

临床论著

腰椎出口神经根与上关节突毗邻关系的 CT 观察

杨晋才, 张黎明, 尹 鹏, 刘 畅, 丁 一

(首都医科大学附属北京朝阳医院骨科 100020 北京市)

【摘要】目的:通过 CT 多平面重建(multi-planar reformation,MPR)技术测量腰椎椎间孔内出口神经根与上关节突之间的距离,为临床经皮椎间孔脊柱内窥镜下手术提供解剖学参考。方法:纳入 2018 年 1 月~2 月在我院行腰骶部多层螺旋 CT 连续断层扫描的 60 例健康志愿者,排除既往有腰椎疾病史及腰椎手术史者,男、女各 30 例,年龄 21~73 岁(50.8 ± 13.2 岁)。将扫描得到的 CT 图像进行 MPR,测量 L1~L5 椎间孔内出口神经根分别与上关节突尖部、前缘中点及根部之间的最短距离。结果:①L1~L5 出口神经根与上关节突之间的距离在男、女性之间以及左右两侧之间无显著性差异($P>0.05$);②出口神经根与上关节突间距离从 L1~L5 逐渐增大,但仅相差约 1mm,其中 L5 出口神经根与 S1 上关节突尖部、前缘中点及根部的距离最大,分别为 $3.91\pm 0.50\text{mm}$ 、 $4.67\pm 0.57\text{mm}$ 、 $5.77\pm 0.56\text{mm}$;③出口神经根与上关节突尖部、前缘中点及根部之间的距离逐渐增大,神经根与上关节突距离最大值为神经根与上关节根部的距离,分别为 L1 $4.29\pm 0.20\text{mm}$,L2 $4.36\pm 0.27\text{mm}$,L3 $4.61\pm 0.44\text{mm}$,L4 $4.92\pm 0.39\text{mm}$,L5 $5.77\pm 0.56\text{mm}$;④L1~L5 出口神经根与上关节突之间距离从尖部至根部逐渐增大,根部与尖部的距离差值范围为 $0.92\pm 0.31\text{mm}$ ~ $1.86\pm 0.57\text{mm}$,呈近端窄远端宽的“梯形”。结论:腰椎椎间孔内出口神经根与上关节突之间的“骨-神经间隙”在三维空间内呈近似平行或近端窄远端宽的梯形;在椎间孔内置入脊柱内窥镜工作通道时为避免对出口神经根的损伤,应适当进行椎间孔扩大成形。

【关键词】腰椎出口神经根;上关节突;CT;腰椎间盘突出切除术

doi:10.3969/j.issn.1004-406X.2018.10.04

中图分类号:R814.42,R445 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2018)-10-0888-07

Relationship between exiting nerve roots and superior articular process: a CT study of lumbar anatomy/YANG Jincai, ZHANG Liming, YIN Peng, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2018, 28(10): 888-894

【Abstract】Objectives: To measure the distance between the exiting nerve roots and the superior articular process in the lumbar intervertebral foramen by the multi-planar reformation(MPR) technique, and to provide important anatomic reference for clinical percutaneous transforaminal spinal endoscopic surgery. Methods: This study included 60 healthy volunteers who underwent multi-slice spiral CT continuous tomography from January to February 2018, 30 males and 30 females, with an average age of $50.8\pm 13.2(21-73)$ years. The scanned CT images were reformatted by MPR technique to measure the distance between the exiting nerve roots and the tip of the superior articular process, the midpoint of the superior articular process, the root of the superior articular process in the L1-L5 intervertebral foramen. Results: ①The distances between the exiting nerve roots and the superior articular process in the L1-L5 intervertebral foramen were not significantly different between different genders or between the left and right side of lumbar spine($P>0.05$). ②The distances between the exiting nerve root and the superior articular process gradually increased from L1 to L5, but the differences were only about 1mm. The distances between the L5 exiting nerve root and the tip, the midpoint, the root of the superior articular process were $3.91\pm 0.50\text{mm}$, $4.67\pm 0.57\text{mm}$, $5.77\pm 0.56\text{mm}$ respectively. ③The distances between the exiting nerve root and the tip, the midpoint of the leading edge, the root of the superior joint gradually increased, and the maximum distances were $4.29\pm 0.20\text{mm}$ in L1, $4.36\pm 0.27\text{mm}$ in L2, $4.61\pm 0.44\text{mm}$ in L3, $4.92\pm 0.39\text{mm}$ in L4, $5.77\pm 0.56\text{mm}$ in L5. ④The distance between the exiting nerve roots and the superior articular process gradually increased from tip to root in L1-L5, and the differences ranged from $0.92\pm 0.31\text{mm}$ to $1.86\pm 0.57\text{mm}$, which presented a trapezoid shape. Conclusions: The three-dimensional bone-

第一作者简介:男(1965-),主任医师,教授,硕士研究生导师,研究方向:微创脊柱外科

电话:(010)85231229 E-mail:jincay2008@163.com

nerve space between the exiting nerve root and the superior articular process in the lumbar intervertebral foramen is approximately parallel or trapezoid shape which is narrow in proximal end and wide in distal end. To reduce the injury rate of exiting nerve roots in PELD, the foraminoplasty to enlarge the intervertebral foramen near the facet joint is strongly recommended before the introduction of 7.5mm-diameter working cannula.

【Key words】 Lumbar exiting nerve roots; Superior articular process; CT; Lumbar discectomy

【Author's address】 Department of Orthopedics, Beijing Chaoyang Hospital, Capital Medical University, Beijing, 100020, China

随着脊柱微创外科技术的发展,经皮内窥镜下腰椎间盘突出切除术(percutaneous endoscopic lumbar discectomy, PELD)逐渐成为治疗腰椎间盘突出症(LDH)的主要手术方式之一,与传统开放椎间盘切除手术相比,具有保护椎旁重要结构、出血少、住院时间短、恢复快、术后疼痛轻及维护脊柱稳定性等优势^[1-3]。目前常用的脊柱内窥镜下手术主要有 Yeung 等^[4]设计的 YESS (Yeung endoscopy spine system)技术和 Hoogland 等^[5]设计的 TESSYS (transforaminal endoscopy spine system)技术。PELD 在经椎间孔内 Kambin 安全三角区^[6]进行穿刺置管或椎间孔的扩大成形过程中,由于上关节突与出口神经根的“骨-神经间隙”非常狭窄,穿刺过程中极易损伤神经根,导致神经根并发症发生^[7]。正确认识腰椎出口神经根与上关节突之间的位置关系对于提高手术成功率至关重要。以往文献主要集中于腰神经根解剖结构的研究^[8,9],尚未见出口神经根与上关节突相对位置关系的研究报告。本研究利用腰椎 CT 多平面重建(multi planar reformation, MPR)成像技术,在任意斜面腰椎重建图像下观察出口神经根与上关节突的形态位置关系,并测量腰椎出口神经根与上关节突之间的距离,为临床经皮脊柱内窥镜下手术提供解剖学参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料

纳入 2018 年 1 月~2 月在我院行腰骶部多层螺旋 CT 连续断层扫描检查的 60 例健康志愿者,男 30 例,女 30 例,年龄 21~73 岁(50.8 ± 13.2 岁);身高 155~183cm(165.2 ± 6.2 cm);体重 44.5~83.5kg(63.7 ± 12.2 kg);BMI 为 23.4 ± 4.2 kg/m² ($18.5 \sim 28.9$ kg/m²)。

入选标准:①无腰椎疾病及腰椎手术史;②无腰腿疼痛病史;③无腰部疼痛及下肢放射痛等症

状;④无下肢麻木、间歇性跛行等神经根性症状;⑤影像学检查无腰椎间盘突出压迫神经根,无腰椎管狭窄、关节突增生、腰椎滑脱、腰椎骨折、椎间隙狭窄及退变性侧凸等表现。

1.2 扫描方法

采用德国产 Siemens Somatom definition 64 AS+螺旋 CT 扫描机,扫描参数:120kV, 250mAs, 层厚 0.8mm, 层距 1.0mm, 矩阵 515×512, 探测器准直为 128×0.6mm。

1.3 图像重建

将扫描后的图像按照以下重建条件进行重建:层厚 1mm, 层间隔 1mm, 窗宽:腰椎;把重建后的图像传输至图像处理软件:Advantage Workstation AW4.2_07, 进行 MPR, 获得冠状面、矢状面、任意角度斜面 MPR 腰神经根图像。

1.4 测量方法及测量指标

将重建图像在工作站中将三维旋转中心分别在斜面、冠状面、矢状面和轴位平面定位于上关节突顶点(图 1),在斜面重建图像上首先将图像向测量一侧水平旋转 45°(图 2a),然后向下旋转 10°~15°,调整至可清楚显示腰椎出口神经根与上关节突前缘(图 2b),分别在 L1/2、L2/3、L3/4、L4/5 和 L5/S1 左右侧椎间孔内依次从上至下测量:出口神经根与上关节突尖部、上关节突前缘中点及上关节突根部的距离(图 3)。为尽量减少测量误差,将测量窗显示野统一设定为 18cm。

1.5 统计学处理方法

采用统计学软件 SPSS 22.0 进行数据分析,对计数资料首先进行正态性检验, $P>0.05$ 为服从正态性分布;采用独立样本的 t 检验对不同性别及腰椎左右侧数据的差异进行比较, $P<0.05$ 为有显著性差异。

2 结果

计数资料进行正态性检验均符合正态分布

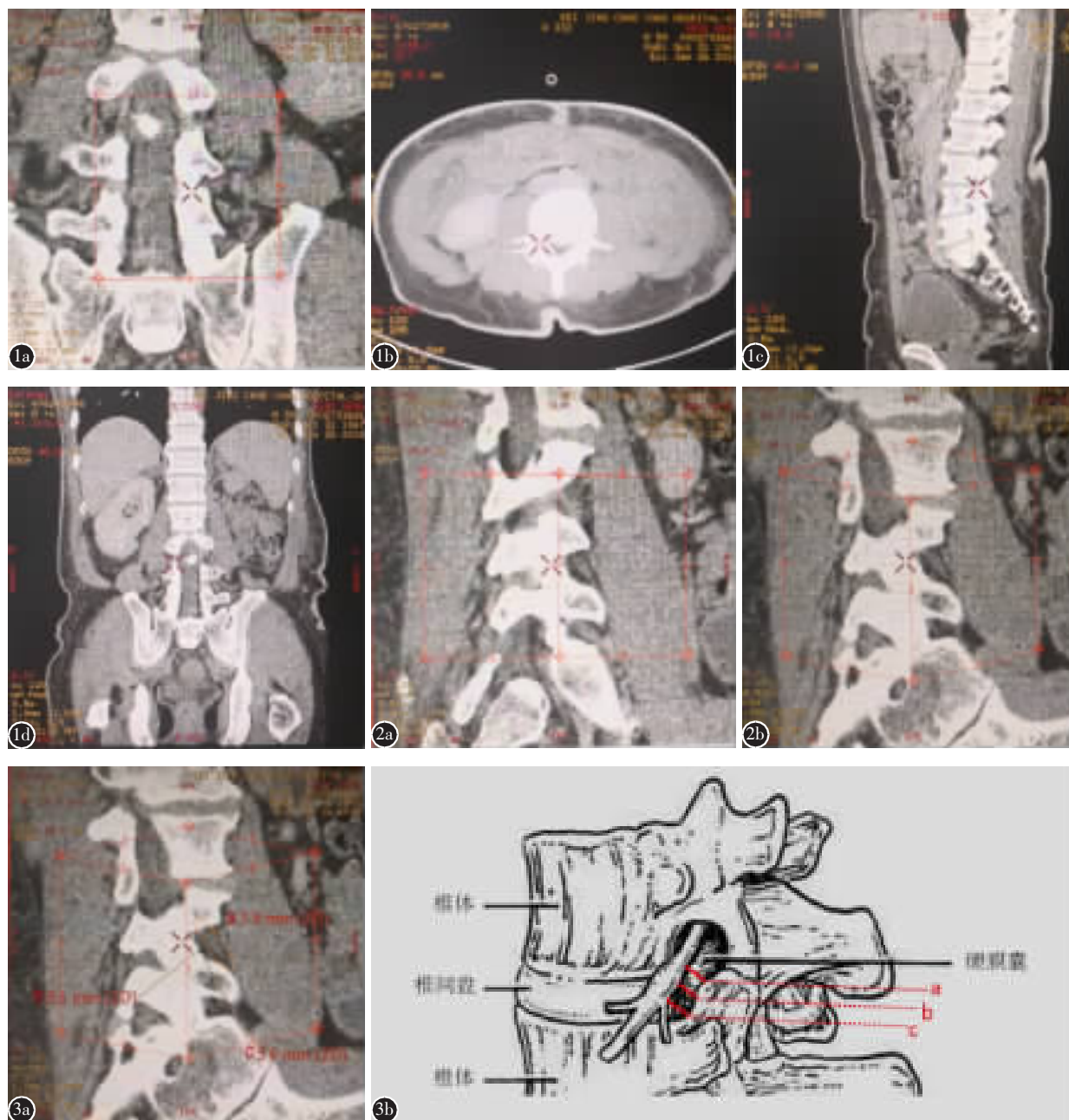


图 1 将三维旋转中心定位于上关节突顶点 a 重建斜位图像 b 轴位图像 c 矢状位图像 d 冠状位图像 图 2 调整测量图像 a 在斜面重建图像上将图像向测量一侧水平旋转 45° b 继续向下旋转 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$, 调整至可清楚显示腰椎出口神经根与上关节突前缘 图 3 在椎间孔内从上至下依次测量上关节突尖部与出口神经根的距离(a)、上关节突前缘中点与出口神经根的距离(b)、上关节突根部与出口神经根的距离(c)(a 重建图像 b 示意图)

Figure 1 Positioning the three-dimensional center of rotation at the tip of superior articular process a reformatted oblique image b axial image c sagittal image d coronal image **Figure 2** Adjust measurement image a rotate the image horizontally 45° toward the measurement side on the reformatted oblique image b rotate downward $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$ and adjust to clearly show the lumbar spine exiting nerve root and superior articular process leading edge **Figure 3** Measure the distance from top to bottom in the intervertebral foramen, a is the distance between the exiting nerve roots and the tip of the superior articular process; b is the distance between the exiting nerve roots and the midpoint of the superior articular process; c is the distance between the exiting nerve roots and the root of the superior articular process

($P>0.05$)。不同性别 L1~L5 左右侧神经根与上关节突距离见表 1。同性别相同节段神经根左右侧之间、不同性别相同节段神经根与上关节突肩部、上关节突前缘中点及上关节突与横突交界处的距离均无显著性差异($P>0.05$)。将左右侧和男女性数据合并统计。腰椎不同节段出口神经根与上关节突尖部、前缘中点及根部同一部位的距离在 L1~L5 有逐渐增大的趋势, 但仅相差约 1mm; L5 出口神经根与 S1 上关节突距离最大; L1~L5 出口神经根与上关节突尖部、前缘中点及根部之间的距离逐渐增大, 其中神经根与上关节根部的距离最大; 神经根与上关节突根部和与尖部的距离差异较小, 呈近端窄远端宽的“梯形”。

3 讨论

慢性腰背痛和坐骨神经痛通常是由于腰椎退变导致神经根受到刺激或压迫引起^[10], 其中超过 90% 的病例是由于 LDH 导致^[11,12]。国外文献报道 LDH 的发病率在 1%~3%^[13], 国内报道的 LDH 发病率在 10% 左右, 并且随年龄增加而逐渐升高^[14],

其中约 10%~20% 的 LDH 患者经保守治疗无效, 需要接受手术治疗^[15]。传统的开放手术虽然可以取得良好的临床效果, 但存在椎旁肌肉损伤大, 术后康复慢等问题^[16,17]。PELD 治疗 LDH, 特别是以 TESSY^[5]技术为代表的椎管内减压技术目前已经成为治疗 LDH 的主流微创技术。1975 年, 日本 Hijikata 等^[18]率先采用经皮后外侧入路髓核摘除术治疗 LDH。20 世纪 80 年代, Forst 等^[19]和 Schreiber 等^[20]在改良的关节镜下直接观察到了活体的椎间盘组织, 并将内窥镜技术应用于脊柱外科。目前, PELD 已成为脊柱外科治疗 LDH 最微创和最有效的手术方式之一。1991 年, Kambin^[21]通过人体解剖学对椎间孔区域进行了深入研究, 首次描述了椎间孔的安全区域或称工作区域 (“Safe” or “Working” Zone), 其外上界为出口神经根, 内侧界为硬膜囊或行走神经根, 下界为下位椎体的上终板, 后侧界为下位椎体的上关节突。有学者将这个四条边界围成的类三角形的立体结构简化为由下位椎体上终板、硬膜囊或行走神经根、出口神经根围成的三角形区域^[22], 虽然这种“椎间

表 1 不同性别 L1~L5 左右侧出口神经根与上关节突的距离

($\bar{x}\pm s$, mm)

Table 1 Comparison of the distance between L1-L5 nerve roots and superior articular process on both sides for different genders

	男/Male			女/Female			总合计 Total
	左侧/Left	右侧/Right	合计/Total	左侧/Left	右侧/Right	合计/Total	
L1a	3.35±0.24	3.39±0.46	3.38±0.33	3.35±0.29	3.37±0.43	3.37±0.23	3.38±0.28
L1b	3.79±0.34	3.68±0.54	3.78±0.28	3.82±0.44	3.69±0.53	3.78±0.25	3.80±0.26
L1c	4.19±0.25	4.32±0.53	4.29±0.31	4.44±0.42	4.35±0.28	4.38±0.37	4.29±0.20
L2a	3.37±0.46	3.32±0.34	3.37±0.32	3.37±0.25	3.34±0.59	3.35±0.60	3.36±0.26
L2b	3.91±0.55	4.06±0.58	3.94±0.52	4.02±0.54	4.07±0.52	4.03±0.44	4.01±0.38
L2c	4.32±0.36	4.41±0.39	4.38±0.17	4.31±0.56	4.40±0.47	4.38±0.48	4.36±0.27
L3a	3.40±0.36	3.52±0.43	3.48±0.39	3.35±0.24	3.40±0.36	3.38±0.58	3.50±0.36
L3b	4.02±0.73	4.18±0.54	4.10±0.49	3.83±0.49	4.10±0.45	4.05±0.40	4.12±0.40
L3c	4.48±0.78	4.64±0.39	4.61±0.58	4.50±0.67	4.63±0.49	4.62±0.69	4.61±0.44
L4a	3.59±0.37	3.69±0.43	3.64±0.50	3.54±0.49	3.60±0.45	3.60±0.29	3.62±0.39
L4b	4.02±0.85	4.32±0.56	4.24±0.36	4.26±0.57	4.01±0.49	4.13±0.55	4.15±0.32
L4c	4.87±0.67	5.00±0.75	4.93±0.43	4.89±0.57	4.96±0.78	4.92±0.61	4.92±0.39
L5a	3.79±0.65	4.01±0.44	3.91±0.66	3.86±0.67	3.93±0.78	3.91±0.93	3.91±0.50
L5b	4.60±0.78	4.58±0.35	4.59±0.74	4.68±0.89	4.41±0.99	4.55±1.00	4.67±0.57
L5c	5.70±0.10	5.86±0.99	5.86±0.79	5.63±0.37	5.72±0.55	5.71±0.77	5.77±0.56

注: a, 出口神经根与上关节突尖部距离; b, 出口神经根与上关节突前缘中点距离; c, 出口神经根与上关节突根部距离

Note: a, the distance between the exiting nerve roots and the tip of the superior articular process; b, the distance between the exiting nerve roots and the midpoint of the superior articular process; c, the distance between the exiting nerve roots and the root of the superior articular process

孔三角”的描述便于理解出口神经根及椎间孔区域的解剖结构,但是忽略了上关节突这一重要骨性结构,尤其是对于腰椎侧后方入路或经椎间孔穿刺的手术,此种描述容易造成一定的误导性,如果出口神经根与上关节突成角关系,那么靠近上关节突根部进行穿刺等操作会避免神经根损伤,但实际手术进行置管等操作过程中仍会造成出口神经根刺激,引起神经根损伤的并发症。对椎间孔区域的研究中,MRI 能清楚显示出口神经根的走行,但是对于骨性结构辨识度不高,而人体解剖学研究当中由于塑化成形和解剖操作等会改变神经根与上关节突的固有解剖关系,目前尚无腰椎出口神经根与上关节突之间的解剖位置关系的研究报道。PELD 的手术常见并发症有:疼痛、神经根损伤与硬脊膜损伤、术中出血及术后血肿形成、椎间隙感染、穿刺引起脏器损伤等^[7,23-25],最严重的并发症是对神经根或硬脊膜造成损伤,而目前最常用的两种脊柱内窥镜技术 YESS 技术和 TESSYS 技术都存在着出口神经根损伤并发症风险^[3,26],出口神经根损伤主要发生在关节突成形和穿刺过程中^[27,28],因此,准确辨认可出口神经根与上关节突之间的解剖关系,对于减少出口神经根损伤至关重要。

既往在尸体标本中研究腰椎神经根及毗邻结构时存在多种干预因素,包括标本年龄差距大,防腐处理后对神经根及毗邻结构有一定影响^[29],且大样本研究报道并不多见。Hoshide 等^[30]在 Kambin 三角的解剖研究中将 Kambin 三角的边界在二维平面内描述为出口神经根、下位椎体上终板与上关节突之间的三角区域,此区域面积在 60~108mm² 之间。但在本研究中发现,腰椎上关节突前缘并非为与矢状面平行结构,因此出口神经根与上关节突之间不能简单理解为 Kambin 三角的斜边与底边,二者在三维空间内更近似为不规则的梯形关系。Hardenbrook 等^[31]在经椎间孔内窥镜下椎体间融合的尸体解剖分析中,将 Kambin 三角区分为工作三角和安全区,工作三角为下位椎弓根上缘与出口神经根和硬膜囊之间区域,而安全区是由上下位椎弓根与出口神经根和硬膜囊之间构成的梯形区域,并在测量中发现在椎弓根的内侧缘向上延伸 11.9mm 内都没有神经结构,在椎弓根的外侧缘距出口神经根较近,最近处仅有 3mm。椎弓根确实为出口神经根重要毗邻结

构,但研究中并未指出上关节突与出口神经根之间的关系。本研究中观察发现上关节突与出口神经根的间距非常狭窄,最近处仅有约 $3.36 \pm 0.26\text{mm}$,所以上关节突在经椎间孔穿刺入路手术中是保护出口神经根的重要解剖标志。在腰骶神经根的影像学检查中,MR 神经显像(magnetic resonance neurography, MRN)技术逐渐成熟,对神经根有良好显像^[32]。王洪立等^[33]通过 MRN 技术测量腰骶神经根及毗邻结构的相关解剖参数,得到良好显像。但也只是测量出口神经根与椎弓根的关系。因 MRN 只能在二维平面上测量,不能旋转定位特定平面,所以不能对出口神经根与上关节突的位置关系呈现良好显像。巴兆玉等^[34]、冉鹏程等^[35]利用 3D-MR 扫描方法分别测量了后根神经节及腰神经,获得了正常成人的参考数据,但未涉及腰神经根与上关节突的相对关系。本研究利用三维 CT 能对上关节突骨性结构及腰椎出口神经根在腰椎窗宽下都能良好显像的特点,利用 MPR 重建技术,旋转 CT 图像至清楚显示腰椎出口神经根和上关节突之间的位置关系,观察并测量腰椎出口神经根与上关节突尖部、前缘中点及根部的距离,结果显示腰椎椎间孔内出口神经根与上关节突之间的“骨-神经间隙”在三维空间内呈近似平行或近端窄远端宽的梯形关系,腰椎出口神经根出硬脊膜后从椎间孔斜向侧前方向下走行。研究中测量的 L1~L5 出口神经根与上关节突之间的距离最大值与最小值的差值范围在 $0.92 \pm 0.31\text{mm} \sim 1.86 \pm 0.57\text{mm}$ 之间,其中包括 L5/S1 椎间孔。

应用 PELD 技术治疗 LDH 时,应根据不同患者的神经根走行和关节突的位置制定详细的穿刺和关节突成形方案。本研究选取 60 例(男、女各 30 例)非腰椎疾病患者的左右两侧共 120 组腰骶部多层螺旋 CT 连续断层扫描数据,进行多平面重建(MPR)成像,测量 L1~L5 出口神经根分别与上关节突尖部、上关节突前缘中点及上关节突根部的距离。结果发现腰椎出口神经根与上关节突的距离范围在 $3.36 \pm 0.26\text{mm} \sim 5.77 \pm 0.56\text{mm}$ 之间,并且从 L1 至 L5 逐渐增大,但其差值较小,仅在 1mm 之内。神经根与上关节突距离最大值为神经根与上关节根部的距离,分别为 L1 $4.29 \pm 0.20\text{mm}$, L2 $4.36 \pm 0.27\text{mm}$, L3 $4.61 \pm 0.44\text{mm}$, L4 $4.92 \pm 0.39\text{mm}$, L5 $5.77 \pm 0.56\text{mm}$, 从测量数据可发

现腰椎出口神经根与上关节突之间的间隙非常狭窄,不足以容纳 7.5mm 内窥镜工作通道,并且在下腰椎行经椎间孔手术与上位腰椎一样均存在损伤出口神经根的风险。Ozer 等^[36]在其 Kambin 三角形变异的解剖评估中,将 Kambin 三角形依据面积大小分为三种类型,其中有 50% 的患者 Kambin 三角成一个非常狭窄的间隙,32.3% 的患者 Kambin 三角内几乎没有间隙,与本研究结果相似。因此,在腰椎侧后方入路手术或经椎间孔穿刺时,无论是经上关节突尖部穿刺或经上关节突根部穿刺,均存在神经根损伤的风险。根据椎间孔的解剖结构^[37],在行 PELD 手术时要将 7.5mm 的工作通道安全置入椎间孔内,通常需要对贴近关节突关节侧的椎间孔进行扩大成形,尤其是椎管内减压手术^[38,39]。对一些高度游离的椎间盘突出或是椎管狭窄的复杂病例,椎间孔成形更是非常必要的^[40,41]。本研究数据为术前手术方案的制定、术中关节突成形和穿刺过程中减少出口神经根损伤提供了重要的解剖学参考。

本研究结果显示,腰椎椎间孔内出口神经根与上关节突之间仅存在狭窄的“骨-神经间隙”,并且在三维空间内呈近似平行或近端窄远端宽的梯形。PELD 在椎间孔内置入脊柱内窥镜工作通道时,极易造成腰椎出口神经根损伤等并发症的发生,安全置入需进行必要的椎间孔扩大成形术,以减少对出口神经根的损伤。

4 参考文献

- Cong L, Zhu Y, Tu G. A meta-analysis of endoscopic discectomy versus open discectomy for symptomatic lumbar disk herniation[J]. Eur Spine J, 2016, 25(1): 134-143.
- Rasouli MR, Rahimi-Movaghar V, Shokraneh F, et al. Minimally invasive discectomy versus microdiscectomy/open discectomy for symptomatic lumbar disc herniation [J]. Cochrane Database Syst Rev, 2014, 4(9): CD010328.
- Wang H, Huang B, Li C, et al. Learning curve for percutaneous endoscopic lumbar discectomy depending on the surgeon's training level of minimally invasive spine surgery [J]. Clin Neurol Neurosurg, 2013, 115(10): 1987-1991.
- Yeung AT. Minimally invasive disc surgery with the Yeung endoscopic spine system(YESS)[J]. Surg Technol Int, 1999, 8: 267-277.
- Schubert M, Hoogland T. Endoscopic transforaminal nucleotomy with foraminoplasty for lumbar disk herniation [J]. Oper Orthop Traumatol, 2005, 17(6): 641-661.
- Kambin P, O'Brien E, Zhou L, et al. Arthroscopic microdiscectomy and selective fragmentectomy [J]. Clin Orthop Relat Res, 1998, 347: 150-167.
- 蔡凯文, 幸永明, 王杰, 等. 经皮椎间孔镜下髓核摘除术的常见短期并发症的病因分析及处理对策[J]. 颈腰痛杂志, 2017, 38(2): 135-139.
- 李丽艳, 周顺科, 郭云志, 等. 正常成人腰神经根解剖结构的 MR 研究[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2014, 20(2): 161-164.
- 游箭, 张绍祥, 邱明国, 等. 腰神经根的薄层断面和 CT 解剖学研究[J]. 第三军医大学学报, 2004, 26(2): 142-145.
- Awad JN, Moskovich R. Lumbar disc herniations: surgical versus nonsurgical treatment[J]. Clin Orthop Relat Res, 2006, 443: 183-197.
- Valat JP, Genevay S, Marty M, et al. Sciatica[J]. Best Pract Res Clin Rheumatol, 2010, 24(2): 241-252.
- Mixter WJ, Barr JS, Mixter WJ, et al. Rupture of the intervertebral disc with involvement of spinal canal. N Engl J Med 1934[J]. J Neurosurg, 1934, 21(5): 210-215.
- Gibson JN, Cowie JG, Ipreburg M. Transforaminal endoscopic spinal surgery: the future 'gold standard' for discectomy: a review[J]. Surgeon, 2012, 10(5): 290-296.
- 张浩, 李文早, 张富军, 等. 主动运动疗法在两种不同类型腰椎间盘突出症的疗效观察[J]. 颈腰痛杂志, 2018, 39(1): 110-111.
- Saal JA. Natural history and nonoperative treatment of lumbar disc herniation[J]. Spine(Phila Pa 1976), 1996, 21(24 Suppl): 2S-9S.
- Ying J, Huang K, Zhu M, et al. The effect and feasibility study of transforaminal percutaneous endoscopic lumbar discectomy via superior border of inferior pedicle approach for down-migrated intracanal disc herniations[J]. Medicine(Baltimore), 2016, 95(8): e2899.
- Wang SJ, Chen BH, Wang P, et al. The effect of percutaneous endoscopic lumbar discectomy under different anesthesia on pain and immunity of patients with prolapse of lumbar intervertebral disc[J]. Eur Rev Med Pharmacol Sci, 2017, 21(12): 2793-2799.
- Hijikata S. Percutaneous nucleotomy: a new concept technique and 12 years' experience [J]. Clin Orthop Relat Res, 1989, 238: 9-23.
- Forst R, Hausmann B. Nucleoscopy—a new examination technique[J]. Arch Orthop Trauma Surg, 1983, 101(3): 219-221.
- Schreiber A, Suezawa Y, Leu H. Does percutaneous nucleotomy with discoscopy replace conventional discectomy? eight years of experience and results in treatment of herniated lumbar disc[J]. Clin Orthop Relat Res, 1989, 238: 35-42.
- Kambin P. Arthroscopic microdiscectomy[J]. Mt Sinai J Med, 1991, 58(2): 159-164.
- Park JW, Nam HS, Cho SK, et al. Kambin's triangle approach of lumbar transforaminal epidural injection with

- spinal stenosis[J]. *Ann Rehabil Med*, 2011, 35(6): 833–843.
23. Deen HG. Posterolateral endoscopic excision for lumbar disc herniation: surgical technique, outcome, and complications in 307 consecutive cases[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2002, 27(18): 2081–2082.
24. Jhala A, Mistry M. Endoscopic lumbar discectomy: experience of first 100 cases[J]. *Indian J Orthop*, 2010, 44(2): 184–190.
25. Ahn Y. Transforaminal percutaneous endoscopic lumbar discectomy: technical tips to prevent complications [J]. *Expert Rev Med Devices*, 2012, 9(4): 361–366.
26. Ruetten S, Komp M, Merk H, et al. Use of newly developed instruments and endoscopes: full-endoscopic resection of lumbar disc herniations via the interlaminar and lateral transforaminal approach[J]. *J Neurosurg Spine*, 2007, 6(6): 521–530.
27. Choi KC, Lee DC, Shim HK, et al. A strategy of percutaneous endoscopic lumbar discectomy for migrated disc herniation[J]. *World Neurosurg*, 2017, 99: 259–266.
28. 费奇, 赵凡, 杨雍, 等. 腰椎后路融合手术对失稳模型节段稳定性及相邻节段力学的影响[J]. *中华医学杂志*, 2015, 95(45): 3681–3686.
29. Filler AG, Maravilla KR, Tsuruda JS. MR neurography and muscle MR imaging for image diagnosis of disorders affecting the peripheral nerves and musculature [J]. *Neurol Clin*, 2004, 22(3): 643–682, vi–vii.
30. Hoshida R, Feldman E, Taylor W. Cadaveric analysis of the Kambin's triangle[J]. *Cureus*, 2016, 8(2): e475.
31. Hardenbrook M, Lombardo S, Wilson MC, et al. The anatomic rationale for transforaminal endoscopic interbody fusion: a cadaveric analysis[J]. *Neurosurg Focus*, 2016, 40(2): E12.
32. Khadilkar SV, Bala M, Shah S. Magnetic resonance imaging neurography depicting radiological anticipation in a family with PMP22 duplication[J]. *Neurol India*, 2018, 66(4): 1159–1160.
33. 王洪立, 杨升达, 姜建元, 等. 基于磁共振神经显像技术解剖学研究的 TLIF 操作安全性分析[J]. *中华骨科杂志*, 2013, 33(2): 165–170.
34. 巴兆玉, 黄宇峰, 沈彬, 等. 正常成人下腰椎神经根磁共振选择性激励技术成像的特点[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2011, 21(12): 973–976.
35. 冉鹏程, 柴晓明, 李松柏, 等. MR-PROSET 序列观察腰骶神经根(节)解剖[J]. *中国医学影像技术*, 2008, 24(12): 1988–1991.
36. Ozer AF, Suzer T, Can H, et al. Anatomic assessment of variations in Kambin's triangle: a surgical and cadaver study [J]. *World Neurosurg*, 2017, 100: 498–503.
37. Xin G, Shi-Sheng H, Hai-Long Z. Morphometric analysis of the YESS and TESSYS techniques of percutaneous transforaminal endoscopic lumbar discectomy[J]. *Clin Anat*, 2013, 26(6): 728–734.
38. Tsou PM, Yeung AT. Transforaminal endoscopic decompression for radiculopathy secondary to intracanal noncontained lumbar disc herniations: outcome and technique[J]. *Spine J*, 2002, 2(1): 41–48.
39. Ruetten S, Komp M, Godolias G. An extreme lateral access for the surgery of lumbar disc herniations inside the spinal canal using the full-endoscopic uniportal transforaminal approach-technique and prospective results of 463 patients [J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2005, 30(22): 2570–2578.
40. Choi KC, Shim HK, Park CJ, et al. Usefulness of percutaneous endoscopic lumbar foraminoplasty for lumbar disc herniation[J]. *World Neurosurg*, 2017, 106(10): 484–492.
41. Knight MT, Jago I, Norris C, et al. Transforaminal endoscopic lumbar decompression & foraminoplasty: a 10 year prospective survivability outcome study of the treatment of foraminal stenosis and failed back surgery [J]. *Int J Spine Surg*, 2014, 8(21): 1021–1044.
- (收稿日期:2018-07-18 末次修回日期:2018-09-10)
(英文编审 唐翔宇/贾丹彤)
(本文编辑 卢庆霞)