

doi:10.3969/j.issn.2095-4344.2013.04.010 [http://www.crter.org]
巩腾, 王景贵. 脊柱胸腰段结构变化断层切片与CT三维重建测量比较[J]. 中国组织工程研究, 2013, 17(4):625-632.

脊柱胸腰段结构变化断层切片与CT三维重建测量比较*☆

巩腾, 王景贵

武装警察部队后勤学院附属医院骨科, 天津市 300162

文章亮点:

1 本文创新性: 检索 2006 年 1 月至 2011 年 12 月 Pubmed、Neuroscience, 维普数据库、清华万方数据库、万方数据库和百度图文库等, 检索关键词设定为胸腰段、火棉胶和断层切片, 国内外既往火棉胶包埋研究多集中于肱二头肌长头腱脱位机制, 肘管和滑车上肘肌、前列腺、视神经管、翼腭窝、耳蜗结构和直肠阴道隔等方面研究, 临床手术仅能参考干燥骨或 CT 等测量的间接数据, 目前仍未有一套完整、立体直观和颇具真实的实体图像集资料。

2 胸腰段脊柱椎管和椎间管减压手术常造成硬膜囊内脊神经根损伤, 胸腰段椎间盘突出位于神经根不同位置, 脊髓圆锥、硬膜囊内外神经根走行可能会发生一些变异重组, 如何避免减压和松解术中导致神经副损伤, 如何正确评估预测手术并发症是目前国内研究热点。

3 文章重点在于强调 CT 二维和三维重建图像中难以彻底和准确辨认各显微结构, 可能会遗漏重要信息, 而断层切片二维和三维重建图像却可真实再现脊神经根及其周围结构参数或指标。

4 实验不仅尝试将胸腰段大体脱钙标本行薄层断层切片后三维重建, 又将 CT 和断层切片的同一层面诸指标进行比较, 结果表明断层切片对骨性及非骨性结构均可清晰识别, 利于观测有软组织贴附的椎管及椎间管各结构, 而 CT 薄扫后行多平面重建、表面积重建、实时再现和仿真内窥镜技术, 一般仅能准确观测骨性指标, CT 和断层切片重建在观测参数随脊椎序数变化的衍变过程方面一致。

5 文章中技术优势体现在改良火棉胶包埋薄切技术简单、经济, 在铣切过程中基本无锯耗, 在常温下切片不易变形、脱落。易于操作和实用, 价格低廉。手动大脑切片机可行脱钙大体标本断层切片, 方法实用简捷, 易于掌握, 是国际公认的先进性实验学断层解剖观察方法。

关键词:

骨关节植入物; 骨与关节图像与影像; 胸腰段脊柱; 断层切片; 螺旋 CT; 火棉胶包埋; 三维重建; 二维图像; 骨性结构; 椎间管高度; 椎管斜径; 韧带组织; 其他基金; 骨关节植入物图片文章

摘要

背景: 单纯 CT 三维重建数据难以完全保证手术过程安全, 火棉胶包埋断层切片已广泛用于头颅、眼眶和膝等多部位解剖研究, 国内外至今少有脊柱经改良火棉胶包埋后断层切片报道。

目的: 探讨断层切片和 CT 扫描后三维重建对胸腰段脊髓及脊神经走行过程中各结构的诊断价值。

方法: 40 例胸腰段脊柱标本行螺旋 CT 薄扫后重建, 用 e-film 软件观测相关解剖参数, 同时经改良火棉胶包埋法行冠状、矢状和水平位薄层切片, 用 Amira4.1 软件重建并测算对应指标。

结果与结论: 断层切片较 CT 二维图像更能详细直观观测胸腰段椎管、椎间管内伴行结构关系; 断层切片和 CT 薄扫后重建在测量椎间管高度、宽度、椎管斜径及硬膜囊直径时差异有显著性意义, 在测算椎弓根纵径、横径及椎间管长度时差异无显著性意义。说明: ①由于 CT 软组织窗或骨窗窗宽、窗位和分辨率的影响, 其二维图像在一定程度上难以精确辨认软组织结构, 而断层切片却可直观观察脊髓、脊神经根及伴行血管或椎间管韧带分布。②断层切片重建对骨性及非骨性结构皆可清晰识别, 更利于观测实际上有软组织贴附的椎管及椎间管各结构参数, 而 CT 薄扫重建一般仅能准确观测骨性结构指标, 但两法在观测骨性结构数据时基本一致。③CT 和断层切片重建在观测靶结构随脊椎序数变化的演变过程时一致。

巩腾☆, 男, 1980 年生, 山西省和顺市人, 汉族, 2009 年天津医科大学毕业, 博士, 主治医师, 主要从事脊柱与脊髓损伤方面的研究。

gongtengwujin@126.com

通讯作者: 王景贵, 主任医师, 教授, 武装警察部队后勤学院附属医院骨科, 天津市 300162

中图分类号:R318

文献标识码:B

文章编号:2095-4344

(2013)04-00625-08

收稿日期: 2012-07-05

修回日期: 2012-11-28

(20110705002/D·C)

Gong Teng☆, Doctor, Attending physician, Department of Orthopedics, Affiliated Hospital of Medical College of Chinese People's Armed Police Forces, Tianjin 300162, China
gongtengwujin@126.com

Corresponding author: Wang Jing-gui, Chief physician, Professor, Department of Orthopedics, Affiliated Hospital of Medical College of Chinese People's Armed Police Forces, Tianjin 300162, China

Supported by: Scientific Research Foundation for Doctor in Medical College of Chinese People's Armed Police Forces, No.WYB201109*

Received: 2012-07-05
Accepted: 2012-11-28

Comparison between cross-sectional anatomy and CT scanning for observing thoracolumbar vertebrae structure

Gong Teng, Wang Jing-gui

Department of Orthopaedics, Affiliated Hospital of Medical College of Chinese People's Armed Police Forces, Tianjin 300162, China

Abstract

BACKGROUND: Simple CT three-dimensional reconstruction data cannot keep safety of the surgery completely, and celloidin embedding cross-sectional slice has been widely used in the research on skull, fossa orbitalis and knee joint. There are few reports on the spinal cross-section slice treated with celloidin embedding.

OBJECTIVE: To investigate the diagnostic value of sectional slices and CT scanning three-dimensional reconstruction in observing and measuring structural parameters of thoracolumbar intervertebrae.

METHODS: Forty adult thoracolumbar vertebrae specimens were enrolled for CT scanning and reconstruction, and the anatomic parameters were measured with imageology software called 'e-flim'. Meanwhile, above-mentioned samples were made into serially coronal, sagittal and horizontal sections with upgraded celloidin embedding technique. Corresponding anatomic features were surveyed and re-established via Amira4.1 software.

RESULTS AND CONCLUSION: Sectional slices were more convenient for direct-viewing the adjacent relationship of individual structures which exist in vertebral canal or intervertebral canal than CT two-dimensional images; there were significant differences in measuring height, width of intervertebral canals, oblique diameter of vertebral canal and diameter of spinal cord between two methods; there was no significant difference in measuring the length of intervertebral canal, vertical and transverse diameter of vertebral pedicle. Due to the influence of soft tissue or bone window width, window level and resolving power, the CT two-dimensional images could not precisely identify the structure of soft tissues, however, sectional slices could distinctly discriminate the distribution of lumbosacral spinal cord, nerve root, accompanying vessel, intervertebral canal ligament, etc. Reconstruction for sectional slices could clearly identify the osseous structure and non-osseous structure, and helpful to observe the different structure parameters of vertebral canal or intervertebral canal adhered with soft tissues, while the CT scanning reconstruction can only observe the parameters of bone architecture. But the bone architecture data observed by these two methods were similar. CT scanning and sectional slice reconstruction showed the same results in observing simultaneous variation of target structures.

Key Words: bone and joint implants; photographs and images of bone and joint; thoracolumbar vertebrae; sectional slices; spiral CT; celloidin embedding; three-dimensional reconstruction; two-dimensional images; bone structure; height of intervertebral canal; oblique diameter of vertebral canal; ligament tissue; other grants-supported paper; photographs-containing paper of bone and joint implants

Gong T, Wang JG. Comparison between cross-sectional anatomy and CT scanning for observing thoracolumbar vertebrae structure. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu*. 2013;17(4): 625-632.

0 引言

脊柱胸腰段系两生理曲度的重要转折衔接处,其上、下方邻近椎间活动度差异显著,椎管内脊髓末端位置(圆锥)、马尾神经脊膜囊内、外部分和走行于侧椎管、椎间管的脊神经腹、背根构成排列解剖变异较大,椎管形状变化较大^[1],椎管内占位病变导致下肢上、下运动神经元通路损害症状的表现不一^[2],术后发生脊髓休克或栓系综合征意外的可能性较大^[3]。实验通过断层切片和CT扫描后二维及三维重建图像比较,探讨两方法在观测胸腰段脊柱靶结构形态、毗邻关系及径值参数方面的效果,旨在为脊柱CT、MRI等影像学诊断提供相应数据作对照和为各种椎管及椎间管减压治疗提供断层、立体解剖学资料作参考,方便在术前形成确实的手术视野空间构象及避免各种手术并发症发生。

1 材料和方法

设计: 影像学分析实验。

时间及地点: 实验于2010年3至8月在武警后勤学院解剖学教研室完成。

材料: 选用40具经体积分数10%甲醛溶液预处理的脊柱胸10至腰3节段标本, 其中男21例, 女19例, 年龄58.4-72.9岁, 平均68.6岁。标本来源系正常捐献的脱钙标本, 已征得天津市和武警总部伦理委员会认可和批准, 无任何经济利益冲突, 符合相关伦理学标准。

纳入标准: ①均系自然死亡。②生前无医疗等纠纷。③死亡年龄在55-75岁。④既往或生前未发生过腰背部明显外伤和骨折脱位。⑤未行胸腰椎管减压和内固定。⑥已征得患者家属同意, 并获医院伦理委员会认可审批。

排除标准: ①生前有明显高血压, 心脑血管疾病, 糖尿病等慢性病史。②有明显后纵韧带、黄韧带肥厚和钙化。③有明显胸腰段椎间盘软性或硬性突出, 氟骨症、血清阴性脊柱病, 强直性脊柱炎。④合并弥漫性特发性肥厚性骨病, 腰椎真性或假性滑脱, 峡部裂开, 隐性脊柱裂。

方法:

标本处理: 脊柱胸腰段标本置于体积分数20%冷甲醛24 h, 再放置于体积分数10%冷甲醛10 d, 后用1%硝酸持续脱钙5周, 经不同浓度乙醇逐级脱水备用观察, 后用微波法以加速脱钙进程。

CT扫描: 美国GE公司lightspeed 64排螺旋CT, 探测器排列方式为混合等宽型, 采用球管双焦点技术^[4], 扫描视野20-28 cm, 管电压120 kV, 电流300 mA, 螺距3 mm, 层厚1.25 mm, 床速3-5 mm。连续薄扫二维图像经CT工作站处理, 重建间距1.0 mm, 螺距5.0, 用表面阴影遮盖法将矢状、冠状和水平位图像数据联合进行三维重建, 用e-film软件分析观测。

断层切片: 标本经刘健华等^[5]法预处理, 包埋块周围穿孔置入细线作定位用, 用德国产JUNG-AG型手动大脑切片对16具(男9, 女7)标本行额状位, 16具(男8, 女8)行水平位, 8具(男4, 女4)行矢状位以0.25 mm层厚制作连续薄层切片, 用索尼数码相机(有效像素500万, 10倍光学变焦), 以防震和微距模式进行图像采集, 用Amira4.1软件对二维图像进行定位和切割校正, 分别行多平面和透明成像重建。

参数获取: ①椎管斜径: 椎间盘中央水平层面上椎管前壁中心与双侧关节突关节面内缘间的距离。②脊髓直

径: 椎间盘中央水平层面上其(最大前后径+最长横径)/2, 其中上腰椎为脊膜囊直径, 即: 脊膜囊(最大前后径+最长横径)/2。③椎间管宽度: 上位椎体下部后外侧缘与下位椎体上部后外侧缘间长度中心和下位椎体的上关节突腹面中心与横突基底部交点间的距离。④椎间管高度: 上位椎弓根下切迹中点至下位椎弓根上切迹中点间距离。⑤椎间管长度: 上位椎弓根下切迹和其椎体后缘交界中心至下位椎弓和上关节突外侧缘交点间距离。⑥椎弓根纵径、横径: 过椎孔最大横径的冠状面与椎弓根相交截面上的最长垂直高度和水平直径。

主要观察指标: ①观测不同节段或髓节对应的椎管斜径, 硬膜囊或脊髓直径, 以明确椎间盘中央型突出或外侧旁突出所致椎管容积或脊髓受压改变趋势, 以评估椎管狭窄程度和手术方式选择。②观测不同水平椎间管高度、宽度和长度, 以明确各节段脊神经根或节段动静脉走行过程中的骨性结构衍变过程。③观测不同髓节或椎体层面对应的椎弓根纵径和横径, 以明确椎弓根钉置入方向、定位、头倾、尾倾或外展角度, 方便选择椎弓根钉长度和直径, 避免椎弓根钉切割穿出其外侧皮质。

经椎弓根中心旁正中矢状面用以观测极外侧椎间盘可能方向和椎间管外口形状; 过椎管最长横径的冠状面用以观测盘黄间隙和关节突关节处解剖学结构, 观察其与硬膜囊内外脊神经根走行关系; 两侧椎板内缘交汇处的冠状面用以评估黄韧带肥厚或钙化趋势及后路减压入路。

统计学分析: 由第一作者用SPSS 13.0软件进行分析, 上述两种方法测量的同一结构参数间比较采用成组两独立样本 t 检验, 脊髓或硬膜囊直径的样本量为160例(40例样本 \times 4个不同方向脊髓直径, 最大矢状径+最大横径+与正中矢状面左右呈45°角线上脊髓直径), 椎管斜径为两侧椎弓根与椎体交界处至对侧椎板中点连线长度, 椎间管(孔)高度、宽度和长度, 椎弓根纵径和横径均为40例样本 χ^2 侧指标参数。

2 结果

2.1 脊柱胸腰段椎管结构参数分析 随脊椎序数增加, 椎管斜径及脊髓直径在下胸椎(T₁₀-T₁₂)各自逐渐增大, 相互间改变幅度较大, 而在上腰椎(L₁-L₃)分别逐渐缩小, 上腰椎两指标总体均较下胸椎大, 胸腰段椎管斜径与脊髓直径比值自T₁₀-L₃水平往下逐渐增大, 见表1。

表 1 脊柱胸腰段椎管结构参数比较

Table 1 Comparison of structure parameters of thoracolumbar vertebral canal ($\bar{x}\pm s$, mm)

腰椎节段	椎管斜径		
	CT 三维重建	断层三维重建	t
T ₁₀	15.38±1.76	14.87±1.63	2.05 ^a
T ₁₁	16.33±2.09	15.45±1.82	2.19 ^a
T ₁₂	18.29±2.51	17.67±1.71	2.34 ^a
L ₁	20.39±2.47	19.64±2.25	2.76 ^a
L ₂	20.14±1.99	19.52±2.12	2.93 ^a
L ₃	19.73±2.49	18.76±2.44	3.35 ^a

腰椎节段	脊髓直径		
	CT 三维重建	断层三维重建	t
T ₁₀	10.77±1.40	9.65±1.08	3.47 ^b
T ₁₁	11.43±1.57	10.66±1.02	2.77 ^b
T ₁₂	12.98±1.68	11.12±1.32	2.97 ^b
L ₁	13.09±1.66	12.45±1.23	2.42 ^b
L ₂	12.43±1.84	11.68±1.05	2.38 ^b
L ₃	11.46±1.73	10.74±1.21	2.63 ^b

注: 随脊椎序数增加, 椎管斜径及脊髓直径在下胸椎(T₁₀-T₁₂)各自逐渐增大, 而在上腰椎(L₁-L₃)分别逐渐缩小, 胸腰段椎管斜径与脊髓直径比值自 T₁₀-L₃ 水平往下逐渐增大。T₁₀为胸 9/10 椎间隙, L₁为胸 12/腰 1 椎间隙, 余以此类推。t(0.05/2, 80)= 1.990, ^aP < 0.05; t(0.05/2, 40)=2.021, ^bP < 0.05

2.2 脊柱胸腰段椎间管径值参数比较 胸腰段椎间管高度逐渐增大, 椎间管宽度在下胸椎依次增大, 而于上腰椎又依次减小, 椎间管高度明显大于相应椎间管宽度, 椎间管长度在下胸椎和上腰椎分别逐渐增大, 见表 2-4。

表 2 脊柱胸腰段椎间管高度参数比较

Table 2 Comparison of height parameters of thoracolumbar intervertebral canal ($\bar{x}\pm s$, mm)

椎间管	CT 三维重建	断层三维重建	t
T ₁₀	19.64±3.12	17.37±2.99	2.05 ^a
T ₁₁	20.73±2.86	18.56±2.69	2.23 ^a
T ₁₂	22.50±1.76	20.71±2.56	2.11 ^a
L ₁	23.80±2.27	20.72±2.03	3.78 ^a
L ₂	24.41±2.30	21.31±2.77	3.29 ^a
L ₃	24.75±2.41	22.82±2.34	2.57 ^a

注: 胸腰段椎间管高度逐渐增大, t(0.05/2.80)= 1.990; 椎间比较, ^aP < 0.05; T₁₀为胸 9/10 椎间隙, L₁为胸 12/腰 1 椎间隙, 余以此类推

2.3 脊柱胸腰段椎弓根结构参数比较 椎弓根纵径在下胸椎依次增大, 在上腰椎却依次变小, 椎弓根横径在下胸椎和上腰椎分别逐步增大, 见表5。CT薄扫和断层切片三维重建在观察各结构变化程度及规律时基本一致。

表 3 脊柱胸腰段椎间管宽度参数比较

Table 3 Comparison of width parameters of thoracolumbar intervertebral canal ($\bar{x}\pm s$, mm)

椎间管	CT 三维重建	断层三维重建	t
T ₁₀	9.10±1.32	8.23±1.22	2.48 ^a
T ₁₁	10.39±1.10	8.49±1.41	2.35 ^a
T ₁₂	11.90±1.30	10.79±1.08	2.91 ^a
L ₁	11.63±1.52	10.81±1.46	2.68 ^a
L ₂	11.51±1.32	10.21±1.26	2.12 ^a
L ₃	10.89±1.20	9.14±1.39	2.58 ^a

注: 椎间管宽度在下胸椎依次增大, 而于上腰椎又依次减小, 椎间管高度明显大于相应椎间管宽度, t(0.05/2.80)= 1.990; 椎间比较, ^aP < 0.05; T₁₀为胸 9/10 椎间隙, L₁为胸 12/腰 1 椎间隙, 余以此类推

表 4 脊柱胸腰段椎间管长度参数比较

Table 4 Comparison of length parameters of thoracolumbar intervertebral canal ($\bar{x}\pm s$, mm)

椎间管	CT-3DR	SS-3DR	t
T ₁₀	9.56±0.78	9.35±0.83	1.33
T ₁₁	11.87±1.0	11.65±0.92	1.28
T ₁₂	12.89±1.13	13.07±1.12	0.95
L ₁	13.68±1.35	13.53±1.44	0.87
L ₂	14.67±1.43	14.87±1.34	0.98
L ₃	17.53±1.58	17.47±1.52	1.46

注: 椎间管长度在下胸椎和上腰椎分别逐渐增大, t(0.05/2.80)=1.990; T₁₀为胸 9/10 椎间隙, L₁为胸 12/腰 1 椎间隙, 余以此类推

表 5 脊柱胸腰段椎弓根结构参数比较

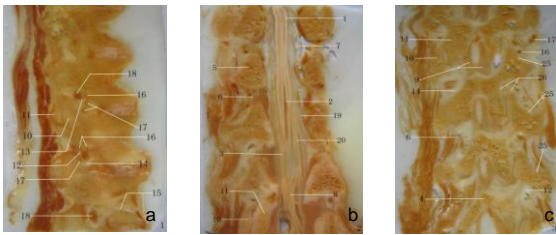
Table 5 Comparison of structural parameters of thoracolumbar pedicle of vertebral arch ($\bar{x}\pm s$, mm)

腰椎节段	纵径		
	CT 三维重建	断层三维重建	t
T ₁₀	14.15±1.02	14.87±1.63	0.45
T ₁₁	16.05±1.24	15.45±1.82	0.55
T ₁₂	16.23±1.20	16.27±2.05	0.86
L ₁	15.70±1.73	15.77±1.48	0.87
L ₂	15.05±2.16	14.86±1.46	0.99
L ₃	14.65±1.32	18.76±2.44	0.97

腰椎节段	横径		
	CT 三维重建	断层三维重建	t
T ₁₀	6.85±0.98	6.87±0.89	0.62
T ₁₁	7.95±1.06	8.08±0.94	1.08
T ₁₂	8.05±1.31	7.99±1.18	1.25
L ₁	7.11±1.28	7.06±1.25	0.59
L ₂	7.35±1.14	7.41±1.35	1.18 ^a
L ₃	9.26±1.57	9.36±1.42	1.08 ^a

注: 椎弓根纵径在下胸椎依次增大, 在上腰椎却依次变小, 椎弓根横径在下胸椎和上腰椎分别逐步增大, t(0.05/2.80)= 1.990, 与 T₁₀比较, ^aP < 0.05。T₁₀为胸 10 椎体节段的椎弓根, 以此类推

2.4 典型断层影像学分析 图1a可见椎间管内的横孔上、中、下韧带及椎间管外的体横韧带^[1, 3], 可用以积累不同样本及节段的椎间管内、外韧带解剖变异资料; 右侧腰1椎间管内的横孔中韧带上上方有脊神经和节段动脉走行, 其下方为节段静脉通过, 右侧腰2脊神经则被横孔上、下韧带所包绕, 横孔上韧带头侧通过节段动脉, 横孔下韧带尾侧有节段静脉经过, 在腰3椎体上有椎间管内韧带延伸至椎体的椎间管外(体横)韧带。图1b可用以积累不同样本脊髓末端位置、椎间管内未有脊神经通过或有两或多支脊神经穿过等解剖变异资料, 可观察腰骶膨大、脊髓圆锥、马尾神经的构成及走行路径, 记录脊神经前、后根自硬膜囊发出位置和椎间管、椎弓根断面形状。图1c可用以积累椎板切除及关节突部分去除减压时的解剖入路资料, 从椎板至双侧关节突的上下嵴线有黄韧带附着, 其于上关节突旁沟延伸为椎间关节囊, 便于观察椎间管外口、根黄通道及盘黄间隙内相关结构。CT三维重建过程见图2。



a: 经椎弓根中心旁正中矢状面(右面观)显示: 椎间管内的横孔上、中、下韧带^[1]及椎间管外的体横韧带^[3], 可用以积累不同样本及节段的椎间管内、外韧带解剖变异; **b:** 过椎管最长横径的冠状面(前面观)显示: 不同样本脊髓末端位置、椎间管内未有脊神经通过或有两或多支脊神经穿过等解剖变异; **c:** 两侧椎板内缘交汇处冠状面(前面观)显示: 积累椎板切除及关节突部分去除减压时的解剖入路

注: 1: 腰骶膨大; 2: 脊髓圆锥; 3: 终丝; 4: 椎板; 5: 椎弓根; 6: 椎间管; 7: 侧椎管; 8: 马尾神经; 9: 黄韧带; 10: 上关节突; 11: 下关节突; 12: 横孔上韧带; 13: 横孔中韧带; 14: 横孔下韧带; 15: 体横韧带; 16: 节段动脉; 17: 节段静脉; 18: 脊神经; 19: 脊神经前根; 20: 脊神经后根; 21: 脊神经前支; 22: 脊神经后支; 23: 脊神经后内侧支; 24: 脊神经后外侧支; 25: 上关节突旁沟; 26: 椎间关节囊

图1 脊柱断层二维图像

Figure 1 Two-dimensional images of spinal cross-section

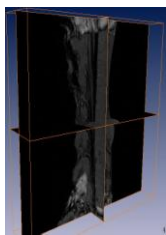
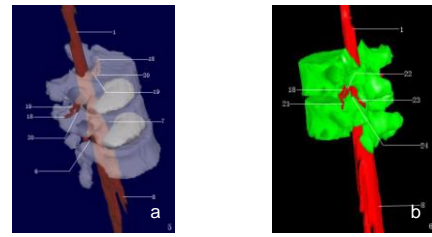


图2 CT工作站对同一脊柱标本分别行水平、矢状和额状扫描后联合重建过程

Figure 2 United reestablishment process of the same spinal specimen after treated with horizontal, sagittal and coronal scanning by the CT workstation

断层三维重建图像见图3, CT三维立体图像见图4。



注: **a:** 透明成像可见腰1脊神经的硬膜囊发出点和其腹、背根位置及走行路径, 并可观察椎间盘、椎体的空间构型; **b:** 多平面重建可见腰2脊神经后支下界为腰3横突上缘, 内侧界为腰3上关节突外侧, 后外侧支沿横突背面向外下方斜行, 后内侧支位于下位横突后面, 脊神经前支分布于椎体-椎间盘侧前方。1: 腰骶膨大; 6: 椎间管; 7: 侧椎管; 8: 马尾神经; 18: 脊神经; 19: 脊神经前根; 20: 脊神经后根; 21: 脊神经前支; 22: 脊神经后支; 23: 脊神经后内侧支; 24: 脊神经后外侧支

图3 脊柱断层三维重建图像

Figure 3 Three-dimensional reconstruction images of spinal cross-section



注: 1: 腰骶膨大; 2: 脊髓圆锥; 18: 脊神经

图4 CT表面遮盖法重建骨性和脊髓、脊神经根等非骨性组织

Figure 4 Reconstruction of osseous and non-osseous tissue, including spinal cord and spinal nerve roots with CT surface shading method

3 讨论

3.1 断层切片与CT薄扫技术比较 目前CT薄扫的三维重建软件多为进口大型医用影像设备自带, 其硬件、软件常被实施双重加密处理, 各型号CT机DICOM标准亦不统一, 其二维图像的三维可视化工作不能脱离自身工作站及附属软件平台, 因不能获取CT扫描图像的源文件或程序信息更难以用其他重建软件进行优化处理。CT是病例诊断和术式选择不可或缺的辅助检查手段, 但常规CT扫描图像为灰度像素且分辨率较小, 易受人体不同部位密度、厚度及条件参数设置影响, 加大窗宽导致组织对比度减弱及细节显示不清, 扫描层厚越薄, 包含信息量越大, 同时影像学信息失真度亦随之增加; 而减小窗宽又使图像层面数量下降, 包含内容较少, 窗位调整亦影响黑白显示, 其正确调整依赖于操作者对各种病变表现的熟悉程度和临床经验, 且日常工作中不可能做到精细调节。

实验根据骨皮质密度较高, 其CT值与周围软组织可形成显著天然对比, 用表面遮盖法重建椎体等骨性组织效果较佳, 由于研究对象为完全剔除椎管外脏器的脊柱标本而非人体, 不用担心螺旋CT扫描发出X射线辐射对活体研究对象造成不良影响, 亦不会因减少扫描剂量致管电流过低从而影响图像质量, 避免了因正常人群不合作或患者术前、后失访而造成研究资源损失或不真实, 最大限度地排除了胸腹腔脏器对脊柱内结构影像表现的干扰。

实验采用的薄层断面切片技术实用、经济, 不会造成组织明显缺失、移位, 便于直接选取典型断面进行观察, 且标本的火棉胶包埋块外围有多个定位孔, 重建后的立体图像更逼真、可靠, 有助于术者提前对各种术式入路及手术视野所见形成立体思维, 并在一定程度上避免了椎管、椎间管等减压过程中的盲目性, 同时所观察标本人群的年龄段系发生胸腰椎管退行增生病变的易感中老年人群, 其在术前需物理查体和影像学表现一致方才实施减压手术, 如以本文断层立体解剖学资料作对照参考, 更有利于减少手术并发症发生率及影响程度。实验系改良火棉胶包埋法处理国人大体带骨脊柱标本后立体重建的首次尝试, 由于尸体来源困难及伦理学原因限制, 未能行中青年、高龄老年人群标本的分类观测, 亦未能进一步对颈椎、上、中段胸椎、下腰椎及骶尾椎进行断层解剖分析。

3.2 断层切片和CT二维图像意义比较 临床CT薄扫骨窗在观察椎间小关节退变、辨识椎体骨性结构骨折类型方面较清晰, 而黄韧带肥厚、椎间盘突出等椎体间铰链结构退行性变却以软组织窗显示较佳, 实验运用的标准窗不可能完全满足上述要求, 使二维图像对紧密贴附有软组织, 供脊髓、各脊神经根走行的骨性-纤维通道难以明确辨识, 对脊柱内神经结构水肿、血肿或变性等损伤表现不能清楚揭示, 尚需结合MRI、断层解剖资料作出判断。

而本文断层切片二维图层中的横、矢状断面可显示椎间管内脊神经和伴随节段动、静脉的走行过程, 获取脊神经自脊膜囊发出点及其前、后根汇合的位置数据, 有助于判断椎间管内、外韧带的来源和质地, 明确脊髓受压与脊神经根病的相互关系, 为侧椎管减压等微创手术入路积累详细资料; 冠状断面则可观察椎弓根形状、黄韧带在椎板缘附着延伸表现, 利于区分黄韧带与椎间关节囊的移行关系, 并可直观观测脊神经根鞘全长及其与脊膜囊纵轴间肩、腋部夹角和马尾神经的构成走行, 辨识椎管前、后壁各组成部分导致脊髓受压的表现。

3.3 断层切片和CT重建、观测价值比较 临床上胸腰段椎管狭窄多发生于椎间盘-椎间关节水平, 椎体节段间的连接结构受到各种不良应力反复刺激而发生退变增生、突出的概率较高^[1], 且常表现为椎间盘中央或外侧型突出与对侧椎间关节间脊髓受压, 而本文观测椎管斜径正是椎间盘水平中心与椎间关节内缘间的直线距离, 更能说明易发生椎管狭窄病变部位的真实内径, 较以往单纯观测椎管矢、横径、脊椎指数及椎管容量更具实用价值, 同时通过观测椎管斜径和同一平面的脊髓直径, 可间接了解硬脊膜囊前、后间隙厚度和根黄通道、盘黄间隙构成要素, 对各种内固定物置入具有指导作用。

实验CT扫描对象系上、下方皆已横断的脊柱标本, 其蛛网膜下腔内脑脊液已自然留空, 并被火棉胶充分浸透充盈, 使得标本在作CT扫描时不会发生明显组织变形或移位, 且由于脊髓表面及马尾神经已与外层硬脊膜紧密相贴, CT重建测量的是真正意义上的脊髓直径, 而非活体对象含有脑脊液的硬脊膜囊直径, 因此利于区分椎管狭窄致硬脊膜囊受压与实质上致脊髓受压的界限范围。实验对同一脊柱标本均行水平、矢状和额状薄扫, 并将这3个序列的二维图像统一联合重建, 较以往单一序列图层重建更确切可信, 能有效避免图像信息丧失过多或定位不准导致的图像失真重叠。文章断层研究应用的Amira4.1三维可视化建模软件系在原有基础上由北京国遥万维公司新增了多种配套软件包, 可对断面图像实施点对点的精确对位与配准, 具有功能多样、操作简便、运算速度快等特点, 因生成的三维实体模型轮廓平滑及结构清晰, 较CT重建效果为佳, 减小了在尸体标本上直接测量难度和因形变原因产生的观测误差。

以往标本结构指标常在X射线片及CT二维图像上人工测量, 亦可在包括软组织或干燥的纯骨骼标本上用直、游标卡尺测量, 抑或用橡皮泥塑型后间接测量^[6], 这些方法由于不同程度地受到人为主观因素、测量工具或技术限制及骨骼本身已有毁损等环节影响, 难以复制出人体天然结构的精确参数, 而断层切片重建可真实再现人体脊柱结构, 揭示其与临床表现的内在联系, 并由软件精确辨识重建用的定位点和标记观测用的参数设置点后, 沿靶结构走行路径行直或曲线测量。

CT临床检查多为骨科医师在了解患者发病过程和行物理查体后, 再决定扫描区域和方位序列, 一般扫描层次较少或层面间隔较大, 有时可导致未扫描至真正病

灶部位而造成漏诊,更不能有效积累胸腰髓、脊神经走行通道中伴随结构的连续图谱数据,而实验薄层断面重建既可无间断观察神经、血管组织走行,又可借助多平面、透明成像技术观察脊神经前、后根及椎间管外脊神经前、后支走行解剖的一般及变异表现,便于直观立体显示椎管、侧椎管及椎间管内各结构相互关系。

3.4 两法在观测相关指标时的异同比较 综合CT二维图像、断层切片及各自立体图谱、观测结果,发现胸腰段脊神经断面呈椭圆形,大部位于椎间孔上半。下胸椎脊神经横截面较小,椎间管宽度在下胸椎依次增大,椎间管长度相对较短;而上腰椎脊神经根直径较粗,椎间管宽度在上腰椎依次变小,椎间管长度相对较长,致使上腰段脊神经根在椎间管的实际走行路径较远,脊神经横断面与椎间管截面积间比值在上腰椎较下胸椎明显增大,提示椎间管退变狭窄压迫上腰段脊神经的概率和程度应较下胸段更为常见和严重,而椎间管高度又明显大于其对应宽度,故椎间盘、黄韧带、椎间关节囊等非骨性组织在前后方向压迫脊神经根的概率显著高于源自上下方向的椎弓根等骨性组织。

椎体横断面积随脊椎序数增加而逐步增大,表明下胸椎前柱结构承受机械负重能力较上腰椎为弱,且下胸椎关节突关节面与水平、冠状面均成锐角,这使其小关节结构能够帮助承载上位椎体节段的部分重力传导,而上腰椎小关节间隙与水平面成近直角,这使上腰椎中、后柱结构承载传导重力等机械应力的功能有所下降,由于上腰椎管周围附着肌肉群相对发达,使上腰椎弓根将椎弓板后柱结构承受的机械应力传递至椎体前柱的作用减弱,而下胸椎弓根的传导作用却相对增加,表明胸腰段椎弓根纵径较其横径与承重力传导机能更具密切联系^[2],这与椎弓根纵径在下胸椎依次增加而在上腰椎又逐渐下降的观测结果一致。

上述观测数据表明,上腰髓对椎管周边壁的多向压迫缓冲余地较大,而下胸髓较易受到椎管狭窄影响。由于下胸椎管内有腰骶膨大、马尾神经与自脊膜囊发出的脊神经共存并排列下行,导致椎管内有效容积相对较小和椎管内占位病变更易累及脊髓组织,加之胸椎更易受特发肥厚增生性骨病、氟骨症等病症累及,致使胸腰段椎管减压术中发生脊髓栓系综合症的概率在下胸椎多见,下胸椎管狭窄又可发生上、下运动神经元通路损害的多样化表现^[3];而在上腰椎管内一般仅有脊髓末端和马

尾神经的囊内、外部分,其抗反复牵拉刺激的能力较强,硬脊膜前、后组织厚度亦较下胸椎宽大,这在一定程度上可缓冲椎管壁增生对脊髓压迫的损伤程度,使上腰椎管狭窄表现多以下运动神经元通路损害为主。

由于CT自身对硬膜外隙内软组织空间、密度分辨率较差,致使其测量脊髓直径结果整体上较断层切片重建稍大,亦由于CT对椎管、侧椎管、椎间管内附着的各韧带组织辨认困难,使其观测结果仍较断层切片重建为长,两法在观测上述4个结构参数时存在一定差异,而在观测椎间管长度、椎弓根相关径值时,由于观察直线距离的两终端设定点皆为骨性结构,两法皆能对骨性结构清晰区分辨别,故两组数据间均无显著差异,但CT和断层切片重建在总体上分析上述靶结构参数随椎间隙或椎体节段序数增加而发生变化的走势规律时基本一致。

3.5 火棉胶技术发展和优势 64排CT进行尸体标本薄扫,虽具备空间和时间高分辨力^[6],在一定程度上避免伪影效应,实现真正容积数据采集,通过多个方向调整而获得任意切面图像,完成多层面或器官表面重建,获得近似于内窥镜技术的数据信息,但其相近CT值结构精确区分仍依赖于操作者实际经验和工作站效能。

目前火棉胶包埋断层切片技术已广泛用于肱二头肌长头腱脱位机制^[7],肘管和滑车上肘肌解剖学研究^[8],以及前列腺^[9]、视神经管^[10]、翼腭窝^[11]、颅底、耳蜗结构和直肠阴道隔薄层断层解剖学研究^[5, 12-15],为相关科室提供了丰富图像资料和参考依据,避免了手术医师长时间射线辐射。改良火棉胶包埋结合激光显微断层切片技术^[16],经等分乙醇和乙醚混合液脱胶,可完整分离部分结构、细胞群或单个靶细胞,用于线粒体DNA缺失等突变定量分析,从DNA突变水平揭示细胞功能衰竭实质或某些疾病微观机理;火棉胶包埋标本还可行TUNEL凋亡染色后DRAQ5核复染^[17],同时行I型胶原纤维和COXIII免疫组化染色,DNA洗脱提取和实时聚合酶链反应;模拟胸腰椎椎弓根钉内固定时,置入椎弓根钉时所采取上倾角、下倾角、外倾角和深度等参数的安全范围^[18],明确椎间管内外节段血管走行和毗邻关系^[19],减少C型臂透视或计算机导航系统定位时间,提高手术操作安全性,并可在包埋脊柱模型上加加载弯曲和旋转等力矩,进行三维有限元生物力学分析^[20],观测椎弓或盘黄间隙宽度与上下关节突间隙相关性^[21],明确休莫氏结节或Modic改变机制^[22]。

基金资助: 武警后勤学院博士启动金科研基金项目 (WYB201109), 课题名称: 单隧道双束(四股)重建前交叉韧带不同股骨隧道和固定方式的生物力学意义研究。

致谢: 感谢我院骨科医护人员提供标本保管、图像采集、联系 CT 室协作、维护大脑切片机等方面的帮助!

作者贡献: 第一作者巩腾进行临床研究, 资料收集、图像分析、实验设计和统计分析, 进行成文和图像; 第二作者王景贵进行审校、实验评估和对文章负责。

利益冲突: 说明课题是否涉及任何厂家及相关雇主或其他经济组织直接或间接的经济或利益的赞助。

伦理要求: 已征得和签署尸源家属知情同意书, 断层切片已获武警总部、后勤学院和附属医院伦理委员会认证批准。实验过程中对成人尸体标本的处置符合我国现行相关伦理学标准的条例。

作者声明: 文章为原创作品, 数据准确, 内容不涉及泄密, 无一稿两投, 无抄袭, 无内容剽窃, 无作者署名争议, 无与他人课题以及专利技术的争执, 内容真实, 文责自负。

4 参考文献

- [1] Xu SD, Guo SF. Beijing: The Publishing House of People's Health. 2002:593-595.
胥少汀, 郭世绛. 脊髓损伤基础与临床[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2002:593-595.
- [2] Zheng YF, Zhang T, Wang ZG, et al. Zhonghua Guke Zazhi. 2007;27(1):26-29.
郑永发, 张弢, 王志钢, 等. 下胸椎椎管狭窄症的临床和治疗特点[J]. 中华骨科杂志, 2007, 27(1):26-29.
- [3] Guo SF. Tianji: Tianjing science & technology press. 1989: 129-136.
郭世绛. 临床骨科解剖学[M]. 天津科学技术出版社, 1989: 129-136.
- [4] Lou CF, Hu CF, Gao H, et al. Zhonghua Chuangshang Guke Zazhi. 2009;11(3):201-205.
罗从风, 胡承方, 高洪, 等. 基于CT的胫骨平台骨折的三柱分型[J]. 中华创伤骨科杂志, 2009, 11(3):201-205.
- [5] Liu JH, Shi XT. Jiepouxue Yonjiu. 2010;06:457-458.
刘健华, 石小田. 前庭蜗器整体标本的设计与制作[J]. 解剖学研究, 2010, 06:457-458.
- [6] Yuan P, Wang WC. Zhongnan Daxue Xuebao(Yixueban). 2010 ;35(1) :85-89.
袁平, 王万春. 膝关节三维有限元模型的建立及生物力学分析[J]. 中南大学学报(医学版), 2010, 35(1) :85-89.
- [7] Ding S, Jia KF, Zai LD, et al. Jiepouxue Yanjiu. 2010;06: 401-404, 407.
丁实, 贾科锋, 翟丽东, 等. 结节间沟及其毗邻结构断层解剖学研究[J]. 解剖学研究, 2010, 06:401-404, 407.
- [8] Jia KF, Ding S, Zai LD, et al. Zhongguo Linchuang Jiepouxue Zazhi. 2011;29(2):140-144.
贾科锋, 丁实, 翟丽东, 等. 肘管与滑车上肘肌的解剖学研究及其临床意义[J]. 中国临床解剖学杂志, 2011, 29(2):140-144.
- [9] Gao W, Yuan W, Han Y, et al. Zhongguo Linchuang Jiepouxue Zazhi. 2011;29(4): 413-417.
高炜, 袁武, 韩悦, 等. 前列腺解剖带区的断层切片与MRI图像对照研究[J]. 中国临床解剖学杂志, 2011, 29(4): 413-417.
- [10] Lv YB, Zhao LW, Wu Y, et al. Zhongguo Linchuang Jiepouxue Zazhi. 2010;28(5):518-522.
吕杨波, 赵立武, 吴樾, 等. 视神经管手术入路断层与应用解剖学研究[J]. 中国临床解剖学杂志, 2010, 28(5):518-522.
- [11] Wang H, Miao YY, FU SQ. Jiepouxue Yanjiu. 2010;06: 405-408.
王华, 苗莹莹, 付升旗. 翼腭间隙的断层影像解剖及临床意义[J]. 解剖学研究, 2010, 06:405-408.
- [12] Zai LD, Liu J, Yuan W, et al. Zhong guo Linchuang Jiepouxue Zazhi. 2009, 27(04):405-407.
翟丽东, 刘瑾, 袁武, 等. 直肠阴道隔的解剖学研究及其临床意义[J]. 中国临床解剖学杂志, 2009, 27(04):405-407.
- [13] Liu J, Zai LD, Li YS. Zhongguo Linchuang Jiepouxue Zazhi. 2009;27(06):663-664.
刘瑾, 翟丽东, 李云生. 直肠阴道隔(IWS)区域的薄层断面解剖学研究[J]. 中国临床解剖学杂志, 2009, 27(06):663-664.
- [14] Zhai LD, Liu J, Li YS, et al. Denonvilliers' fascia in women and its relationship with the fascia propria of the rectum examined by successive slices of celloidin-embedded pelvic viscera. Dis Colon Rectum. 2009;52(9):1564-571.
- [15] Zhai LD, Liu J, Li YS, et al. The male rectourethralis and deep transverse perineal muscles and their relationship to adjacent structures examined with successive slices of celloidin-embedded pelvic viscera. Eur Urol. 2011;59(3): 415-421.
- [16] Markaryan A, Nelson EG, Tretiakova M, et al. Technical report: laser microdissection of cochlear structures from celloidin embedded human temporal bone tissues and detection of the mitochondrial DNA common deletion using real time PCR. Hear Res. 2008;244(1-2):1-6.
- [17] Markaryan A, Nelson EG, Tretiakova M, et al. Technical report: immunofluorescence and TUNEL staining of celloidin embedded human temporal bone tissues. Hear Res. 2008;241(1-2):1-6.
- [18] Cai JM, Cheng LM, Jia YW. Zhongguo Jiaoxing Waikexue Zazhi. 2010;18(24):2042-2045.
蔡佳敏, 程黎明, 贾永伟. 胸腰段椎体成形术单侧经椎弓根穿刺的数字化模拟研究[J]. 中国矫形外科杂志, 2010, 18(24):2042-2045.
- [19] Ouyang ZH, Ouyang HJ. Zhongguo Yixue Yinxiangxue Zazhi. 2011;19(01): 73-75.
欧阳志和, 欧阳厚涂. 胸腰结合段侧面血管的影像解剖学研究[J]. 中国医学影像学杂志, 2011, 19(01): 73-75.
- [20] Abbas J, Hamoud K, Masharawi YM, et al. Ligamentum flavum thickness in normal and stenotic spines. Spine. 2010; 35(12):1225-1230.
- [21] Masharawi Y, Dar G, Peleg S, et al. Lumbar facet anatomy changes in spondylolysis: a comparative skeletal study. Eur Spine J. 2007;16(7):993-999.
- [22] Dar G, Masharawi Y, Peleg S, et al. Schmorl's nodes distribution in the human spine and its possible etiology. Eur Spine J. Eur Spine J. 2010;19(4): 670-675.