

论著·基础研究 doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2015.19.005

体表测量计算漏斗胸大鼠胸腔容积的研究*

朱 健,李 俊[△],吴学东,张杉杉,王 宁

(大理学院临床医学院,云南大理 671000)

[摘要] **目的** 通过体表测量计算胸腔容积评价肺发育、胸廓缩小程度及漏斗胸畸形程度。**方法** 将 90 只健康 4 周龄 SD 大鼠分成实验组和对照组,实验组 70 只,对照组 20 只。实验组从胸骨旁切断下位 3 对肋软骨制作漏斗胸大鼠模型。分别于术前、术后 2、4、8、12 周测量胸部多条径线,并进行组间比较。胸腔容积大小用数学公式计算,利用阿基米德原理测量及 CT 三维重建所得,采用 SPSS17.0 进行 *t* 检验及直线回归分析。**结果** 实验采用多条径线测量结果,经过数学计算,阿基米德原理测量,以及 CT 三维重建所得结果实验组与对照组比较,差异有统计学意义($P<0.05$)。**结论** 通过体表测量计算胸腔容积的方法是可行的,该方法可替代 CT 检查对于评估漏斗胸形成过程中的胸腔容积的改变。

[关键词] 漏斗胸;体表测量;胸廓径线;胸腔容积

[中图分类号] R655.1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2015)19-2606-03

The research of surface measurement in calculating chest volume of pectus excavatum rats*

Zhu Jian, Li Jun[△], Wu Xuedong, Zhang Shanshan, Wang Ning

(College of Clinical Medicine, Dali University, Dali, Yunnan 671000, China)

[Abstract] **Objective** To calculate the chest volume for an evaluation of lung development, the degree of thorax narrowing and pectus excavatum deformity by the surface measurements. **Methods** Ninety normal Sprague Dawley (4 weeks) rats were randomly divided into experimental and control groups. Experimental group had 70 rats and control group had 20 rats. Cutting off the lower three cartilage from parasternal of rats to produce Pectus excavatum model in experimental groups. We measured many chest radial lines before surgery, 2, 4, 8 and 12 weeks after surgery respectively, then made comparison between parallel group. Thoracic volume size was calculated by a mathematical formula, Archimedes measurement and the CT three dimensional reconstruction, and the *t* test and linear regression were analyzed by SPSS17.0. **Results** this experiment used multiple radial lines to get measurement results, and through mathematical calculations, Archimedes measurement and CT reconstruction, we found there were significant differences between the experimental group and the control group ($P<0.05$). **Conclusion** It is practicable of surface measurement to calculate chest volume. This method could replace the CT examination to evaluate the change of the chest volume along the process of pectus excavatum formation.

[Key words] funnel chest; surface measurement; thoracic lines; chest volume

漏斗胸病情进展过程中会引起胸腔容积的改变是众所周知的。本研究对 SD 大鼠行手术处理制作漏斗胸模型^[1],继而测量胸廓相关径线,通过数学公式计算胸腔容积大小,为通过体表测量评价漏斗胸胸腔容积的方法打下计量学基础。

1 材料与方法

1.1 材料 选取 4 周龄 SD 大鼠共 90 只,购于昆明医科大学实验动物中心,SPF 级,许可证号:scxk(滇)2011-0004,雌雄比例 1:1。10%的水合氯醛,常用小手术器械及用品,游标卡尺及自制胸围测量软尺,25 mL 量杯,飞利浦 CT 16-brilliance 设备。

1.2 方法

1.2.1 动物分组及处理 将 90 只 4 周龄 SD 大鼠分成两组。实验组 70 只,用 10%的水合氯醛 3 mL/kg 腹腔腔内注射麻醉,从胸骨旁切断下位 3 对肋软骨制作漏斗胸动物模型。对照组 20 只不作任何处理。

1.2.2 胸廓径线设定

1.2.2.1 胸廓长径 上界为左右腋前皱襞连线的中点,下界

为胸骨剑突连接处。

1.2.2.2 宽径、前后径和周径 分别测量左右腋前皱襞平面和剑胸连接处平面的相应径线。

1.2.3 数据测量和处理 分别于术前、术后 2、4、8、12 周测量两组大鼠胸廓相关径线长度,每组测量 10 只,并在相应时间点行胸部 CT 扫描三维重建计算胸腔容积。后在大鼠吸气相快速结扎气管,取出肺组织放入量杯中,利用阿基米德原理进行肺体积测定,肺体积的大小代表了真实的胸腔容积。将大鼠胸廓视为一个上口小下口大的椭圆台后利用高等数学中的微积分原理获得方程式(图 1)。

$$A(x) = \pi \times [a_1 + (h - x)(a_2 - a_1)/h][b_1 + (h - x)(b_2 - b_1)/h] \tag{1}$$

$$V = \int_0^h A(x) = \pi \times h [(a_1 \times b_2 + b_1 \times a_2)/2 + (a_2 - a_1)(b_2 - b_1)/3] \tag{2}$$

h:左右腋前皱襞连线的中点到胸骨剑突连接处的距离;

* 基金项目:国家自然科学基金资助项目(81260018);云南省教育厅科学研究基金(2014J115)。 作者简介:朱健(1989—),在读硕士,主要从事心胸外科基础及临床研究。 △ 通讯作者, Tel:13987205888; E-mail:lijun6408@163.com。

a_1 :左右腋前皱襞平面的宽度/2;
 a_2 :胸骨剑突连接处平面的宽度/2;
 b_1 :左右腋前皱襞连线中点处的前后径长度/2;
 b_2 :胸骨剑突连接处的前后径长度/2。

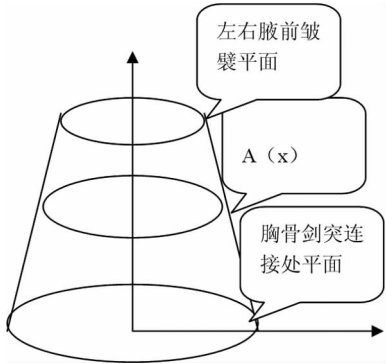


图1 大鼠胸廓数学模型

1.3 统计学处理 采用SPSS17.0统计软件进分析,(1)动物胸廓各径线在观察期内行组间*t*检验。(2)胸腔容积大小用数学公式计算,与利用阿基米德原理测量及CT三维重建所得分别行直线回归分析。以*P*<0.05为差异有统计学意义。

2 结 果

实施漏斗胸模型手术的大鼠70只,实际存活57只(死于术后感染3只,死于相互打斗的7只,死于寒冷损伤3只)。排除过大及过大小鼠,每组选10只符合条件大鼠进行观察。

2.1 胸廓各径线测量结果 大鼠胸骨剑突连接处前后径在术后2周组间比较,差异有统计学意义(*P*<0.05),在术后4、8、12周差异亦有统计学意义(*P*<0.01)。胸骨剑突连接处平面横径在术后4周时组间比较,差异有统计学意义(*P*<0.05),其他观察时间点两组胸骨剑突连接处平面横径均值比较,差异均无统计学意义(*P*>0.05)。大鼠胸廓长度在术后8周时组间比较,差异有统计学意义(*P*<0.05),其他观察时间点两组大鼠胸廓长度均值的差异均无统计学意义(*P*>0.05),见表1。

表1 胸廓各径线和体质量测量结果($\bar{x}\pm s$,mm)		
指标(周龄)	实验组(<i>n</i> =10)	对照组(<i>n</i> =10)
腋前皱襞连线平面横径		
术后2周	15.17±1.07	14.41±0.94
术后4周	16.96±1.04	17.25±0.88
术后6周	18.37±2.29	18.66±1.40
术后12周	21.34±1.91	21.44±0.99

续表1 胸廓各径线和体质量测量结果($\bar{x}\pm s$,mm)		
指标(周龄)	实验组(<i>n</i> =10)	对照组(<i>n</i> =10)
腋前皱襞连线平面前后径		
术后2周	11.45±0.91	12.37±1.12
术后4周	13.50±1.20	12.80±1.23
术后8周	16.54±1.54	17.90±1.49
术后12周	16.26±2.60	17.64±0.77
腋前皱襞连线平面胸围		
术后2周	68.65±2.48	67.39±3.98
术后4周	73.67±3.58	74.55±5.27
术后8周	83.89±13.34	88.30±9.84
术后12周	94.57±10.29	102.00±3.19
胸骨剑突连接处横径		
术后2周	25.93±1.96	24.71±1.53
术后4周	25.54±1.18*	26.82±1.07
术后8周	29.82±2.25	29.70±1.12
术后12周	30.79±1.74	30.34±0.73
胸骨剑突连接处前后径		
术后2周	17.37±0.95*	18.48±1.28
术后4周	18.22±1.13**	22.76±0.87
术后8周	21.53±2.06**	26.14±1.66
术后12周	25.80±1.15**	31.52±1.64
胸骨剑突连接处胸围		
术后2周	89.80±6.51	87.72±5.96
术后4周	96.59±4.37	98.95±3.51
术后8周	108.92±13.06	112.40±3.53
术后12周	124.44±14.47	132.57±4.57
胸廓长度		
术后2周	30.05±2.31	28.90±1.70
术后4周	30.78±2.06	30.43±1.04
术后8周	29.24±1.82*	30.70±0.67
术后12周	35.97±1.94	37.23±0.89

*:*P*<0.05,**:*P*<0.01,与对照组比较。

2.2 胸腔容积变化 两组大鼠通过体表测量计算胸腔容积大小在术后2周比较未见明显改变,而在术后4、8、12周比较,差异均有统计学意义(*P*<0.05),见表2。

表2 3种不同方法计算的两组大鼠的胸腔容积大小($\bar{x}\pm s$,cm ³)						
时间	对照组			漏斗组		
	体表测量	阿基米德测量	CT扫描	体表测量	阿基米德测量	CT扫描
术前	4.82±0.58	3.40±0.40	4.65±0.57	—	—	—
术后2周	6.97±0.81	5.05±0.64	6.81±0.37	7.08±0.53	4.56±0.72	5.13±0.58
术后4周	9.56±0.92	6.25±0.63	6.87±0.40	8.24±0.93*	5.00±1.05	4.33±0.16
术后8周	13.04±1.35	8.70±1.34	9.58±1.02	10.75±2.18*	6.25±0.72	7.45±0.95
术后12周	18.76±0.82	10.50±1.58	12.23±1.40	15.70±1.26**	8.20±1.70	9.51±1.25

*:*P*<0.05,**:*P*<0.01,与对照组比较;—:表示此项无数据。

2.3 实验组大鼠胸腔容积 3 种测量方法比较 实验组大鼠胸腔容积通过体表测量计算与利用阿基米德原理测量之间行直线回归分析,见表 3。实验组大鼠胸腔容积通过体表测量计算与胸部 CT 扫描三维重建所得结果行直线回归分析,见表 4。

表 3 实验组大鼠胸腔容积体表测量与阿基米德原理测量直线回归分析

方法	B	SE	t	P
阿基米德原理体表测量	1.572	0.309	5.086	<0.01
胸腔容积体表测量	0.467	0.031	14.868	<0.01

R=0.952,Y=1.572+0.467X。

表 4 实验组大鼠胸腔容积体表测量与 CT 三维重建计算结果直线回归分析

方法	B	SE	t	P
CT 三维重建体表测量	0.642	0.573	1.120	>0.05
胸腔容积体表测量	0.633	0.057	11.080	<0.01

R=0.918,Y=0.642+0.633X。

2.4 对照组大鼠胸腔容积 3 种测量方法比较 对照组大鼠胸腔容积通过体表测量计算与利用阿基米德原理测量之间行直线回归分析,见表 5。对照组大鼠胸腔容积通过体表测量与胸部 CT 扫描三维重建所得胸腔容积结果行直线回归分析,见表 6。

表 5 对照组大鼠胸腔容积体表测量与阿基米德原理测量直线回归分析

方法	B	SE	t	P
阿基米德原理体表测量	1.365	0.314	4.342	<0.01
胸腔容积体表测量	0.564	0.026	21.381	<0.01

R=0.969,Y=1.365+0.564X。

表 6 对照组大鼠胸腔容积体表测量与 CT 三维重建结果直线回归分析

方法	B	SE	t	P
CT 三维重建体表测量	2.005	0.216	9.279	<0.01
胸腔容积体表测量	0.578	0.019	31.035	<0.01

R=0.981,Y=2.005+0.578X。

3 讨 论

3.1 大鼠胸廓数学模型的建立 健康大鼠胸廓可整体看做 1 个规则的椭圆台形状^[2]。而对于实验组大鼠因漏斗胸形成,椭圆台在畸形区域有所改变,整个胸廓体积可分成两部分,上部规则胸廓的体积(V1)加底部畸形区域的体积(V2)。但因 V2 对于整个胸廓体积的改变在数值上差别不大,因此公式(2)仍适用于实验组大鼠。

3.2 大鼠漏斗胸畸形表现及对胸腔容积的影响 通过 12 周的观察,比较了两组大鼠具有代表性的胸廓径线的生长趋势,发现仅有胸骨剑突连接处前后径在术后改变最为明显,与人体漏斗胸的发展类似^[3]。在术后 2 周时,实验组大鼠胸骨剑突连接处的前后径已经发生减小改变,表明这时有轻度畸形产生,但由于切断的肋软骨在愈合过程中形成的术区肿胀改变使得

体表观察畸形并不明显,并且此时体表测量计算的胸腔容积并未减小。术后 4 周时,大鼠漏斗胸畸形表现明显,不仅胸骨剑突连接处下陷程度加重,胸廓横径的发育也有所减缓,同时体表测量计算的胸腔容积较正常组减小。随着术后时间延长,漏斗胸畸形程度仍在增加,但增加速度减缓。实验组大鼠胸腔容积的改变主要受两部分影响,生长发育所引起的胸腔容积增大及漏斗胸改变带来的胸腔容积减小。两组大鼠体表测量计算的胸腔容积改变的幅度在术后 4 周(即 8 周龄大鼠)以后逐渐相似,表明在此之后漏斗胸对大鼠胸腔容积的影响渐小。大鼠约在 8 周时从幼鼠过渡到成鼠^[4],换句话说,大鼠漏斗胸畸形发展对胸腔容积的改变主要发生在幼鼠期。

3.3 体表测量计算胸腔容积的可行性研究 临床上术前对漏斗胸畸形程度的准确评估是决定手术治疗的关键因素并且它可预测术后恢复效果。从单一的 CT 扫描确定漏斗胸指数发展到利用多横断面成像协议做术前评估,准确度有了明显的提高^[5-6]。但 CT 扫描所接受的辐射会加大诱发癌症的危险性,也可能造成生长发育迟缓及后期生育能力的下降,使它应用于婴幼儿受到限制^[7-8]。为了减少辐射剂量,有学者提出了使用普通平片检查或低剂量 CT 扫描^[9-11],但并不能提供全面精确的量化指标。新型的 MSCT 计算机硬件及软件系统的开发降低了 X 线辐射剂量^[12-15]。也有研究显示,术前利用 MRI 评估漏斗胸畸形程度是准确的^[16]。MRI 无电离辐射,但检查费用比 CT 扫描更高。本研究显示,对于漏斗胸大鼠的胸腔容积计算,采用体表测量方法,与利用阿基米德原理测量及 CT 扫描后三维重建所得比较都有很强的相关性,相关系数分别为 95.2%与 91.8%。而且这些相关性在正常大鼠身上表现地更为明显。笔者相信在评估漏斗胸的发展对胸腔容积大小改变方面可替代 CT 检查。

综上所述,通过单纯的体表测量计算漏斗胸胸腔容积大小的方式是可行的。与 X 线、CT 检查相比,单纯的体表径线测量同 MRI 一样可减少漏斗胸患儿早期接受不必要的射线照射的机会,并且医疗成本更低。

参考文献

[1] 吴学东,胡廷泽,刘文英,等.漏斗胸动物模型的建立[J].中华小儿外科杂志,2003,24(5):458.

[2] 吴学东,林春榕,胡廷泽,等.漏斗胸实验研究中大鼠胸部的应用解剖[J].中国比较医学杂志,2004,14(2):97-99.

[3] 刘文英.漏斗胸与鸡胸的诊治进展[J].实用儿科临床杂志,2012,27(11):889-892.

[4] 严文静,吴学东.膈肌损伤对幼鼠胸廓发育的影响[J].医学动物防制,2013,29(4):355-357.

[5] Haller Jr JA,Kramer SS,Lietman SA. Use of CT scans in selection of patients for pectus excavatum surgery:a preliminary report[J].J Pediatr Surg,1987,22(10):904-906.

[6] Lawson ML,Barnes-Eley M,Burke BL,et al. Reliability of a standardized protocol to calculate cross-sectional chest area and severity indices to evaluate pectus excavatum[J].J Pediatr Surg,2006,41(7):1219-1225.

[7] Leiner T,de Jong PA,Nievelstein R. CT(下转第 2012 页)

ry distress syndrome; incidence and mortality, has it changed[J]. *Curr Opin Crit Care*, 2014, 20(1): 3-9.

[2] Matthay MA, Zemans RL. The acute respiratory distress syndrome; pathogenesis and treatment [J]. *Annu Rev Pathol*, 2011, 6: 147-163.

[3] Ward PA. Acute lung injury; how the lung inflammatory response works[J]. *Eur Respir J Suppl*, 2003 (44): 22s-23s.

[4] 植天道, 黄齐慧. 桑色素的研究进展[J]. *中国中医药现代远程教育*, 2009, 7(3): 112-115.

[5] Deng W, Li CY, Tong J, et al. Regulation of ENaC-mediated alveolar fluid clearance by insulin via PI3K/Akt pathway in LPS-induced acute lung injury [J]. *Respir Res*, 2012, 13: 29.

[6] Zhu T, Wang DX, Zhang W, et al. Andrographolide protects against LPS-induced acute lung injury by inactivation of NF-kappaB[J]. *PloS One*, 2013, 8(2): e56407.

[7] Zeng Z, Gong H, Li Y, et al. Upregulation of miR-146a contributes to the suppression of inflammatory responses in LPS-induced acute lung injury [J]. *Exp Lung Res*, 2013, 39(7): 275-282.

[8] Chinchai T, Chirathaworn C, Praianantathavorn K, et al. Long-term humoral and cellular immune response to hepatitis B vaccine in high-risk children 18 - 20 years after neonatal immunization[J]. *Viral Immunol*, 2009, 22(2): 125-130.

[9] Ricard JD, Dreyfuss D, Saumon G. Production of inflammatory cytokines in ventilator-induced lung injury: a reappraisal[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2001, 163(5): 1176-1180.

[10] Park WY, Goodman RB, Steinberg KP, et al. Cytokine balance in the lungs of patients with acute respiratory distress syndrome[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2001, 164(10 Pt 1): 1896-1903.

[11] Kolb M, Margetts PJ, Anthony DC, et al. Transient expression of IL-1beta induces acute lung injury and chronic repair leading to pulmonary fibrosis [J]. *J Clin Invest*, 2001, 107(12): 1529-1536.

[12] Li Q, Verma IM. NF-kappaB regulation in the immune system[J]. *Nat Rev Immunol*, 2002, 2(10): 725-734.

[13] Vallabhapurapu S, Karin M. Regulation and function of NF-kappaB transcription factors in the immune system [J]. *Annu Rev Immunol*, 2009(27): 693-733.

[14] 王莹, 丁利, 李文媛, 等. 桑色素对脑缺血再灌注损伤大鼠多聚腺苷酸二磷酸核糖聚合酶和核因子-κB 表达的影响 [J]. *安徽中医学院学报*, 2012, 31(1): 43-47.

[15] Tianzhu Z, Shihai Y, Juan D. The Effects of morin on lipopolysaccharide-induced acute lung injury by suppressing the lung NLRP3 inflammasome [J]. *Inflammation*, 2014, 37(6): 1976-1983.

(收稿日期: 2014-11-08 修回日期: 2015-01-26)

(上接第 2608 页)

scans in children and adolescents; only when appropriate and when optimized [J]. *Ned Tijdschr Geneesk*, 2013, 157(49): 6711.

[8] Brenner D, Elliston C, Hall E, et al. Estimated risks of radiation-induced fatal cancer from pediatric CT [J]. *Am J Roentgenol*, 2001, 176(2): 289-296.

[9] Don S. Radiosensitivity of children; potential for over exposure in CR and DR and magnitude of doses in ordinary radiographic examinations [J]. *J Pediatr Radiol*, 2004, 34(3): S167-172.

[10] Mueller C, Saint-Vil D, Bouchard S. Chest x-ray as a primary modality for preoperative imaging of pectus excavatum [J]. *J Pediatr Surg*, 2008, 43(1): 71-73.

[11] Rattan AS, Laor T, Ryckman FC, et al. Pectus excavatum imaging: enough but not too much [J]. *J Pediatr Radiol*, 2010, 40(2): 168-172.

[12] Greess H, Nomayr A, Wolf H, et al. Dose reduction in CT

examination of children by an attenuation-based on-line modulation of tube current (CARE Dose) [J]. *Eur Radiol*, 2002, 12(6): 1571.

[13] 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.

[14] Boon JM, Geraphty EM, Seibert JA, et al. Dose reduction in pediatric CT: a rational approach [J]. *Radiology*, 2003, 228(2): 352.

[15] 鲍莉, 李军, 李学胜, 等. MSCT 量化评价在小儿漏斗胸诊断中的价值 [J]. *放射学实践*, 2011, 26(9): 1012-1014.

[16] Lo Piccolo R, Bongini U, Basile M, et al. Chest fast MRI: an imaging alternative on pre-operative evaluation of Pectus Excavatum [J]. *J Pediatr Surg*, 2012, 47(3): 485-489.

(收稿日期: 2014-11-10 修回日期: 2015-03-12)

欢迎投稿 欢迎订阅