论著

应用 3D 打印腰神经根变异模型测量 Kambin 三角面积变化的临床价值研究

张其标, 江建中, 罗 翔, 黄国秀, 谢兆林

基金项目: 广西自然科学基金项目(编号:2018GXNSFAA294129); 广西科技计划项目(编号:桂科 AD17129017)

作者单位:537100 广西,贵港市人民医院骨科(张其标,江建中,罗 翔,谢兆林);537100 贵港,广西数字医学与3D打印临床医学 研究中心(张其标,罗 翔);530021 南宁,广西壮族自治区人民医院体检中心(黄国秀)

作者简介:张其标(1991-),男,医学硕士,住院医师,研究方向:脊柱外科治疗,数字医学与3D打印技术。E-mail:18778906963@163.com 通信作者:谢兆林(1978-),男,医学硕士,主任医师,研究方向:脊柱外科治疗。E-mail:Xiezhaolin@126.com

[摘要] 目的 探讨应用 3D 打印腰神经根变异(LNRA)模型测量 Kambin 三角面积变化的临床价值。 方法 选择 2018 年7 月至 2020 年6 月贵港市人民医院收治的 LNRA 患者4 例,年龄44~65 岁,男性2 例,女 性2 例。变异类型:根联合型3 例,尾侧起源型1 例。通过采集患者的腰部三维 MRI 数据进行数字化医学建 模,并测量 Kambin 三角区相关参数。通过 3D 打印技术构建患者 LNRA 模型,并在模型上实施孔镜置管模拟操 作。结果 基于 3D 打印模型的模拟操作发现,4 例患者椎间孔 Kambin 三角面积分别为 0.00 mm²、11.60 mm²、 15.33 mm²、22.20 mm²,可容纳最大套管直径分别为 0.00 mm、2.74 mm、3.88 mm、3.93 mm;椎管内 Kambin 三 角面积分别为 0.00 mm²、26.72 mm²、36.38 mm²、76.88 mm²,可容纳最大套管直径分别为 0.00 mm、3.29 mm、 5.33 mm、7.18 mm。结论 3D 打印 LNRA 模型可让临床医师对 LNRA 患者的 Kambin 三角区变化情况有直 观、立体的了解,有利于降低手术风险,提高疗效。

[关键词] 3D 打印; 腰神经根变异; Kambin 三角区; 模拟操作

[中图分类号] R 681.6 [文献标识码] A [文章编号] 1674-3806(2021)10-0995-05

doi:10.3969/j.issn.1674 - 3806.2021.10.09

A study on the clinical value of using 3D printed lumbar nerve root anomalies model to measure the change of Kambin triangle area ZHANG Qi-biao, JIANG Jian-zhong, LUO Xiang, et al. Department of Orthopedics, Guigang City People's Hospital, Guangxi 537100, China

[Abstract] Objective To explore the clinical value of using three-dimensional(3D) printed lumbar nerve root anomalies(LNRA) model to measure the change of Kambin triangle area. Methods Four LNRA patients, aged 44-65 years, admitted to Guigang City People's Hospital from July 2018 to June 2020, were selected, including 2 males and 2 females. Variation types: 3 cases of root-associated type, 1 case of caudal origin type. Digital medical modeling is performed by collecting 3D magnetic resonance imaging(MRI) data of the patients' waist, and the relevant parameters of Kambin triangle area were measured. The patients' LNRA model was constructed through 3D printing technology, and the simulation operation of placing tube with aperture mirror was implemented on the model. **Results** The simulation operation based on the 3D printing model found that the Kambin triangle areas of the intervertebral foramen of the 4 patients were 0.00 mm², 11.60 mm², 15.33 mm² and 22.20 mm², respectively, and the maximum permissible cannula diameters were 0.00 mm, 2.74 mm, 3.88 mm and 3.93 mm, respectively; the Kambin triangle areas in the spinal canal were 0.00 mm², 26.72 mm², 36.38 mm² and 76.88 mm², respectively, and the maximum permissible cannula diameters were 0.00 mm, 3.29 mm, 5.33 mm and 7.18 mm, respectively. **Conclusion** The 3D printed LNRA model allows clinicians to have an intuitive and three-dimensional understanding of the changes in the Kambin triangle area of LNRA patients, which is beneficial to reducing surgical risks and improving curative effects.

[Key words] Three-dimensional(3D) printing; Lumbar nerve root anomalies(LNRA); Kambin triangle area; Simulation operation

腰神经根变异(lumbar nerve root anomalies,LNRA) 是指其起始点、形态轮廓、走向巡行及数量等异常, 常经X线脊髓造影、MRI、手术及尸检发现^[1-2]。研 究^[3]表明,LNRA 与脊柱外科手术的安全和疗效密 切相关。由于腰神经根的解剖变异改变了神经根的 大小、形态及走行,影响了手术操作区域的解剖空间 关系,进一步影响脊柱手术的安全性和疗效。腰神 经根是 Kambin 三角区域的重要边界,两者关系密切, 椎间孔镜手术具有损伤神经根的风险,特别是当神 经根发生变异但在术前未被诊断时,这将会降低手 术成功率,增加手术风险^[45]。目前,研究椎间孔镜 Kambin 安全三角的传统方法主要是通过尸检、二维 影像检查及术中测绘,但研究也常局限于腰神经根 正常结构下的 Kambin 三角区,对于 LNRA 的 Kambin 三角区变化的研究则较少见。随着数字医学与增材 制造工艺的发展,3D 打印技术广泛运用于骨科基 础、临床及教学等多个领域[6-7],包括模型构建、手术 规划、导航导板及内植入物的打印[89],具有个性化、 立体化、可视化、可反复操作、廉价、精准化等特点。 本研究将 3D 打印技术应用于 LNRA 的 Kambin 三角 区域,还原患者 LNRA 解剖结构,以提高脊柱外科医 师对该立体三角空间区域进行直观、全面的认识,并 进行术前诊断,降低椎间孔镜手术局部腰神经根损 伤的风险,提高疗效。现报道如下。

1 对象与方法

1.1 研究对象 选择 2018 年 7 月至 2020 年 6 月 贵港市人民医院收治的 LNRA 患者 4 例,年龄 44 ~ 65 岁,男性 2 例,女性 2 例。变异类型:根联合型 3 例, 尾侧起源型 1 例。均无明显外伤病史、脊柱手术史 和药物过敏史。

1.2 数据获取 应用西门子 3.0 T 核磁共振扫描 仪采集患者腰部三维 MRI 数据。扫描范围:由 L₁ 椎 体上终板至骶 1 椎体下缘平面。扫描参数: MRI 脉 冲重复时间 230 ms,回波时间 225 ms,获取 SPCE 及 STR 序列,翻转时间 220 ms,视野大小 350 mm,矩阵 320 × 320,层厚 0.9 mm。将数据以"Dicom"格式导 出备用。

1.3 数字化 LNRA 模型的构建及解剖参数测量

1.3.1 数字化模型的构建 将三维 MRI 数据导入 Mimics10.01 软件中,设置图像明亮度与对比度,再 根据解剖结构(腰1~骶1水平)分别对腰椎、髂骨、椎 间盘、脊髓腰丛神经根进行辨认,点击"Thresholding", 统一调整适当阈值,得出所需组织的"Mask",再应用 软件的"Erase""Draw"功能精准修正"Mask"边界,经 "Region Growing"与"Calculate 3D"功能得到1:1的 骨骼、椎间盘及脊髓腰丛神经根模型(见图1),以 "STL"格式输出。



图1 Mimics10.01 软件构建骨骼、椎间盘及脊髓腰丛神经 根模型图

1.3.2 Kambin 三角区的相关参数测量 Kambin 三角为一个由四条边界线围成的类三角形立体结 构,其下边界为下位椎体的上终板,内侧界为硬膜 囊,后侧界为关节突关节,外上界为出行神经根。该 立体结构在矢状位、冠状位平面上分别体现为2个 三角形^[10]。在1.3.1 中构建的数字化模型上进行 Kambin 三角安全区域相关参数的测量(见图 2)。 (1) 椎间孔三角:①上关节突高度(H1), 下位椎体 上终板平面与上关节突的交点至上关节突顶端的长 度(当神经根走行低于关节突时,则测量出行根至 上述交点的垂直距离);②基底部长度(D1),以下位 椎体上终板为基准面,出行神经根交基准面一点,该 点至 H1 的垂直距离。(2) 椎管内三角:①硬脊膜高 度(H2),以下位椎体上终板为基准面,从神经根起 源点到基底面相交点的长度;②基底部长度(D2), 出行神经根交基准面一点,该点至硬脊膜的垂直距 离;③根囊角,起源处神经根与硬脊膜之间的夹角。 最后,按"面积=0.5×(D×H)"分别计算两个安全 三角的面积。



图2 Kambin 三角安全区域相关参数测量示意图

1.4 3D 打印 LNRA 模型及 Kambin 三角区手术操 作安全性模拟

1.4.1 快速成型技术制作 LNRA 3D 模型 将组合体模型数据导出,将其以"STL"格式导入 3D 打印机

器,施行个性化 LNRA 3D 模型的快速成型。见图 3。



图 3 3D 打印技术制作的 LNRA 模型图

1.4.2 Kambin 三角区手术操作安全性模拟 按后 外侧入路的路径,利用 LNRA 3D 模型在直视下置入 细导针到达靶点,通过 C 型臂 X 线机正侧位透视确 认穿刺位置,应用一级、二级导杆、导管、环锯等逐级 扩管,扩大神经孔,最后置入合适直径的工作套管, 完成 C 型臂透视下实施 LNRA 3D 模型的椎间孔置 管模拟操作。用数学化方法计算出内接圆,其代表 了 Kambin 三角区中允许的最大套管直径,探索不同变异情况下 Kambin 三角区可容纳套管的最大直径。见图4。



图4 利用 LNRA 3D 模型实施椎间孔置管模拟操作图

2 结果

通过数字化实现 LNRA 3D 模型的构建,并成功 应用 3D 打印技术制作 1:1 的骨骼、椎间盘及脊髓 腰丛神经变异个性化实物模型。4 例患者 Kambin 三角区的相关参数测量结果见表 1,2。

表1 椎间孔 Kambin 三角区的相关参数测量结果

病例序号	变异类型	变异节段	上关节突高度(mm)	基底部长度(mm)	根囊角(°)	区域面积(mm ²)	可容纳最大套管直径(mm)
病例1	根联合型	L _{3/4}	0.00(6.78)	0.00(6.62)	96.53(28.22)	0.00(22.44)	0.00(3.91)
病例2	根联合型	$L_{4/5}$	3.90(7.59)	5.95(5.88)	72.28(26.98)	11.60(22.31)	2.74(3.87)
病例3	根联合型	$L_{4/5}$	4.76(7.54)	6.44(5.96)	71.99(25.62)	15.33(22.49)	3.88(4.01)
病例4	尾侧起源型	L _{4/5}	6.56(7.14)	6.77(7.64)	57.47(25.23)	22.20(27.27)	3.93(4.32)

注:括号内数据代表同一节段神经根走行正常时的测量值

表2 椎管内 Kambin 三角区的相关参数测量结果

病例序号	变异类型	变异节段	硬脊膜高度(mm)	基底部长度(mm)	根囊角(°)	区域面积(mm ²)	可容纳最大套管直径(mm)
病例1	根联合型	L _{3/4}	-3.20(13.03)	0.00(10.51)	96.53(28.22)	0.00(68.47)	0.00(6.79)
病例2	根联合型	L _{4/5}	3.87(18.26)	13.81(13.10)	72.28(26.98)	26.72(119.60)	3.29(8.85)
病例3	根联合型	L _{4/5}	5.18(18.89)	14.03(12.69)	69.46(33.12)	36.38(119.88)	5.33(9.21)
病例4	尾侧起源型	L _{4/5}	10.96(19.55)	14.03(14.19)	57.47(25.23)	76.88(138.70)	7.18(9.52)

注:括号内数据代表同一节段神经根走行正常时的测量值

3 讨论

3.1 LNRA 对脊柱手术安全性与疗效的影响 LNRA 过去多在术中或尸检中偶然发现,随着影像学技术,特别是 MRI 技术的进步,T2 加权冠状位 MRI 成为术前识别异常神经根的最佳方法和金标准^[11-12]。但 研究^[13-15]表明,大多数 LNRA 患者在临床上仍被诊断为脊柱退行性病变,使 LNRA 成为脊柱手术失败和术中神经损伤常见的原因之一。对于解剖结构正常的患者,在 Kambin 三角区内进行椎间盘切除和

植骨可最大程度上降低 LNRA 对硬膜囊或神经根的 损伤风险,但如果 Kambin 三角区存在未预知的异常 神经根,则会明显改变 Kambin 三角区的可操作范围, 影响手术安全性,增加神经损伤的风险;同时也可能 因为单纯椎间盘切除术而没有充分减压,导致手术失 败。由此可见,术前未被诊断的 LNRA 可能会使脊 柱手术更加复杂化,包括不明确的神经根活动、椎间 盘入路和解剖定位^[16]。神经根异常所带来的独特 挑战也会使标准常规的手术变得更加复杂,增加医 源性损伤的风险。因此,术前进行准确的 LNRA 诊断,掌握其形态、走行,评估操作安全区域变化以实施术前模拟,这将有助于外科医师制定安全的手术 方案,对保证手术安全、提高疗效具有重要意义。

3.2 LNRA 与 Kambin 三角区的面积变化相关 由 于脊柱的先天性、退行性变以及结构病理等改变, Kambin 三角区的大小和形态也相应发生变化,LNRA 是导致 Kambin 三角区发生变化的重要因素之一。本 研究发现,LNRA 患者的 Kambin 三角区发生明显减 小,甚至消失,工作通道若强行进入椎间孔会损伤神 经根。本研究中,L₁₄联合神经根型变异的起点在 L_{3/4}椎间盘后方偏下,离开硬膜囊后翻折向上,沿着 L₄ 椎弓根内上缘出孔; 与正常一侧相比, 异常根的 出行明显偏离正常轨迹(L, 椎弓根内下缘)向下移 动至L4 椎弓根内上缘,使得 Kambin 三角区斜边(出 行神经根长度)和高度(上关节突高度)明显丢失, 椎间孔三角面积和椎管内三角面积明显缩小,导致 手术风险增加。而对于 L_{4/5}联合神经根型变异,神 经根离开硬膜囊后,走行于椎间盘正后方,完全遮挡 L45椎间盘,上关节突和硬脊膜高度分别较正常一侧 减少3.69 mm 和14.39 mm,相应的区域面积减少了 10.71 mm² 和 92.88 mm²。根据 Kambin 三角区的三维 测量,可用数学方法计算出内接圆,其代表了 Kambin 三角区中允许的最大套管直径^[17]。本研究中该病 例节段正常情况下可容纳椎管内三角最大的套管直 径为 8.85 mm, LNRA 后缩小至 3.29 mm, 增加置管 时神经损伤风险,以致不适合行椎间孔镜手术而需 改变术式。因此,LNRA 与 Kambin 三角区面积变化 具有显著关联。对于 LNRA 的其他类型,如囊外分 支型,在同一椎间孔内出现两条出行神经根,增加了 椎间孔内容物,致使 Kambin 三角区的有效安全面积 减小,缩减了可操作区域,增加了手术风险,影响手术 疗效。本研究发现,在 Kambin 三角区的基础上由于 神经根变异引起出行神经根走行下移或椎间孔内容 物增加会使得 Kambin 三角区减小,故术前有必要对 LNRA 进行诊断,评估神经走行及 Kambin 三角区的 大小变化,以设计合适的手术方案,提高手术疗效。

3.3 3D 打印技术实现 Kambin 三角区立体可视 内窥镜手术是一种适用于腰椎间盘突出症治疗的微创 手术,由 Kambin 和 Hijikata 于 20 世纪 70 年代提出。 为此,Kambin 描述了一个称为 Kambin 三角区的安全 区域,该区域也被认为是进入椎间盘间隙的安全区。 因此,对于 Kambin 三角区的大小进行准确评估将有 利于脊柱外科医师开展脊柱微创手术。Hoshide 等^[18] 通过尸检,测量了16个Kambin 三角区面积,首次对 Kambin 三角区的尺寸进行了描述。Pairaiturkar 等^[17] 利用三维 MRI 技术实现了对 Kambin 三角的描绘,并 在测量出经皮内镜腰椎间盘切除术所允许的最大插 管直径,为临床提供了有价值的参考。根据对 Kambin 三角区的测量,脊柱外科医师得以自信地进行腰椎 间盘间隙的微创手术,但是临床上仍会出现神经根 损伤的情况。损伤的原因可能是入路问题、插管直 径、内镜检查操作或 Kambin 三角区改变。Ozer 等^[19] 通过尸检研究发现,Kambin 三角区的解剖变异可能 是内窥镜腰椎间盘手术中神经根损伤的主要原因。 因此,对这个安全三角区开展研究可为椎间盘切除 术提供安全保障。本研究通过患者的三维 MRI 数 据建立等比例的 LNRA 数字化模型,并实施 3D 打 印,对变异后的 Kambin 三角区进行测量,并进行安 全性模拟操作。王敏等^[20]的研究结果显示,Kambin 三角区的 3D 模型测量参数与尸体测量结果具有高 度一致性,提示 3D 模型可以真实、有效地反映实际 的解剖结构。于鹏辉等^[21]利用腰部 CT 数据进行医 学建模后实现了对腰神经根、腰椎间盘及其主要毗 邻结构三维测量,成功为经皮穿刺腰椎间盘术提供 解剖学依据。通过3D打印技术制作LNRA 3D模型 不存在数量、价格、保存等方面的局限性问题^[22-23]。 而且,LNRA 3D 模型的参数数据源自患者的 CT 和 MRI个性化数据,经医学三维重建和测绘,具有精准 化、个性化、立体化的优点,真实还原人体腰椎、神经 根的空间解剖结构,有利于 LNRA 及其类型的术前 精准判断^[24]。另外,数字化模型还可进行虚化透明, 观察重叠组织的结构;也可以实现 360°全方位的平 移、缩放,实现对 Kambin 三角区的测量,弥补了影像 学平面测量的不足。此外,LNRA 3D 模型还可用于 术前模拟,提高术中定位、穿刺、置管的精准程度,实 现直观、精准、个性化的术前评估。

3.4 局限性 LNRA 有较多不同的类型^[25-26],由于 本研究病例数少,只能纳入其中 2 种进行研究,对于 其他变异类型的研究仍需进一步纳入更多病例开展。 另外,对于 LNRA 3D 模型的制作,在数据采集、三维 重建及模拟测算方面对临床医师均有较高要求,需要 熟练的医学重建技能、脊柱解剖识别能力和脊柱手 术专业知识,否则可能会对研究结果造成一定偏倚。

综上所述,LNRA 显著影响脊柱外科手术,特别 是脊柱微创内镜下技术的安全性,且与术后疗效密 切相关。3D 打印技术可让临床医师立体观测 LNRA 区域的变化特点,降低手术风险,提高疗效。

参考文献

- [1] Heo DH, Kim SW, Chang HH, et al. Usefulness of oblique lumbar magnetic resonance imaging for nerve root anomalies and extraforaminal entrapment lesions[J]. Asian Spine J, 2018,12(3):423-427.
- [2] Burke SM, Safain MG, Kryzanski J, et al. Nerve root anomalies: implications for transforaminal lumbar interbody fusion surgery and a review of the Neidre and Macnab classification system[J]. Neurosurg Focus, 2013,35(2):E9.
- [3] Makino H, Seki S, Kawaguchi Y, et al. A novel nerve root anomaly with unpredictable morphology on diffusion tensor imaging in the lumbar spine: a case report[J]. J Orthop Sci, 2016,21(5):698-701.
- [4] White JG 3rd, Strait TA, Binkley JR, et al. Surgical treatment of 63 cases of conjoined nerve roots[J]. J Neurosurg, 1982,56(1):114 – 117.
- [5] Pamir MN, Ozek MM, Ozer AF, et al. Surgical considerations in patients with lumbar spinal root anomalies [J]. Paraplegia, 1992, 30(5):370 – 375.
- [6] 付 军,郭 征,范宏斌,等.应用3D打印假体重建下肢肿瘤性 长节段骨缺损[J].中华骨科杂志,2017,37(7):433-440.
- [7] 施凤伟,付 军,郭 征.3D 打印技术在骨科学肿瘤教学中的应 用[J].中华医学教育杂志,2015,35(6):916-917,934.
- [8] 贺 超,王 磊,李国远,等. 3D 打印在骨科的应用[J]. 中华骨 科杂志,2017,37(19):1235-1241.
- [9] 范峥睿,马信龙,马剑雄,等. 3D 打印在骨科手术中的应用及其 前景[J].中华创伤骨科杂志,2017,19(10):886-891.
- [10] Kambin P, O'Brien E, Zhou L, et al. Arthroscopic microdiscectomy and selective fragmentectomy[J]. Clin Orthop Relat Res, 1998, 347: 150-167.
- [11] Freguia F, Koeck K, Schmieder K, et al. Lumbar nerve root anomalies are still a diagnostic and therapeutic challenge. Case report and review of literature [J]. SM J Clin Med Imaging, 2017, 3(1): 1010.
- [12] Popa I, Poenaru DV, Oprea MD, et al. Intraoperative conjoined lumbosacral nerve roots associated with spondylolisthesis[J]. Eur J Orthop Surg Traumatol, 2013,23 Suppl 1:S115 – S119.
- [13] Scuderi GJ, Vaccaro AR, Brusovanik GV, et al. Conjoined lumbar nerve roots: a frequently underappreciated congenital abnormality[J].
 J Spinal Disord Tech, 2004,17(2):86 –93.
- [14] Can H, Kircelli A, Kavadar G, et al. Lumbosacral conjoined root anomaly: anatomical considerations of exiting angles and root thickness[J]. Turk Neurosurg, 2017,27(4):617-622.
- [15] Lotan R, Al-Rashdi A, Yee A, et al. Clinical features of conjoined

lumbosacral nerve roots versus lumbar intervertebral disc herniations [J]. Eur Spine J, 2010, 19(7): 1094 - 1098.

- [16] Trimba R, Spivak JM, Bendo JA. Conjoined nerve roots of the lumbar spine[J]. Spine J, 2012,12(6):515 - 524.
- [17] Pairaiturkar PP, Sudame OS, Pophale CS. Evaluation of dimensions of Kambin's triangle to calculate maximum permissible cannula diameter for percutaneous endoscopic lumbar discectomy: a 3-dimensional magnetic resonance imaging based study[J]. J Korean Neurosurg Soc, 2019,62(4):414-421.
- [18] Hoshide R,Feldman E,Taylor W. Cadaveric analysis of the Kambin's triangle[J]. Cureus, 2016,8(2):e475.
- [19] 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.
- [20] 王 敏,赵庆豪,苏志海,等. 基于 CT/MRI 融合建立的 Kambin 三角三维模型与标本测量的对比研究[J]. 中国脊柱脊髓杂 志,2019,29(1):67-73.
- [21] 于鹏辉,伍修宇,李 俏,等. 腰神经根及主要毗邻结构的 CT 解剖学研究与三维构建[J]. 局解手术学杂志,2017,26(8): 564-567.
- [22] Lim KH, Loo ZY, Goldie SJ, et al. Use of 3D printed models in medical education: a randomized control trial comparing 3D prints versus cadaveric materials for learning external cardiac anatomy[J]. Anat Sci Educ, 2016,9(3):213 – 221.
- [23] McMenamin PG, Quayle MR, McHenry CR, et al. The production of anatomical teaching resources using three-dimensional(3D) printing technology[J]. Anat Sci Educ, 2014,7(6):479-486.
- [24] 梁海杰,郭 卫,张熠丹,等. 3D 打印半骨盆假体重建骨盆Ⅱ 区或Ⅱ+Ⅲ区肿瘤切除后骨缺损的回顾性病例对照研究[J]. 中国骨与关节杂志,2017,6(5):326-333.
- [25] Kadish LJ, Simmons EH. Anomalies of the lumbosacral nerve roots. An anatomical investigation and myelographic study[J]. J Bone Joint Surg Br, 1984,66(3):411-416.
- [26] Neidre A, MacNab I. Anomalies of the lumbosacral nerve roots. Review of 16 cases and classification [J]. Spine (Phila Pa 1976), 1983,8 (3):294-299.

[收稿日期 2021-02-06][本文编辑 余 军 吕文娟]

本文引用格式

张其标,江建中,罗 翔,等.应用 3D 打印腰神经根变异模型测量
Kambin 三角面积变化的临床价值研究[J].中国临床新医学,2021, 14(10):995-999.