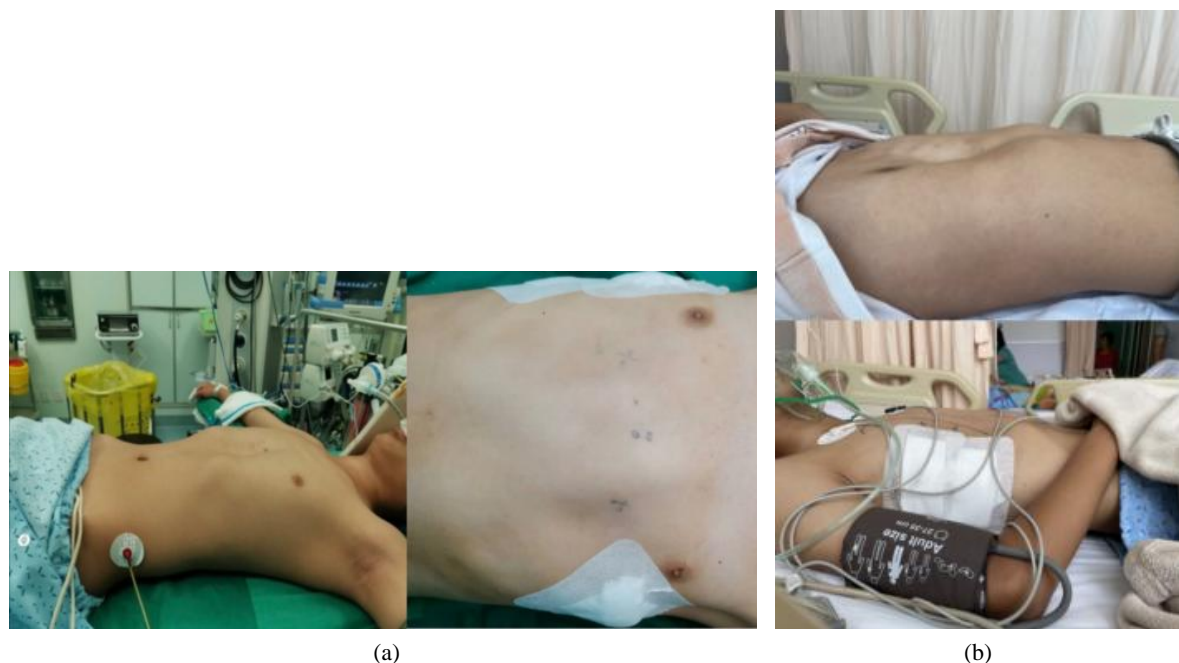
## 4. 讨论

漏斗胸(pectus excavatum, PE)是小儿最常见的胸壁畸形, 约占小儿胸壁畸形的 90%, 其发病率约为 1%~3% [8]。漏斗胸的治疗方式包括手术治疗保守治疗, 漏斗胸的保守治疗方式主要为漏斗胸真空吸引术, 该治疗方式治疗时间长, 对患儿及家属依从性要求较高, 且效果不确切, 未广泛应用[9]。目前微创漏斗胸修复术(NUSS 手术)以其创伤小、并发症少、恢复快等特点成为小儿外科医生手术的首选方式[10]。钢板的长度和弧度是 NUSS 手术成功的主要因素。因 NUSS 钢板走行于胸壁内表面, 且患儿身高、体型各有不同, 故术前测量胸壁外表面得到的数据较实际钢板曲率及长度有偏差。钢板的大小和曲率也通过术中反复插入和翻转胸板的试错来调整。该手术的关键步骤需要有经验的小儿外科医生在手术中弯曲合适的钢板, 并选择正确的肋间隙插入。当胸壁畸形较严重时, 小儿外科医生很难满意地执行这些手术, 这是儿童漏斗胸 NUSS 手术的难点和潜在的危险。目前 Nuss 术植入钢板难以实现精准化、个体化治疗, 术后远期疗效不确切[11]。因此, 如何提高 Nuss 术中钢板塑形的精确度、术前预期手术效果, 降低患者并发症的发生率, 已成为漏斗胸治疗领域的热点。

早年 Papp 等人通过对 199 名患者, 利用螺旋 CT 测量漏斗胸内部的曲率, 从而来指导手术获得了良好的效果[12]。但普通薄层 CT 扫描往往难以明确至末端且解剖结构较为复杂的支气管、血管, 特别是漏斗胸患儿肺部解剖结构常常存在变异, 使术前评估及手术难度增加。Kim 等人研发了一种多重图像计算机处理系统, 能够自动测量漏斗胸的畸形程度, 缩短了手术时间, 提高了手术的准确性[13]。但其矫治漏斗胸手术创伤大, 时间长, 风险高、术后并发症多等, 文献报道可高达 21%~67% [14]。近年来金属 3D 打印和可视化重塑软件将传统的 Nuss 漏斗胸手术在技术应用上引入了大量的高科技手段, 方便了医生手术操作, 提高了手术的准确性。但大多可视化重塑软件不能很好的处理螺旋 CT 肋软骨成像的分辨率, 仅能重建肋骨, 使肋软骨重建成为儿童漏斗胸术前胸廓重建的一大难题。3D 打印则需更多的术前准备时

间,消耗更大的人力及财力成本。CAS 能够将 CT 二维平面图像转化成三维立体图像,可以全维度旋转、任意缩放、任意组合,清楚显示胸廓形态、脏器及血管的解剖关系,减少阅读原始 CT 图像评估手术安全性的主观失误[15]。近年来随着数字医学技术的兴起和人体脏器三维可视化技术的临床应用,大大提升了外科手术的精准性和安全性[16]。在“十二五”国家科技支撑计划及青岛市自主创新重大专项支持下,由董蓓教授领衔的团队成功研发海信计算机辅助手术系统[17] (Hisense CAS)该系统拥有完全自主知识产权,为打破国外垄断基础上突破性、创新性产品。其交叉融合 CT 数据三维重建、虚拟仿真、大数据分析等多学科技术,配合手势控制智能显示术中导航,为小儿外科病患提供精准、微创、个性化手术解决方案,促进数字医疗产业的发展。

本研究中,我们对儿童漏斗胸 CAS 手术组与常规手术组进行了比较。CAS 手术组术前在胸部 CT 三维重建的基础上根据患儿胸廓形状进行数字化设计,使医师更直观的了解患儿畸形情况,对胸廓及心肺空间解剖关系进行分析,预见术中钢板行走路线,模拟合适手术入径,规避术中心脏损伤、大出血、气胸等风险,制定个性化的手术方案。术中指导手术医师更准确、快速的调整 Nuss 钢板长度和弯曲度,植入与患儿胸廓形状高度贴合化的钢板。减少了术中反复插入和翻转胸板的试错时间,使手术时间较常规手术组减少。同时降低了手术风险及术后并发症发生率,提高了患儿及家属满意度(图 7)。



**Figure 7.** (a) The patient, a 14-year-old male, presented with chicken breast malformation after overcorrection following routine Nuss surgery; (b) The patient was a 15-year-old male with full thorax, symmetrical appearance and high surgical satisfaction after CAS assisted Nuss

**图 7.** (a) 患儿男, 14 岁, 常规 Nuss 术后矫枉过正出现鸡胸畸形; (b) 患儿男, 15 岁, CAS 辅助 Nuss 术后胸廓饱满, 外观对称, 手术满意度高

本研究仍具有一定的局限性,样本量较小,随访期也较短,未能对比分析 2 组患儿取出钢板时间有无差异。虽然如此,本研究结果显示 CAS 不仅可以直观的了解 PE 患者的胸肺解剖结构,还可以提高 Nuss 术中钢板塑形的精确度、降低手术时间、降低患儿并发症的发生率、提高 Nuss 手术优良率,结果相对客观、是可以信赖的。在辅助儿童漏斗胸 Nuss 术中有较理想的指导意义。CAS 可使小儿胸外科向着个性化精准手术迈进。进而推动小儿外科医疗走向个性化、精准化、微创化、远程化[18]。



## 参考文献

- [1] 吴春东. 64 排螺旋 CT 三维重建技术对胸部外伤的诊断价值[J]. 中国社区医师, 2021, 37(15): 128-129.
- [2] 白洁, 闫天生. Nuss 微创手术治疗漏斗胸的现状与进展[J]. 中国微创外科杂志, 2015, 15(8): 752-754.
- [3] 谢亮, 陈刚. Nuss 手术是目前漏斗胸治疗的主流术式[J]. 循证医学, 2014, 14(5): 261-263.
- [4] 王学军, 徐冰, 刘文英, 等. Nuss 微创漏斗胸矫形术后并发症及其处理[J]. 中国修复重建外科杂志, 2009(11): 1343-1346.
- [5] 范晓晓. 大龄儿童漏斗胸手术治疗的个性化策略选择[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2023.
- [6] Dong, Q., Chen, Y.J., Lu, Y., *et al.* (2013) Developments and Clinical Applications of Digital Medicine and Computer-Assisted Operations. *e-Healthcare*, **9**, 58-61.
- [7] Nuss, D., Kelly, R.E., Croitoru, D.P., *et al.* (1998) A 10-Year Review of a Minimally Invasive Technique for the Correction of Pectus Excavatum. *Journal of Pediatric Surgery*, **33**, 545-552. [https://doi.org/10.1016/S0022-3468\(98\)90314-1](https://doi.org/10.1016/S0022-3468(98)90314-1)
- [8] Haller, J.A. and Turner, C.S. (1981) Diagnosis and Operative Management of Chest Wall Deformities in Children. *Surgical Clinics of North America*, **61**, 1199-1207. [https://doi.org/10.1016/S0039-6109\(16\)42541-7](https://doi.org/10.1016/S0039-6109(16)42541-7)
- [9] Kelly Jr., R.E., Obermeyer, R.J., Goretsky, M.J., *et al.* (2022) Recent Modifications of the Nuss Procedure: The Pursuit of Safety during the Minimally Invasive Repair of Pectus Excavatum. *Annals of Surgery*, **275**, e496-e502. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000003877>
- [10] 尚华. CT 量化评估漏斗胸 NUSS 矫形术对胸廓的影响[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 郑州大学, 2020. <https://doi.org/10.27466/d.cnki.gzzdu.2020.003573>
- [11] Anbarasu, C.R., Mehl, S.C., Sun, R.C., *et al.* (2022) Variations in Nuss Procedure Operative Techniques and Complications: A Retrospective Review. *European Journal of Pediatric Surgery*, **32**, 357-362. <https://doi.org/10.1055/s-0041-1735164>
- [12] Papp, L., Juhasz, R., Travar, S., *et al.* (2010) Automatic Detection and Characterization of Funnel Chest Based on Spiral CT. *Journal of X-Ray Science and Technology*, **18**, 137-144. <https://doi.org/10.3233/XST-2010-0249>
- [13] Kim, H.C., Park, H., Nam, K.W., *et al.* (2010) Fully Automatic Initialization Method for Quantitative Assessment of Chest-Wall Deformity in Funnel Chest Patients. *Medical & Biological Engineering & Computing*, **48**, 589-595. <https://doi.org/10.1007/s11517-010-0612-3>
- [14] Scott, E., Fred, R., Karen, W., *et al.* (2000) Is the Grass Greener? Early Results of Nuss Procedure. *Journal of Pediatric Surgery*, **35**, 246-251. [https://doi.org/10.1016/S0022-3468\(00\)90018-6](https://doi.org/10.1016/S0022-3468(00)90018-6)
- [15] 朱荣坤, 张虹, 荆晓英, 怀婵娟, 董蓓, 杨传民. 计算机辅助手术系统在小儿重复肾精准手术中的应用[J]. 临床小儿外科杂志, 2019, 18(2): 118-123.
- [16] Aseni, P., Santaniello, T. and Rizzetto, F. (2021) Hybrid Additive Fabrication of a Transparent Liver with Biosimilar Haptic Response for Preoperative Planning. *Diagnostics (Basel)*, **11**, 1734. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11091734>
- [17] 董蓓, 陈永健, 卢云, 等. 数字医学与计算机辅助手术的发展及临床应用[J]. 中国信息界-e 医疗, 2013(9): 58-61.
- [18] 董蓓, 周显军. 计算机辅助手术系统指导小儿肝脏肿瘤精准手术[J]. 临床小儿外科杂志, 2017, 16(6): 533-536.