·综述·

MSCT 量化评价在小儿漏斗胸诊断中的价值

鲍莉，李军，李学胜 综述 郭应坤 审校

【中图分类号】R725.61；R814.42 【文献标识码】A 【文章编号】1000-0313(2011)09-1012-03

漏斗胸是胸骨、肋软骨及一部分肋骨向脊柱凹陷形成漏斗状的一种畸形，是小儿常见的胸廓发育畸形之一，常见于 15 岁以下的儿童。漏斗胸可因胸骨凹陷直接压迫心脏及肺组织而引起运动后气短、胸痛、心悸、打鼾或易患呼吸道感染等症状，对患儿的身心发育都有较大影响，目前常用的治疗方法主要是手术矫正，治疗前多需术前评价。传统 X 线片其测量方法由于受到摄影体位的限制，提供的资料有限，而 MSCT 扫描可获得各向同性的容积数据，后处理手段多样，可获得三维图像信息，使其在小儿漏斗胸的术前诊断和量化评价中的应用更具优势，现综述如下。

病因和发病机制

目前，漏斗胸的发病原因尚不明确，多考虑先天性。复习国内外文献，其主要发病机制有：膈肌中心腱短缩，呼吸道阻塞，部分前方膈肌肌肉纤维化，胸骨和肋软骨发育障碍，结缔组织异常和遗传因素(11%～37%的患儿有家族史[1-3])。

由于下纵隔的前方是胸骨柄和胸骨体，后方是胸椎体，其空间相对固定，当胸骨凹陷时，可导致该空间容积减少，导致气道和心脏与相邻结构的解剖关系发生改变。漏斗胸下份胸廓畸形，间接影响了气道的通气功能，进一步引起左肺下叶基底干血管和支气管受压，一方面可引起该区域的肺含气不良，另一方面可导致支气管引流不畅，出现肺部炎症[4]。胸骨凹陷直接压迫心脏，常导致右心室受压、心肌缺血，引起相应的心电异常，主要表现为不完全右束支传导阻滞。小龄儿漏斗胸畸形常呈对称性，随着年龄的增长可出现非对称性并伴有胸骨的旋转，若漏斗胸未能及时治疗，胸廓畸形将呈进行性加重，成年后将出现自发性气胸、肺气肿、脊柱侧弯畸形等并发症。

临床分度及处理方式

漏斗胸的分度现多采用和田寿郎的分类方法[3]：Ⅰ度，胸骨凹陷轻微，无功能障碍，无需手术治疗；Ⅱ度，胸骨凹陷较重，有心肺压迫症状；Ⅲ度，胸骨重度凹陷，有明显的心肺压迫症状；Ⅳ度，胸骨严重凹陷，胸骨与胸椎非常接近。漏斗胸的治疗方法主要是手术矫正，3～6 岁为最佳手术时期[1]。手术方式很多，传统术式主要有：胸骨翻转术和胸骨上举术以及以上述 2 种术式为基础的改良术式，但近年来多以微创手术为主要治疗方法，如 Nuss 手术[5-7]。大部分学者认为，微创 Nuss 矫治手术是目前矫正漏斗胸的最佳手术方式，具有切口小而隐蔽，不用广泛剥离肌肉，不用切断胸肋骨，创伤小，手术时间短，术中几乎无出血，并发症少，手术安全，塑型美观等优点。Nuss 矫治手术有利于胸壁长期保持伸展性、扩张性、柔韧性和弹性，疗效可靠，已逐渐取代其他手术方法[8]。

影像学评价方法及量化指标

1. 胸部 X 线片在漏斗胸诊断中的应用

X 线片表现：X 线后前位照片可见肋骨的后部平直，前部向前下方急剧倾斜下降，心影多向左侧胸腔移位，心影的中部有一个明显的放射线半透明区，右心缘常与脊柱重叠，个别严重的患者心影可以完全位于左胸腔内，年龄较大的患者脊柱多有侧弯。胸部侧位显示胸骨体明显向后弯曲，胸骨下端呈特征性凹陷，有的胸骨下端可以抵达脊柱前缘，胸廓前后径明显缩短。

X 线片量化评价方法：正侧位胸部 X 线片是过去术前量化评价漏斗胸畸形程度的常用方法，通过测定胸廓横径与胸骨最凹陷后缘与椎体前缘距离的比值判断胸骨的凹陷程度，以及测定左右心缘横径比值判断心脏的推移情况[4]。在平片测量中被广为接受的一个指数是漏斗指数(FI)，$FI=(a\times b\times c)/(A\times B\times C)$，a 为漏斗胸凹陷部的纵径，b 为凹陷部的横径，c 为凹陷部的深度，A 为胸骨的长度，B 为胸廓的横径，C 为胸肌角至椎体的最短距离。可用 FI 判断漏斗胸凹陷程度：$FI>0.3$ 为重度，$0.2<FI<0.3$ 为中度，$FI<0.2$ 为轻度。

2. MSCT 在漏斗胸诊断中的应用

螺旋 CT 表现：漏斗胸的骨性胸廓改变在 CT 横断面上下份胸廓呈类似哑铃状表现，同时可伴有胸骨的倾斜，部分患者与胸骨相连接的肋软骨可呈不对称膨大，使两侧胸腔的形态、大小均不对称。在 CT 纵隔窗上可观察胸骨的凹陷程度，心脏受压移位情况，在肺窗上可观察肺内发育情况和有无其他病变。利用螺旋 CT 的三维重组技术，能够清晰、立体显示胸骨凹陷部位和程度，确定肋骨和肋软骨的位置以及它们与胸骨的关系。

MSCT 量化评价方法：在 MSCT 横断面图像上，可测量胸骨凹陷深度、CT 凹陷指数、胸廓指数(Haller index，HI)、心脏旋转角度、下肺静脉角(PV)、胸骨凹陷角度、FSI 指数(frontos-agittal index，FSI)、脊椎指数(vertebral index，VI)、胸部扁平度指数和不对称指数等量化指标评价漏斗胸的畸形程度及其对心脏的影响[4,9-11](图 1)。

胸骨凹陷深度(d)：在胸骨最凹平面，前胸壁最凸点与胸骨最凹点的垂直距离。

CT 凹陷指数(b/a)：在胸骨最凹陷平面，左胸矢状内径(b)与胸骨后缘至椎体前缘距离(a)的比值。根据 CT 凹陷指数＜2.4、2.4～2.9 和＞3.0 分别划分为轻、中、重度胸骨凹陷。另外，在小儿漏斗胸外科手术治疗前后的 CT 检查比较和分析中，CT 凹陷指数可以客观评价手术后胸骨抬升的程度[12]。

胸廓指数(c/a)：胸部最大内横径(c)与同层面胸骨后缘至椎体前缘距离(a)的比值，是公认的评价胸骨凹陷程度的最佳指标。一般认为，在CT检查测得Haller指数大于3.25，患儿

作者单位：610041 成都，四川大学华西第二医院放射科
作者简介：鲍莉(1982－)，女，辽宁营口人，技师，主要从事放射影像技术工作。
通讯作者：李军，E-mail：heppy_1105@sina.com

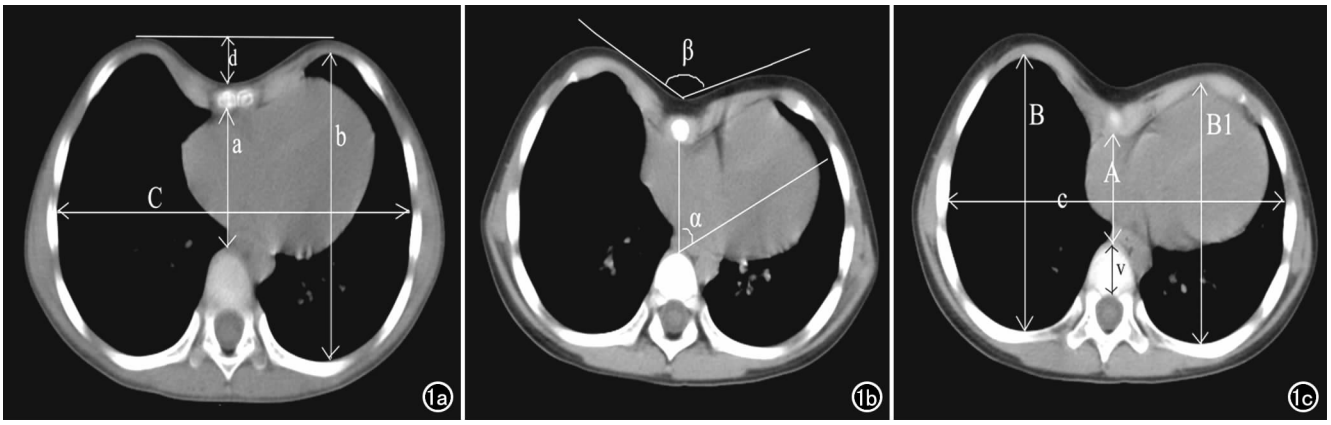

图 1　a) 胸骨凹陷深度(d)、CT 凹陷指数(b/a)、胸廓指数(c/a)；b) 心脏旋转角度(α)和胸骨凹陷角度(β)；c) FSI 指数(A/C * 100)、脊椎指数(V/(V+A) * 100)、胸部扁平度指数(2C/(B+B1))和不对称指数(1−(B/B1))。

伴有肺部和心脏其他并发症时，应采取外科手术治疗[8]。

心脏旋转角度(α)：在心尖平面，椎体前缘矢状线与椎体前缘至心尖连线的夹角，评价心脏旋转程度。胸骨凹陷直接影响心脏向左旋转，两者之间存在正相关；此外，Haller 指数增加，心脏旋转角也增大，两者间呈正相关。

下肺静脉角(PV 角)：左下肺静脉干与胸矢状线的夹角，反映心脏旋转。

胸骨凹陷角度(β)：在胸骨最凹平面，两侧前胸壁最凸点分别与胸骨最凹点连线间的夹角。凹陷角度越小意味着胸骨凹陷深度越大，但测量凹陷角度可能由于人为因素而影响测量的准确性。

FSI 和 VI：FSI＝A/C ×100，VI＝V/(V＋A)×100，式中：A 为胸骨胸椎距离，C 为胸廓最大横径，V 为胸椎正中失状长度(各数值均在胸骨最凹陷层面测得)，它们是评价漏斗胸严重程度的指标，与 HI 有相关性。当计算得 VI≥30，FSI≤30 和 HI≥3.3 时，漏斗胸变形指数被认定为高；如果 VI＜30，FSI＞30

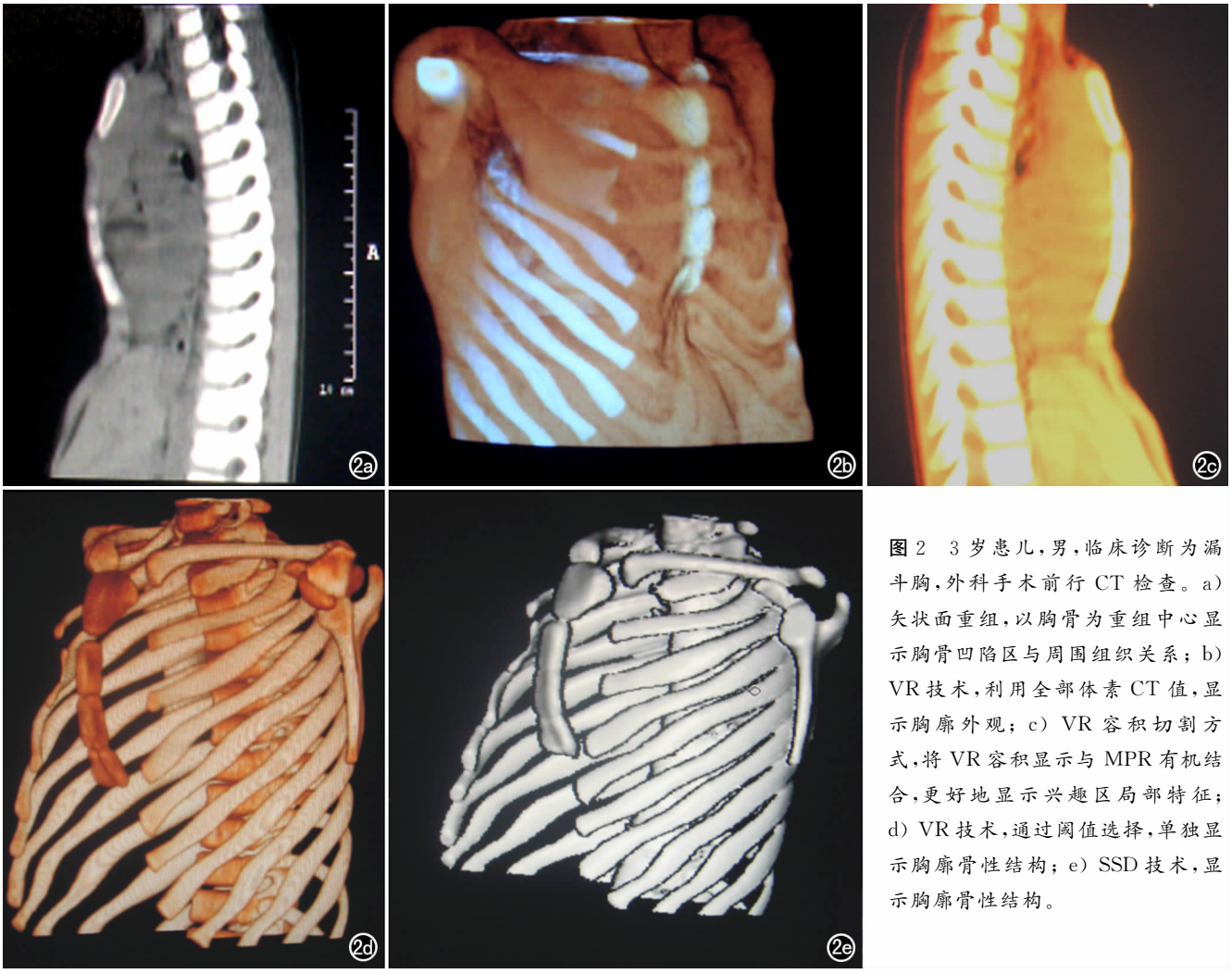

图 2　3 岁患儿，男，临床诊断为漏斗胸，外科手术前行 CT 检查。a) 矢状面重组，以胸骨为重组中心显示胸骨凹陷区与周围组织关系；b) VR 技术，利用全部体素 CT 值，显示胸廓外观；c) VR 容积切割方式，将 VR 容积显示与 MPR 有机结合，更好地显示兴趣区局部特征；d) VR 技术，通过阈值选择，单独显示胸廓骨性结构；e) SSD 技术，显示胸廓骨性结构。

和 HI<3.3，变形指数被认定为低。如果指数均被认定为低，该患儿畸形程度被定为中等，或者三个指数中至少一个指数被认定为高，该患儿被归为严重畸形。

胸部扁平度指数和不对称指数：主要作为漏斗胸测量的一些补充数据。胸部扁平度指数＝2C/(B＋B1)，不对称指数＝1－(B/B1)，C 为在胸骨最凹平面测量的胸廓最大横径、B 为右胸失状径、B1 为左胸失状径。计算所得胸部扁平指数若小于 2，胸部被认定为扁平，等于或大于 2 则被认定为正常。不对称指数＞0.05 或者＜－0.05，胸廓被认定为不对称。

3. MSCT 三维后处理技术在小儿漏斗胸显示中的应用

多层螺旋 CT 的开发，使得亚秒级的球管旋转时间成为可能，这尤其有利于小儿患者的检查。大多数检查在 10s 内就可完成，使每次检查只依赖于患者的最小限度配合，甚至可以排除小儿患者镇静的需要。同时，也使得一次采集即可满足多种后处理方式的需要，采用亚毫米、真正的各向同性容积数据采集方式，使得 3D 容积图像评估小儿骨骼肌肉系统疾病得以发展[13]。

综合文献报道，3D-CT 图像可以显示病变细节并有利于复杂病例的分析，通常被用于外科手术计划的指导。常用的 3D 图像有多平面重组技术(multiplannar reformation，MPR)、容积再现技术(volume rendering，VR)和表面遮盖显示技术(shaded surface display，SSD)。对于一般的骨骼显示，VR 为首选，它利用全部体素的 CT 值，行表面遮盖技术并与旋转相结合，加上伪彩色编码和不同程度的透明技术，指定不同的颜色和阻光度，使表面与深部结构同时立体显示，多种阈值选择的显示方式，不仅可以显示胸廓骨性结构，还可显示多种组织模式及整体胸部外观(图 2)。SSD 在进行 3D 图像重组时只用了一部分数据，有阈值选择显示的限制[13,14]。此外，3D 图像直观逼真的显示方式，不仅可用于外科指导，在医患交流时，也有利于患者理解自己的疾病，这对于外科手术的制定和实施是必须的。

综上所述，一般无症状的漏斗胸患者，如果不需要手术治疗，可采用 X 线片评价，可避免额外的辐射损伤，但 X 线片不能提供全面精确的量化指标。对于有严重畸形或者初次修复不成功的漏斗胸患者，CT 测量数据和 3D 后处理技术，对外科手术方案的确定和手术时间的选择有重要价值。同时，新型的 MSCT 计算机硬件和软件系统都更加看重剂量的问题，在提高探测器利用率的同时，新的自动曝光调节和实时剂量控制技术的开发降低了 X 线辐射剂量[15-17]。应用多种测量参数进行漏斗胸患儿的畸形程度的综合评价，采用有效的容积后处理技术，有利于漏斗胸患者儿的外科术前指导和术后评估。

参考文献：

[1] Daunt SW, Cohen JH, Miller SF. Age-related normal ranges for the Haller index in children[J]. Pediatr Radiol, 2004, 34(1): 326.

[2] 冯杰雄，胡廷泽. 漏斗胸病因学研究[J]. 中华小儿外科杂志，2002，23(2)：172-173.

[3] 杨东元，保阪善昭，原口和久，等. 日本和欧美漏斗胸诊疗进展[J]. 中华整形外科杂志，2003，19(2)：142.

[4] 余建群，杨志刚，李真林，等. 漏斗胸畸形程度对心脏形态和位置等影响的螺旋 CT 评价[J]. 中华放射学杂志，2004，38(7)：697.

[5] 余松，胡月光，方勇，等. 漏斗胸手术方式的选择[J]. 中华小儿外科杂志，2005，26(8)：404.

[6] 高亚，李恭才. 漏斗胸的微创手术矫正治疗现状[J]. 中华小儿外科杂志，2005，26(8)：431.

[7] Croitoru DP, Kelly RE, Goretsky MJ, et al. Experience and modification update for the minimally invasive Nuss technique for pectus ex-cavatum repair in 303 patients[J]. J Pediatr Surg, 2002, 37(3): 437.

[8] 段贤伦，曾骐. 微创 Nuss 手术治疗小儿漏斗胸[J]. 临床小儿外科杂志，2008，7(1)：77.

[9] 陈桦，金科，肖怀春，等. 螺旋 CT 在儿童漏斗胸中的应用[J]. 实用放射学杂志，2006，22(3)：338.

[10] 孙泓泓，赵暹，白芝兰，等. 螺旋 CT 在漏斗胸中的应用价值[J]. 实用放射学杂志，2007，23(9)：1183.

[11] Kilda A, Basevicius A, Barauskas V, et al. Radiological assessment of children with pectus excavatum[J]. Indian J Pediatr, 2007, 74(2): 143.

[12] Nakagawa Y, Uemura S, Nakaoka T, et al. Evaluation of the Nuss procedure using pre- and postoperative computed tomographic index[J]. J Pediatr Surg, 2008, 43(3): 518.

[13] Fayad LM, Johnson P, Fishman EK. Multidetector CT of musculoskeletal disease in the pediatric patient: principles, techniques, and clinical applications[J]. Radio Graphics, 2005, 25(3): 603.

[14] 于兹喜，田富强，承益清. 医学影像检查技术学[M]. 北京：人民卫生出版社，2003. 181.

[15] Frush DP, Donnelly LF, Rosen NS. Computed tomography and radiation risks: what pediatric health care providers should know[J]. Pediatrics, 2003, 112(4): 951-957.

[16] Boone JM, Geraghty EM, Seibert JA, et al. Dose reduction in pediatric CT: a rational approach[J]. Radiology, 2003, 228(2): 352.

[17] Greess H, Nomayr A, Wolf H, et al. Dose reduction in CT examination of children by an attenuationbased on-line modulation of tube current (CARE Dose)[J]. Eur Radiol, 2002, 12(6): 1571.

(收稿日期：2010-07-07 修回日期：2010-09-02)