

三维重建技术在椎弓根螺钉内固定中的应用进展

张韶辉, 李严兵

(南华大学人体解剖学教研室 421001 湖南省)

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2010.05.17

中图分类号: TP391.41, R687.3 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2010)-05-0425-03

三维重建最早应用于医学是 20 世纪 80 年代^[1], 是通过计算机对生物组织结构影像处理, 获得三维图像并能进行定量测量的一种形态学研究技术。三维重建技术不仅可以提供人体内部结构的数字化三维模型, 而且利用相关软件还能在模型上进行手术设计和生物力学分析。脊柱区结构复杂, 较多重要的组织器官毗邻, 且空间三维结构繁杂, 因此脊柱手术对精确性要求非常高, 尤其在椎弓根螺钉内固定中, 准确了解椎弓根的三维空间特点和选择准确的置入点是手术成功的关键。笔者就最近几年相关研究进展做一综述。

1 三维重建技术及其在临床上的应用进展

三维重建技术是将图像经过分析、识别、定位、分割、配准和边界提取, 再由计算机进行三维重建并显示的过程。随着硬件设备的更新, 软件技术的提高, 各种数字化影像技术的发展使计算机三维重建技术不断完善。X 线和 CT 影像是骨科三维重建最常用的数据来源, 从 20 世纪 90 年代中期的 2 层 CT 到 2007 年东芝率先推出 320 排 CT 系统和纳米级 CT 的问世^[2], 扫描技术的飞跃发展和伪影抑制技术的进步, 都为重建更为精确的数字模型提供了强大基础。除了 CT 工作站自带的三维重建系统外, 医学三维重建软件诸如 Amira、Mimics、3D Med、3D slicer、3D Doctor 等的不断开发使三维重建更加方便, 医生经过简单培训就能在自己的电脑上独立进行三维重建。Gille 等^[3]论证了轻度脊柱侧凸患者三维重建模型用于临床研究的可靠性。Kadoury 等^[4]开发了一种仅用正侧位 X 线片就能对脊柱和骨盆进行三维重建的计算机软件, 减少了校准和定位的程序, 并且不依赖于 X 线设备的类型, 患者任何体位都可应用, 但不能对椎骨精确界定位且重复性不佳。Kolta 等^[5]利用三维 X 线吸光光度法采集的图像进行脊柱的三维重建, 减少了 X 线吸收量, 但重建效果仍不理想。Legaye 等^[6]进行体外实验采用 X 线结合光学叠栅条纹影像方法可以矫正放射线影像数据集中患者晃动小于 10°所造成的脊

柱三维重建错误。但超过 10°后的可靠性较差。汪学松等^[7]利用 Mimics 软件建立了青少年全脊柱侧凸仿真模型, 但 CT 数据只能在卧位得到, 不能模拟立位的脊柱形态, 且没有考虑重力的影响。

2 在椎弓根螺钉内固定术中的应用

2.1 术前病情评估和术后置钉评价

椎弓根作为重要的螺钉置入部位, 术前掌握其三维空间信息有助于螺钉正确置入, 但 X 线平片和 CT 片等二维图像不利于全面掌握复杂骨折及复杂骨畸形的椎弓根情况, 而通过三维重建能直观地显示病变椎弓根的部位、范围及局部解剖情况, 正确评估病情, 有利于临床治疗方案选择。王亨等^[8]对先天性脊柱侧凸患者进行的 CT 三维重建模型提供了大量 X 线片无法显示的信息, 特别是在严重的脊柱畸形空间认知方面, 有助于判断先天性脊柱侧凸的类型和累及节段, 为临床制定个性化的手术方案提供依据。Murakami 等^[9]利用三维模型研究发现 C1 螺钉置入时向内侧 10°成角可以避免损伤颈内动脉。胡定祥等^[10]建议对怀疑有齿状突合并周围骨折的患者进行常规 CT 三维重建检查, 以提高诊断的准确率。

术后对置钉的椎弓根进行三维重建可为评估螺钉置入效果提供可靠而直观的依据。如 Yeom 等^[11]对置入螺钉的 C1 侧块和 C2 齿状突三维重建后发现了其他影像中未发现的椎动脉沟和横突孔的破坏。Hua 等^[12]利用手术前后寰枢椎骨折脱位患者的 CT 扫描数据进行三维重建, 清晰地显示了手术前后变化情况和金属内固定位置。

2.2 术前钉道设计和置钉模拟

椎弓根直径较小且其周围有重要结构存在(椎动脉、神经根、脊髓等), 特别是病变造成局部三维结构改变会大大增加手术风险。进钉点、置钉方向和置钉深度等出现微小偏差都有可能严重并发症的出现, 因此在椎弓根螺钉内固定之前必须对螺钉置入的通道进行详细测量和设计。Sung 等^[13]在对 CT 扫描后建立的 20 例脊柱三维模型进行椎弓根形态学分析, 测量从 T1~S1 可用于置入螺钉空间的长度和直径, 结果显示 T1~T12 长 25~30mm 直径 8~11 mm, L1~S1 长度为 26~34mm, 直径为 6~7mm, 为选择合适的椎弓根螺钉提供了数据。李龙付等^[14]对需行胸腰椎椎弓根内固定的患者进行腰椎的三维重建, 并在 PACS 医生工

第一作者简介: 男(1984-), 硕士研究生, 研究方向: 临床应用解剖学

联系电话: (0734)8281134 E-mail: xiaoyaojun1984@163.com

通讯作者: 李严兵 E-mail: hnlybup001@163.com

站上测量椎弓根相关数据,根据测量的个性化的数据进行螺钉置入,大幅降低了切出率。殷海东等^[15]在 CT 工作站设计个体化的胸椎椎弓根理想进钉通道,在椎弓表面确定理想的进钉点用于指导手术,提高了脊柱侧凸患者胸椎置钉的准确率,减少了术中进钉点选择失误所致的并发症。

利用一些重建软件还可以模拟螺钉的置入,证实通道设计的可行性,可提高手术的安全性和准确性。蔡维山等^[16]在手术中使用 CT 三维重建椎弓根钉导航系统提供的虚拟置入环境,使螺钉按预期的路径准确置入胸椎椎弓根。于海龙等^[17]在 40 例腰椎 CT 三维重建图像上应用人字嵴顶点法、Magerl 法及 Roy-Camille 法模拟置钉,比较三种方法在腰椎各节段安全性的差异,结果显示在 L1~L4,“人字嵴顶点法”是理想置钉方法;在 L5,Magerl 法是理想置钉方法;Roy-Camille 法仅适合于 L1 和 L2,不推荐在 L3~L5 应用。

3 与其他技术的结合

3.1 结合逆向工程和三维有限元分析的基础研究

三维重建技术与逆向工程和三维有限元分析的结合在基础研究方面得到了广泛应用。逆向工程(reverse engineering, RE)是机械设计与制造应用领域的一个重要分支,根据实物模型的测量数据可以重建出实物的 CAD 模型,反映原实物的几何特征,并且可以用于分析、修改、制造和检验等多种目的。利用逆向工程软件可以对重建后的椎弓根数字模型进行更精确地通道设计和测量,为临床选择合适螺钉及手术设计奠定良好的基础。李严兵等^[18]利用 Mimics 8.11 软件重建健康成人颈椎数字解剖模型,再导入 Imageware 10.0 可以精确定位任意方向一定直径螺钉经椎弓根三维空间通道在椎板表面的最大投影边界、安全区及其最佳中心轴入点位置;对人体骨性结构无论正常与否均可应用该方法进行个体化定量分析设计。李严兵等^[19]将 1 例健康成人腰骶部的三维数字模型导入 Surface 10.0,确定通道及其最大螺钉通道在椎板的定位区、进钉轴范围、最佳中心轴、最大螺钉通道半径大小及长度。因此个体化三维重建可以精确设计腰椎螺钉准确置入的椎弓根通道。李严兵等^[20]将 1 例健康成人腰椎数字解剖模型导入 Surface 10.0,对获取相关数据进行定量分析发现 L1~L5 左右椎弓根通道在 0°头尾偏角和不同外偏角方向正投影区内边界的内切圆半径,随外偏角的增大逐渐增大而后又逐渐减小,其中最大半径值对应的角度方向为最佳角度方向,外切圆半径没有明显变化;L1~L5 左右椎弓根通道正投影区内边界内切圆通道长度随外偏角的增大而逐渐增大,腰椎椎弓根通道大小是随外偏角方向不同而不同的连续动态变化过程,该三维模型为临床应用选择合适直径、长度的螺钉及确定最佳进钉方向提供了参考。

三维有限元分析是生物力学研究中常用的数学分析方法。它是将研究对象模拟为有限个单元,通过对这些有限元定量分析从而了解骨关节生物力学特性,瞬间运动状

态以及在不同负荷状态下的受力分析。通过对螺钉置入的椎弓根进行有限元分析,可以了解螺钉固定后的应力变化,从而为设计更坚固螺钉和改良术式预防固定系统的断裂提供参考依据。Chen 等^[21]报告垂直压缩下应力主要集中在螺钉近棒段,所以设计螺钉时近棒段的螺钉直径不可过细。但人体椎弓根直径大小有限,当螺钉截面积占其 90% 时,再增加螺钉的直径,不会增加固定强度反而易使椎弓根撑裂^[22]。敖俊等^[23]建立了 L3~L5 节段三维有限元模型,观察前路 L4~L5 椎弓根螺钉内固定后的应力特点,结果显示在模拟正常腰椎活动情况下,仅予以腰椎椎弓根螺钉系统固定,螺钉疲劳断裂的部位易发生在下方螺钉钉尾部,融合相应节段可减少因螺钉应力集中引起的螺钉疲劳断裂。王宇等^[24]建立腰椎椎弓根螺钉系统内固定的三维有限元模型并分别施加压缩、前屈、后伸、侧屈及旋转 5 种生理载荷,发现椎弓根螺钉系统各部分于垂直压缩下的应力远小于另外四种,垂直压缩下应力主要集中在螺钉近棒段,而在前屈、后伸、侧屈及旋转时应力主要集中在连接棒上。

3.2 结合逆向工程与快速成型技术的临床应用

目前有学者已经开始将三维重建结合逆向工程和快速成型技术应用于临床。快速成型制造技术是集新型材料、激光技术、精密机械传动技术、数控技术等为一体,采用 CAD 模型直接驱动,基于离散/堆积原理逐层累加进行物理模型快速制作的一项综合技术。医生利用快速成型精确地生产出三维重建模型的实物^[25],可以准确评价病变周围的变形骨结构,利于制定手术方案,大大提高了手术的准确性和安全性。桑宏勋等^[26]快速构建了 34 例重度先天性脊柱畸形患者的脊柱三维模型,根据设计的手术方案置入椎弓根螺钉,侧凸畸形矫正率为 80%~98%,后凸畸形矫正率为 100%,生理曲度恢复正常。构建实体模型,对于术前评估、手术计划制定以及手术矫形和内固定操作具有较好的指导意义。

个体化椎弓根螺钉导航模板的临床应用为椎弓根螺钉的准确置入提供了一种新方法,该方法准确性高,具有较大的应用前景。陆声等^[27]利用导航模板在快速成型制作的 C3 单关节交锁伴关节突骨折模型进行置钉模拟,具有较好的准确性。师继红等^[28]证明通过建立导航模板指导胸腰椎椎弓根螺钉的置入可以取得较好的效果。陈玉兵等^[29]根据 10 具尸体腰椎(L1~L4)标本术前 CT 资料设计制造出个体化导航模板,在尸体标本上进行手术,术后行 CT 断层扫描发现全部螺钉均准确置入。

4 小结

三维重建技术为椎弓根螺钉内固定技术的发展提供了强大的技术支持。不仅为临床医生提供可以观察的三维模型,提供更多的三维信息,与其他学科技术的结合更展现了其较大的应用前景。三维重建技术结合三维有限元可以分析脊柱各部分的受力情况,固定器械的应力状态,从而为开发各种更加坚固的椎弓根内固定材料提供技术支

持;结合逆向工程可以设计精确的进钉通道,再利用快速成型技术制造出个性化的椎弓根导航模板,用于临床可以大大提高椎弓根置钉的准确度,减少患者脊柱手术风险。但模板设计与制作周期长,价格昂贵等问题制约着三维重建技术的广泛应用,随着新材料与新技术的不断开发和应用,相信这些问题最终将得到解决。

5 参考文献

- Hemmy DC, Zonneveld FW, Lobregt S, et al. A decade of three-dimensional imaging: a review Part 1 historical development[J]. Invest Radiol, 1994, 29(4): 489-496.
- Wang G, Yu H, De Man B. An outlook on x-ray CT research and development[J]. Medical Physic, 2008, 35(3): 1051-64.
- Gille O, Champain N, Benchikh-El-Fegoun A, et al. Reliability of 3D reconstruction of the spine of mild scoliotic patients[J]. Spine, 2007, 32(5): 568-573.
- Kadoury S, Cheriet F, Laporte C, et al. A versatile 3D reconstruction system of the spine and pelvis for clinical assessment of spinal deformities [J]. Med Bio Eng Comput, 2007, 45(6): 591-602.
- Kolta S, Quilgotti A, Ruysen-Witrand A, et al. In vivo 3D reconstruction of human vertebrae with the three-dimensional X-ray absorptiometry (3D-XA) method [J]. Roux Osteoporos Int, 2008, 19(2): 185-192.
- Legaye J, Saunier P, Dumas R, et al. Correction for patient sway in radiographic biplanar imaging for three-dimensional reconstruction of the spine: in vitro study of a new method [J]. Acta Radiol, 2009, 50(7): 781-790.
- 汪学松, 吴志宏, 阎家智, 等. 青少年特发性脊柱侧凸仿真模型的建立[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2009, 19(3): 231-233.
- 王亭, 邱贵兴, 李其一. CT 三维重建在先天性脊柱侧凸诊疗中的价值[J]. 中国骨伤杂志, 2005, 25(8): 449-452.
- Murakami S, Mizutani J, Fukuoka M, et al. Relationship between screw trajectory of C1 lateral mass screw and internal carotid artery[J]. Spine, 2008, 33(24): 2581-2585.
- 胡定祥, 王清, 兰永树, 等. CT 平扫及三维重建对齿状突合并周围骨折的诊断价值[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2008, 18(2): 90-93.
- Yeom JS, Buchowski JM, Park KW, et al. Undetected vertebral artery groove and foramen violations during C1 lateral mass and C2 pedicle screw placement[J]. Spine, 2008, 33(25): 942-949.
- Hua Q, Ma WH, Zhao LJ, et al. Clinical application of multi-spiral CT thinner scanning and reconstruction in the diagnosis of atlantoaxial fracture and dislocation [J]. Zhongguo Gu Shang, 2009, 22(5): 349-352.
- Sung Bae Park, Tae-ahn Jahng, Chiheonki M, et al. Thoracic and lumbar laminoplasty using a translaminar screw: morphometric study and technique [J]. J Neurosurg Spine, 2009, 10(6): 603-609.
- 李龙付, 杨惠林, 李关兴, 等. 术前 CT 测量对胸腰椎椎弓根置钉准确性的影响[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2008, 18(12): 949-950.
- 殷海东, 黄明光, 黄东生, 等. 个体化选择脊柱侧凸患者胸腰椎弓根螺钉进钉点的研究[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2009, 19(3): 193-197.
- 蔡维山, 徐中和, 郭东明, 等. CT 三维重建椎弓根钉导航系统在胸椎手术中的应用 [J]. 中华骨科杂志, 2005, 25(8): 458-461.
- 于海龙, 雷伟, 朱锦宇, 等. 三维 CT 重建模拟三种腰椎椎弓根螺钉置入方法的安全性分析[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2005, 15(10): 606-608.
- 李严兵, 李鉴轶, 王伟, 等. 数字技术精确定位椎板进钉区与方向轴的方法[J]. 中华创伤骨科杂志, 2008, 10(2): 124-127.
- 李严兵, 张元智, 王平山等. 数字技术在椎弓根通道设计中的应用[J]. 中国现代医学杂志, 2007, 17(10): 1208-1212.
- 李严兵, 王爱平, 彭田红, 等. 腰椎椎弓根通道不同外偏角方向变化规律的数字解剖学研究[J]. 中国临床解剖学杂志, 2007, 25(2): 113-117.
- Chen CS, Chen WJ, Cheng CK, et al. Failure analysis of broken pedicle screws on spinal instrumentation [J]. Med Eng Phys, 2005, 27(6): 487-496.
- Song FL, Jin AM, Wang R, et al. Clinical study on the breakage of short segment pedicle screw instrumentation[J]. Zhongguo Gu Yu Guanjie Sunshang Zazhi, 2005, 20(6): 376-378.
- 敖俊, 方国芳, 冯伟, 等. 以三维有限元模型分析短节段腰椎椎弓根螺钉系统固定后螺钉应力的分布[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2008, 12(39): 7601-7604.
- 王宇, 靳安民, 方国芳, 等. 腰椎椎弓根螺钉系统断裂的三维有限元分析 [J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2008, 12(48): 9439-9442.
- Yamazaki M, Okawa A, Kadota R, et al. Surgical simulation of circumferential osteotomy and correction of cervico-thoracic kyphoscoliosis for an irreducible old C6-C7 fracture dislocation[J]. Acta Neurochir(Wien), 2009, 151(7): 867-72.
- 桑宏勋, 雷伟, 马真胜, 等. 快速成型技术在重度先天性脊柱畸形矫形手术中的应用 [J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2008, 18(3): 196-220.
- 陆声, 徐永清, 李严兵, 等. 脊柱椎弓根定位数字化导航模板的设计[J]. 中华创伤骨科杂志, 2008, 10(2): 128-131.
- 师继红, 陆声, 张元智, 等. 数字化脊柱椎弓根导航模板在胸腰椎骨折中的应用 [J]. 中华创伤骨科杂志, 2008, 10(2): 138-141.
- 陈玉兵, 陆声, 徐永清, 等. 个体化导航模板辅助腰椎椎弓根螺钉置钉准确性实验研究[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2009, 19(8): 623-626.

(收稿日期: 2010-01-14 修回日期: 2010-03-15)

(本文编辑 刘彦)