# ·儿科影像学专题

# 多层螺旋 CT 评估儿童正常气管大小

欧阳荣珍,钟玉敏,孙爱敏,王谦,顾晓红,朱铭,邱海嵊

【摘要】目的:建立国内儿童气道直径正常参照值。方法:搜集在本院行胸部多层螺旋 CT(MSCT)检查的 360 例患 者,按体重分为 6 组,在 CT 横轴面图像 4 个部位(C<sub>6</sub> 下缘、T<sub>1</sub> 下缘、T<sub>2</sub> 下缘、T<sub>3</sub> 下缘)测量气管直径大小,并进行统计学 分析。使用本院常规 CT 扫描参数(120 kVp,100 mA)及在其他扫描参数固定不变的情况下随机选用管电流 20、50 和 80 mA进行扫描。结果:体重与气管直径大小的关系最为密切,可得出体重、体重的平方、体重的立方与各水平气管直径的 回归方程;气管直径大小自上而下略有增加,差异有统计学意义(P<0.05);使用较低的扫描参数(120 kVp,20 mA)可以 明显降低容积剂量指数,图像基本能够满足诊断需求。结论:本研究结果为气道狭窄的诊断、手术气管插管及气道狭窄手 术指征提供了依据。

【关键词】 儿童; 气道; 体层摄影术,X 线计算机; 辐射剂量

【中图分类号】R562.1; R814.42 【文献标识码】A 【文章编号】1000-0313(2013)09-0233-04

Measurement of tracheal size in children by using multi-slice computed tomography OUYANG Rong-zhen, ZHONG Yu-min, SUN Ai-min, et al. Department of Radiology, Shanghai Children's Medical Center, Shanghai Jiaotong University School of Medicine, Shanghai 200127, P. R. China

**[Abstract]** Objective: To establish a reference of normal tracheal size in chinese children. Methods: 360 cases undergone chest MSCT at our hospital were collected. They were classified into 6 groups by body weight. Tracheal width was measured at four levels on CT transverse section images and analyzed by statistical method. The conventional scanning parameter (120kVp,100mA) was used and the tube current (20mA,50mA,80mA) was changed randomly while other parameters were setting. **Results**: Body weight was the most effective parameter for predicting the transverse diameter of the trachea among all the parameters in this study; the regression formulas of the trachea diameter at four levels could be calculated by weight, square of weight, and cube of weight. The transverse diameter of the trachea changed a little from cervical region to area and the difference was statistically significant (P < 0.05). The volume computed tomography dose index (CTDIvol, mGy) could be reduced significantly when the lower scanning parameter of 120kVp/20mA was used, which could provide sufficient diagnostic information. **Conclusion**: This study offers appropriate information for the diagnosis of tracheal stenosis, indication for tracheal intubation and surgical indication for tracheal stenosis.

[Key words] Children; Trachea; Tomography, X-ray computed; Radiation dose

儿童先天性心脏病合并气道狭窄的发生率很高<sup>[1-3]</sup>,且所致的临床症状往往较重,治疗非常棘手。 儿童气道狭窄的原因包括先天性和继发性<sup>[3-4]</sup>,先天性 气道狭窄是由于胚胎发育过程中气管软骨环等结构异 常所致。后天性气道狭窄相对多见,主要是由血管性 因素和非血管性因素引起,血管性因素如血管环、左肺 动脉吊带、右弓迷走左锁骨下动脉、无名动脉压迫、肺 动脉过度扩张(肺动脉瓣缺如、严重的肺高压)、心腔过 度扩张等;非血管性因素主要包括先心病术后保留气 管插管、纵膈原发或继发良恶性肿瘤、各种感染所致纵 膈淋巴结增大及粘多糖等遗传代谢性疾病。气道狭窄 分为局限性狭窄和均匀性狭窄,局限性狭窄一般不易 漏诊,均匀性狭窄因缺乏气道正常参照值作参照常导 致判断较为困难。多层螺旋 CT 作为非侵入性的影像 检查方法能够同时清晰显示气道及肺实质,是胸部疾 病的主要检查方法。本研究应用多层螺旋 CT 测量儿 童气管直径的大小并作相关性分析,旨在建立国内不 同体重儿童气管直径正常参照值,为气道狭窄的诊断、 手术气管插管及气道狭窄手术指征提供依据。

#### 材料与方法

#### 1. 病例资料

搜集 2012 年 11 月一2013 年 3 月在本院行胸部 MSCT 平扫和/或增强扫描的病例 1200 例,根据排除 标准共 360 例纳入本组研究,其中男 215 例,女 145 例,年龄 2d~16 岁,中位年龄 3 岁,体重 3~60 kg (17.3±10.0kg),按体重分为 6 组(表 1)。每例病例 检查都经过患儿监护人的知情同意。排除标准为:反 复发生的呼吸道感染、喘息或喘鸣,纵膈淋巴结增大, 纵膈原发或继发良、恶性肿瘤,患有任何先天性心脏 病,轴面平扫、最小密度投影(MinIP)重组图上或气道 三维重组图像上可见气管狭窄或软化,横轴面上气管 形态大部分不规则,有胸部手术史、气管切开史、气管

作者单位:200127 上海,上海交通大学医学院附属上海儿童医学 中心放射科 作者简介:欧阳荣珍(1986-),女,江西高安人,硕士研究生,主要 从事儿童影像诊断工作。

外科手术史,有颈部损伤史。本次研究病例疾病谱主 要为:初发的呼吸道感染,临床怀疑气道异物而不存在 异物者,朗格汉斯细胞组织增生症(Langerhan's cell histiocytosis,LCH),外伤,颈胸部以外的肿瘤,结缔组 织性疾病,胆道闭锁等。

表1 按体重分组情况

组别	体重(kg)	平均体重(kg)	例数
1	0~5.0	4.26	20
2	5.0~10.0	8.42	76
3	10.0~15.0	13.21	103
4	15.0~20.0	17.99	59
5	20.0~25.0	23.38	45
6	>25.0	35.81	57

## 2. 检查方法

所有病例均采用 GE LightSpeed 16 层螺旋 CT 机行胸部 CT 扫描,按照临床医生的要求进行平扫和/ 或增强扫瞄,增强扫描采用非离子型对比剂。扫描范 围从声带下方至横隔水平,患者取仰卧位,螺距 1.75, 床速 5.62 mm/s,薄层层厚 1.25 mm,扫描完成后在 GE AW4.2 工作站上行气道最小密度投影重组 (MinIP),部分行气道三维重组。能配合的儿童指导 其呼吸,在屏气时扫描;不能配合呼吸运动的患儿扫描 期间保持平静自由呼吸;易哭闹不能配合检查的患儿



图 1 患者,女,9岁,上肺部少许感染。气管直径测量在工作站上放大3倍采用肺窗(窗 位-500HU,窗宽1300HU)进行,精确到0.1mm。a) 胸廓外颈根部测量示意图;b) 胸 廓入口处测量示意图;c) 主动脉弓(刚发出大血管)处测量示意图;d) 隆突上方测量示 意图。

给予水合氯醛(50 mg/kg)口服和/或苯巴比妥肌肉注 射镇静。有研究显示,最大吸气末和最大呼气末气管 大小几乎保持不变<sup>[5]</sup>,故可以认为平静自由呼吸状态 和屏气状态下扫描的测量结果是一致的。在保持其他 扫描参数不变的情况下,采用管电压为 120 kV,管电 流随机选择 20、50、80 和 100 mA 进行扫描。

# 3. 数据测量与图像分析

在横轴面 4 个部位测量气管直径大小,分别为胸 廓外颈根部(约 C<sub>6</sub> 下缘)、胸廓入口处(约 T<sub>1</sub> 下缘)、 主动脉弓(刚发出大血管)处(约 T<sub>2</sub> 下缘)、隆突上方 (约 T<sub>3</sub> 下缘),测量线垂直于气管纵轴,测量值精确到 0.1 mm(图 1)。本次研究仅测量直径,有研究发现气 管有多种形态,但大部分气管在横轴面上是圆形的<sup>[6]</sup>, 并且本研究去除了横轴面上形态不规则的病例,故认 为气管直径能够直接反应气管大小,而且直径在临床 上使用也较简便。采用肺窗(窗位 - 500 HU,窗宽 1300 HU)在工作站上进行观察和测量,Griscom 等<sup>[6]</sup> 提出采用窗位为 - 500 HU、窗宽为 1000 HU 的肺窗 测量气管大小最合适,故认为本研究的测量结果是可 靠的。本研究主要分析性别、年龄、体重与气道大小的 关系。根据改良 Zeiberg 评分方法<sup>[7]</sup>,由两位有经验

> 的副主任或主任医师在不知扫描 条件的情况下对同一图像进行评 分及比较,分析两位医师评价的一 致性;依次对各组不同扫描条件的 图像质量进行评价,得出可接受的 最低扫描条件。Zeiberg 评价标 准:5分,界面锐利,无阶梯状伪 影、运动伪影或容积缺损;4分,极 少的阶梯状伪影、运动伪影或容积 缺损;3分,轻度的阶梯状伪影、运 动伪影或容积缺损;2分,显著的 阶梯状伪影、运动伪影或容积缺 损:1分,阶梯状伪影或运动伪影 引起图像破裂或图像对合不良。 记录根据预设扫描条件自动生成 的 CT 容积剂量指数(volume CT dose index,CTDIvol) .

> > 4. 统计学分析

采用 SPSS 13.0 统计软件进 行统计学分析。使用单因素方差 分析分别分析各体重组 4 个不同 水平气管直径的大小,再分析性 别、年龄、体重与气管大小的关系。 假设性别、年龄、体重与气管直径 均有相关性,使用相关分析与直线 回归分析方法分析这些因素与不同部位气管直径大小的关系,并得出影响因素最大者与气管直径的线性回 归方程。根据 Zeiberg 评分方法,分析图像质量,采用 配对 Wilcoxon 符号秩和检验分析两位医师对图像质 量评价的一致性。以 P<0.05 为差异有统计学意义。

#### 结 果

不同扫描条件下(120 kVp,20、50、80 和 100 mA) 的图像评分:20 mA 扫描条件下在患儿能够屏气时图 像评分均在 4 分以上,自由呼吸者则多为 3 分;50 mA 时图像质量评分均在 4 分以上。单纯评价气道时, 120 kVp/20 mA 的扫描参数能清晰显示气道,得分基 本为 5 分。两位医师对图像的评分差异无统计学意义 (P=0.782, Z=-2.77)。结果表明体重<25 kg 时, 管电流为 20 mA 可用于呼吸道疾病的诊断及其他疾 病的复查,并且气道显示清晰无伪影;体重>25 kg 时,管电流为 50 mA 图像质量较好,基本满足诊断需 求。

1. 不同体重组各水平气管直径分析

使用单因素方差分析法分析 6 个不同体重组 4 个 水平气管直径大小,结果见表 2。

表 2 6 个不同体重组 4 个水平气管直径大小 (mm)

组别	胸廓外	胸廓入口处	主动脉弓处	隆突上方
1	4.62±0.50	$4.75 \pm 0.50$	4.94±0.51	$5.03 \pm 0.50$
2	5.56 $\pm$ 0.78	5.89 $\pm$ 0.91	$6.05 \pm 1.02$	$6.24 \pm 0.98$
3	$6.59 \pm 0.80$	$7.05 \pm 0.83$	$7.38 \pm 0.86$	7.66±0.93
4	7.56 $\pm$ 0.75	8.10±0.74	$8.28 \pm 0.77$	8.55±0.81
5	8.37 $\pm$ 0.91	$8.80 \pm 0.99$	$9.05 \pm 0.95$	9.40 $\pm 1.08$
6	$9.93 \pm 1.88$	10.47 $\pm$ 1.66	10.79 $\pm$ 1.55	$11.01 \pm 1.50$

结果显示每组气管直径大小自上而下略有增加, 且同时使用配对 *t* 检验(4 个水平气管直径大小两两 配对)分析发现 4 个水平气管大小的差异具有统计学 意义,对应的 *t* 值分别为 - 14.724、- 18.062、 -4.620、-9.670、-2.959、-1.975,对应的 *P* 值分 别为 0.000、0.000、0.000、0.003、0.049。

2. 性别、年龄与体重的关系

不同性别其体重差异无统计学意义(两独立样本 t 检验, t = -1. 329, P = 0. 185), 其中男性体重为 (16.76±9.41)kg, 女性体重为(18.19±10.80)kg; 不 同年龄其体重差异具有统计学意义且具有相关性(相 关系数 r=0.929, P=0.00)。

3. 各因素与气管直径大小的相关性分析

采用相关分析及散点图分析发现性别与各个部位 气管直径的大小均无相关性(P值分别为 0.154、0.211、 0.133、0.900),而年龄、体重与之具有相关性(P值均 为 0.000),进一步使用多元回归分析年龄、体重与各 水平气管直径大小间的相关性,其相关系数见表 3。

表3 年龄、体重分别与各个水平气管直径大小间的相关系数

指标	胸廓外	胸廓入口处	主动脉弓处	隆突上方
年龄	0.874	0.872	0.874	0.279
体重	0.874	0.873	0.876	0.291

由于年龄与体重具有相关性,且体重与气管直径 大小的相关性更大,为进一步提高相关性的检验水准, 研究中增加了年龄的平方、年龄的立方、体重的平方、 体重的立方等变量,再次使用多元回归分析,得出的 *P* 值中只有体重、体重的平方及体重的立方的 *P* 值均小 于 0.05。最后进一步使用逐步回归分析得出了体重、 体重的平方、体重的立方与各水平气管直径的回归方 程:

胸廓外气管直径=1.852×体重-1.870×体重<sup>2</sup>+0.935×体重<sup>3</sup>+3.143±0.262

胸廓入口处气管直径=1.881×体重-1.763×体 重<sup>2</sup>+0.783×体重<sup>3</sup>+3.334±0.267

主动脉弓处气管直径=1.959×体重-1.902×体 重<sup>2</sup>+0.850×体重<sup>3</sup>+3.398±0.267

隆突上方气管直径=0.291×体重+5.674±0.539

### 讨 论

儿童气道病变主要表现为气道狭窄、特殊气道形 态以及气道占位,其中,气道狭窄有先天性和继发性气 道狭窄。气道狭窄按部位可分为局限性狭窄和均匀性 狭窄,局限性狭窄一般不易漏诊,均匀性气道狭窄因没 有气道正常参照值参照常致判断较为困难,而且儿童 的气道直径也随着年龄、体重的增长而增大,进一步增 加了诊断的难度。

诊断气道有无狭窄的方式主要包括:高千伏胸片、 CT、纤维支气管镜、支气管造影。高千伏胸片由于其 可靠性不高现已摒弃不用。支气管造影是一项传统的 检查方式,能够清晰观察气管支气管树;支气管镜能够 直观地观察气管,但此两种方法均属侵入性的检查方 法<sup>[8]</sup>,且检查条件相对较高,可能产生一定的并发症, 不是筛查的最好方式。MSCT 为一种非侵入性检查 方法,空间分辨力高,检查时间短,能够同时观察气道 和肺实质,对病变的定位、范围等判断较准确,拥有多 种后处理技术(如多平面重组、最小密度投影重组等), 现已广泛运用于临床。早在 20 世纪 80 年代 Griscom 等<sup>[9]</sup>就已使用 CT 扫描测量气管大小,受设备及技术 的限制,当时的扫描时间远比现在长(约需 2s),受呼 吸影响较大,因此其研究对象主要是年龄较大的儿童, 通过屏气来减少呼吸运动伪影。本研究中一次扫描时 间为 0.6s,扫描时间的缩短明显降低了呼吸运动的影 响,指导患儿呼吸也一定程度上降低了呼吸运动的影 响,使得测量结果更加准确,并且此次研究纳入的患者 年龄、体重范围都较广,因此代表性较强。Gamsu 等<sup>[10]</sup>认为CT横轴面上测量的气管直径可能会较其 他检查方式如气管造影和支气管镜的偏小,这可能是 因为气管内的黏液在肺窗上呈高密度,也可能与CT 扫描技术比如体位不正导致气管偏斜有关。降低CT 扫描的辐射剂量是目前关注的热点问题,本研究使用 不同的管电流,有利于降低患儿所受的辐射剂量。

本研究发现,性别与气管大小无相关性,而 Griscom等<sup>[9]</sup>的研究认为在14岁前气管前后径、横 径、横断面积与性别无关,而14岁以后则与性别有关, 他们认为男孩在青春期后生长得比女孩快且身高停止 增长后气管还会增粗。此外,本研究结果表明年龄、体 重与气管直径大小均具有相关性,并且气管自上而下 直径逐渐增加,这与 Chen等<sup>[11]</sup>的研究结果一致,但之 前有研究认为气管直径自胸廓入口至隆突上方几乎没 有变化<sup>[6,9]</sup>。

本研究存在的一些不足:①婴幼儿(体重 5 kg 以 内) 病例数较少, 可能研究结果对这部分人群的适用性 较低,有待今后扩大样本量继续研究;②Chen 等[11]认 为气管直径与身高的相关性较体重大,但本次研究中 具有身高数据的病例数较少,所以未分析身高与气管 直径的相关性,有待进一步研究:③CT辐射剂量受很 多因素的影响,主要包括 X 线管的电压、电流、曝光时 间、螺距(P)等,目前调节辐射剂量的方式主要是调节 管电压和管电流。降低管电压和管电流会增加图像的 噪声,图像质量降低,目前公认的权衡剂量与图像质量 的原则是国际防护委员会提出的 X 线诊断应遵循正 当化、防护最优化的原则及北美儿科放射学会提出的 ALARA(as low as reasonably achievable)原则<sup>[12]</sup>。 Suess 等<sup>[13]</sup>提出,不管按年龄、体重、体重指数、腹围或 检查部位,儿童行 CT 检查的管电压一般选择 80~ 130 kV。Arch 等<sup>[14]</sup>指出,在北美约 98%的儿科放射 成像采用了按照体重计算的降低管电流时间乘积 (mAs)的方法来降低辐射剂量,Lee 等[3]提出了按体 重调节管电流的方案,认为体重小于 40 kg 时,使用 40 mA管电流即可,其它文献总结探讨了更多的关于 降低剂量的方法<sup>[15-16]</sup>。本研究受 CT 仪器条件限制, 仅对管电流进行调整,尽管知晓在一定范围内降低管 电压能更有效地降低剂量,因为剂量与管电流呈正比 关系而与管电压呈指数关系[17],因此在降低辐射剂量 方面仍有待进一步研究。

本研究得出了体重与气管直径的回归方程,为气 道狭窄的诊断、手术气管插管及气道狭窄手术指征提 供了依据。Chen等<sup>[11]</sup>认为先天性心脏病患儿的生长 一定程度上会受限,因而与非先天性心脏病儿童的气 管大小可能有差异,这也是本次研究未纳入先天性心 脏病患儿的原因,更全面、更深入、更准确的研究有待 进一步进行。

### 参考文献:

- [1] Chapotte C, Monrigal JP, Pezard P, et al. Airway compression in children due to congenital heart disease: value of flexible fiberoptic bronchoscopic assessment[J]. J Cardiothorac Vasc Anesth, 1998, 12(2):145-152.
- [2] Berdon WE. Rings, Slings, Other Things: Vascular compression of the infant trachea updated from the midcentury to the millenniumthe legacy of robert E. Gross, Edward BD. Neuhauser[J]. Radiology, 2000, 216(3):624-632.
- [3] Lee EY, Siegel MJ. MDCT of Tracheobronchial narrowing in pediatric patients[J]. J Thorac Imaging, 2007, 22(3): 300-309.
- [4] Ghaye B, Szapiro D, Fanchamps JM, et al. Congenital bronchial abnormalities revisited[J]. RadioGraphics, 2001, 21(1):105-119.
- [5] Kawakami Y, Nishimura M, Kusaka H, et al. Tracheal dimensions at full inflation and deflation in adolescent twins[J]. J Appl Physiol, 1991, 70(4): 1781-1786.
- [6] Griscom NT. Cross-sectional shape of the child's trachea by computed tomography[J]. AJR, 1983, 140(6):1103-1106.
- [7] Zeiberg AS, Silverman PM, Sessions RB, et al. Helical (spiral) CT of the upper airway with three-dimensional imaging:technique and clinical assessment[J]. AJR,1996,166(2):293-299.
- [8] Dorffel WV, Fietze I, Hentschel D, et al. A new bronchoscopic method to measure airway size[J]. Eur Respir J,1999,14(4):783-788.
- [9] Griscom NT, Wohl ME. Dimensions of the growing trachea related to age and gender[J]. AJR, 1986, 146(2):233-237.
- [10] Gamsu G, Webb WR. Computed tomography of the trachea:normal and abnormal[J]. AJR, 1982, 139(2): 321-326.
- [11] Chen SJ, Shih TTF, Liu KL, et al. Measurement of tracheal size in children with congenital heart disease by computed tomography[J]. Ann Thorac Surg, 2004, 77(4):1216-1221.
- [12] Slovis TL. CT and computed radiography: the pictures are great, but is the radiation dose greater than required? [J]. AJR,2002, 179(1):39-41.
- [13] Suess C, Chen XY. Dose optimization in pediatric CT: current technology and future innovation [J]. Pediatr Radiol, 2002, 32 (10):729-734.
- [14] Arch ME, Frush DP. Pediatric body MSCT: a 5-year follow-up survey of scan in parameters used by pediatric radiologists[J]. AJR,2008,191(2):611-617.
- [15] 欧阳荣珍,钟玉敏. 低剂量 CT 研究进展及其在儿童心血管和气 道病变等中的应用[J]. 中华临床医师杂志, 2012, 6(22): 123-127.
- [16] Kalra M, Maher MM, Toth TL, et al. Strategies for CT radiation dose optimization[J]. Radiology, 2004, 230(3):619-628.
- [17] Reid J, Gamberoni J, Dong F, et al. Optimization of kVp and mAs for pediatric low-dose simulated abdominal CT: is it best to base parameter election on object circumference? [J]. AJR, 2010, 195 (4):1015-1020.

(收稿日期:2013-06-05 修回日期:2013-07-08)