

726.

- [21] Chou CH, Chuang LY, Lu CY, et al. Interaction between TGF- $\beta$  and ACE2-Ang-(1-7)-Mas pathway in high glucose-cultured NRK-52E cells[J]. Mol Cell Endocrinol, 2013, 366(1): 21-30.
- [22] Cui W, Shao Z, Fu BY. p38 MAPK-mediated proliferation promoting effect of angiotensin II on hepatic stellate cells[J]. World Chin J Digestol, 2013, 21(14): 1309-1314.
- [23] Velasco LG, Prez JI, Agero JF, et al. Prevention of in vitro hepatic stellate cells activation by the adenosine derivative compound IFC 305 [J]. Biochem Pharmacol, 2010, 80(11): 1690-1699.
- [24] Secker GA, Shortt AJ, Sampson E, et al. TGF beta stimulated re-epithelialisation is regulated by CTGF and Ras/MEK/ERK signaling [J]. Exp Cell Res, 2008, 314(1): 131-142.
- [25] Zhan S, Chan CC, Serdar B, et al. Fibronectin stimulates endothelin-1 synthesis in rat hepatic myofibroblasts via a Src/ERK-regulated signaling pathway[J]. Gastroenterology, 2009, 136(7): 2345-2355.
- [26] Engelman JA. Targeting PI3K signaling in cancer: opportunities, challenges and limitations[J]. Nat Rev Cancer, 2009, 9(8): 550-562.
- [27] Hao LS, Zhang XL, Zhou ZH, et al. Relationship of PTEN expression with apoptosis of hepatic stellate cells in liver tissues of rats with hepatic fibrosis induced by bile stagnation [J]. Med J Chin Lib Army, 2010, 35(7): 836-838.
- [28] Yang L, Zhao ZX, Hou JL, et al. Hepatic expression of CB1 in rats with fibrosis and the relationship with FAK [J]. J Clin Hepatol, 2011, 27(8): 824-826, 836.
- [29] Jiang BH, Liu LZ. AKT signaling in regulating angiogenesis[J]. Curr Cancer Drug Targets, 2008, 8(1): 19-26.
- [30] Ogata H, Chinen T, Yoshida T, et al. Loss of SOCS3 in the liver promotes fibrosis by enhancing STAT3-mediated TGF-beta1 production[J]. Oncogene, 2006, 25(17): 2520-2530.
- [31] Hegyi K, Fulop K, Kovacs K, et al. Leptin-induced signal transduction pathways[J]. Cell Biol Int, 2004, 28(3): 159-169.
- [32] Wang XH, Cao Q, Hu CM. JAK /STAT pathway mediates IL-4-induced type I collagen expression in human hepatic stellate cell line LX-2[J]. Basic Med Sci Clin, 2012, 32(4): 423-427.

(收稿日期: 2014-09-27 修回日期: 2014-10-28)

• 综述 • doi: 10.3969/j.issn.1671-8348.2015.04.043

## 数字 X 线全景成像技术进展及临床应用

金瑞综述, 曾勇明<sup>△</sup>审校

(重庆医科大学附属第一医院放射科 400016)

关键词: 数字 X 线摄影; 全景成像技术; 图像拼接技术

中图分类号: R814.3

文献标识码: A

文章编号: 1671-8348(2015)04-0553-03

数字 X 线全景成像技术, 是通过多幅 X 线影像局部重叠区域的图像配准而实现多张小范围影像合成一张包括全部兴趣区域的大范围影像的技术, 也称为图像拼接技术。狭缝 X 线摄影装置通过在探测器与 X 线准直器协同运动时持续曝光, 可直接生成一幅全景影像, 是一种新型的数字 X 线全景成像技术。

在 X 线图像拼接技术提出之前, 全脊柱或双下肢的全长摄影主要通过超长 X 线胶片配合超长规格摄影装置来实现。为了帮助骨科或矫形科医师重构出人体长骨的全景图像, Yaniv 等于 2004 年提出 X 线图像拼接技术理论, 此后, 各种全景成像技术相继出现。其中有代表性的有计算机 X 线摄影 (computer radiography, CR) 全景成像技术, 数字 X 线摄影 (digital radiography, DR) 全景成像技术, 窄束 X 线部分重叠扫描 (slot scan) 全景成像技术, 以及采用狭缝式线扫描数字 X 线摄影装置 (slot-scan digital radiography, SDDR) 的全景成像技术。本文就近年来数字 X 线全景成像技术的临床应用及发展前景综述如下。

### 1 数字 X 线全景成像技术的进展

随着医学影像技术的不断发展, 数字 X 线全景成像技术

逐步完善, 以下从全景图像拼接软件和全景成像技术模式两个方面介绍该技术的进展。

**1.1 X 线摄影全景拼接软件** 全景拼接软件是数字 X 线全景成像技术的核心。全景成像均需借助拼接软件来将一序列的局部影像拼接为完整的全景影像。

**1.1.1 第三方拼接软件** 张子齐等<sup>[1]</sup>研究表明, 利用 Photoshop 软件可以获得优化的、无缝拼接的全下肢影像, 能满足诊断和骨科测量的需要。其方法如下: 拍摄 3 张部分重叠的 X 线影像, 然后将 3 张 DICOM 格式的影像转换为 JPG 格式, 导入 Photoshop 进行拼接。刘明等<sup>[2]</sup>使用 Arcsoft Panorama Maker 5 pro 图像拼接软件自动拼接导出的 JPG 格式的影像, 然后利用 DCMEExp 软件写入患者信息转换成 DICOM 格式影像, 也能满足临床需要。此方法影像拼接是自动完成的, 比 Photoshop 方法方便迅速。此外, 陈华平等<sup>[3]</sup>利用 FotoCanvas 软件也达到了与 Photoshop 类似的效果。使用第三方拼接软件全景成像的优点: 现有设备即可开展, 所需软件价格便宜; 拼接后的影像能满足临床需求。缺点: 用第三方拼接软件的拼接精度受操作者影响较大, 相对于全景成像专用软件误差较大, 且操作稍繁杂。

**1.1.2 全景成像专用软件** 大部分 X 线摄影设备厂商都开发了专用全景拼接软件,其中依据布放在被检者肢体附近的标记进行全手动拼接的软件,更多的是自动拼接软件。使用全景成像专用拼接软件全景成像的优点是全景成像的精确度得到了提升,操作进一步简化。缺点是这些软件一般整合在影像工作站中,成本相对第三方拼接软件较高。

**1.2 数字 X 线全景成像技术模式** 数字 X 线全景成像技术包括 CR 全景成像技术、DR 全景成像技术、slot scan 全景成像技术及 SSDR 全景成像技术。

**1.2.1 CR 全景成像技术** CR 全景成像技术使用成像板(imaging plate, IP)一次或多次曝光后经激光扫描器获取多张影像,再将多张影像通过软件拼接合成一张较大尺寸的影像的技术。CR 一次曝光全景成像是使用一种超长的 CR 摄片盒,内有 2~3 块 14×17 英寸 IP 板相互重叠,一次曝光后按顺序拼接单幅影像而成全景影像;CR 多次曝光全景成像是采用单张 IP 板依次部分重叠拍摄被检肢体,然后拼接。多次曝光全景成像又可细分为 X 线管分段移动法和固定 X 线管投照法,研究表明<sup>[4]</sup>,固定 X 线管投照法所获取影像比 X 线管分段移动法所获取影像失真明显增大。据文献报道,多次曝光 CR 全景成像技术能满足临床基本需要<sup>[5]</sup>,但与单次曝光 CR 全景成像相比,多次曝光全景成像技术的成功率相对较低<sup>[6]</sup>。有学者<sup>[6]</sup>认为,单次曝光 CR 全景成像所获取的影像清晰度较差,但通过使用定制超长滤线栅,可以提高清晰度。陈晓飞等<sup>[7]</sup>经实验得出:由于 FOV 增大,单次曝光 CR 全景成像所获影像的放大率和畸变率比多次曝光 CR 全景成像所获影像的放大率和畸变率高。但没有学者对 CR 单次曝光全景成像技术的误差对临床测量的影响作出评估。CR 全景成像技术的优点:使用现有设备即可开展,所需软件价格便宜;拼接后的影像能满足临床需求。缺点:要求患者的合作程度较高,在检查过程中需保持同一姿势;需要部分重叠曝光,受检者接受的剂量稍有增加;影像清晰度欠佳,误差相对较大,且操作稍繁杂,成像速度较慢。

**1.2.2 DR 全景成像技术** DR 全景成像技术与多次曝光的 CR 全景成像技术类似,区别在于两者使用的成像介质不同。曾勇明等<sup>[8]</sup>使用平板探测器 DR,在人体靶器官附近粘附球形不透 X 线物作标记,分 2~3 段拍摄全脊柱或双下肢影像,在图像处理工作站上根据标记的位置进行重叠、移位等调整,生成脊柱或双下肢全景图,能基本满足骨科术前测量、定位和术后随访的要求。李传东等<sup>[9]</sup>使用某品牌平板探测器 DR 完成全下肢 X 线全景成像的过程更加自动化,设置好曝光范围后,设备会根据曝光范围来自动分割每一次曝光所能包括的范围, X 线管和平板探测器会自动协同完成三次曝光,曝光完成后影像传入工作站可通过软件自动完成全景拼接。DR 全景成像的优点是影像清晰度较高,方法简便。缺点是要求患者的合作程度较高,在检查过程中需保持同一姿势,需要部分重叠曝光,受检者接受的剂量稍有增加。

**1.2.3 slot scan 全景成像技术** slot scan 是通过一序列部分重叠的窄束 X 线曝光,经工作站上的拼接软件对采集到的影像无缝拼接,得到完整的全景影像的新型全景 X 线摄影技术。slot scan 技术使用的窄束(HQ 模式下 4 cm, HS 模式下 6 cm) X 线束接近平行,投影失真率小,图像拼接后更加真实。临床常用于全脊柱和全下肢摄影,为术前测量、定位提供更精确、更直观的影像<sup>[10]</sup>。王利泉等<sup>[11]</sup>通过人体下肢骨骼标本试验,证实使用 slot scan 技术获取的下肢全景影像,所测量的轴线数

据与标本实际轴线数据差异无统计学意义。slot scan 全景成像技术的优势:采用 1 次屏气多次曝光采集,减少了因呼吸而造成的运动伪影;使用高效能直接转换大平板探测器并采用狭缝曝光,有效地降低了扫描野内非照射部位的辐射剂量。与 CR、DR 多次曝光法相比较,克服了因患者体位变化而引起的图像位移;由于采用大平板探测器,能够行 Bending 位摄影。该技术的不足:由于 slot scan 为运动中连续脉冲式曝光采集,导致图像噪声较大;对骨小梁显示欠佳,但不影响对脊柱侧弯的诊断及测量;slot scan 不能实时地根据所照射部位的肢体厚度调整曝光参数<sup>[12]</sup>。

**1.2.4 SSDR 全景成像技术** SSDR 主要有多丝正比电离室型直接数字 X 线摄影装置,及使用电荷耦合元件探测器的线扫描 X 线摄影装置。SSDR 主要应用于胸部 X 线摄影,能明显降低被检者辐射剂量<sup>[13]</sup>。SSDR 因为具有较长的成像范围和纵向 0 放大率,也可以用于 X 线摄影全景成像。Deschènes 等<sup>[14]</sup>研究表明,与 CR 全景成像相比,SSDR 全景成像胸腹部的平均皮肤入射剂量能降低 6~9 倍。文章比较了其他文献中相同年龄组的 CR 和 DR 全景成像的皮肤入射剂量,证明 CR 和 DR 全景成像皮肤入射剂量是 SSDR 全景成像的 3~18 倍。Dietrich 等<sup>[15]</sup>研究表明,使用双平面 SSDR 全景成像系统获取全脊柱影像的 DAP 为(158.4±103.8)cGy×cm<sup>2</sup>,远低于 DR 全景成像的(392.2±231.7)cGy×cm<sup>2</sup>。双平面 SSDR 全景成像系统通过同时采集正面、侧面全景影像,用特定软件可以精确重建出椎体、脊柱和骨盆,可以进行校准三维测量<sup>[16]</sup>。Sutter 等<sup>[17]</sup>通过多个体模研究表明,基于 EOS 双平面 X 线摄影校准三维测量不受摄影体位约束,测量精度明显高于标准影像学测量。SSDR 全景成像的优点是无需拼接,纵向 0 放大率,全景影像更精确,双平面三维校准测量进一步提高了测量精度;狭缝式线扫描技术能显著降低散射线,从而使受检者皮肤入射剂量较 CR 全景成像大为降低,而且影像质量明显优于 CR 全景成像<sup>[14,18]</sup>。其缺点是 SSDR 曝光时间较长,产生呼吸、运动伪影的可能性相对稍大,但研究表明<sup>[18]</sup>,受检部位偶然的运动或者持续的运动对 SSDR 全景成像影像质量的影响均低于对 CR 全景成像的影响。

## 2 数字 X 线全景成像技术的临床应用

数字 X 线脊柱全景成像主要用于脊柱畸形矫正治疗术前测量 Cobb 角、矢状面平衡及腰骶角,以便分析病情、确定治疗方案及术后疗效的评估<sup>[19]</sup>,是脊柱畸形评估的金标准<sup>[20]</sup>。X 线摄影脊柱全景成像常用的摄影体位有正位、侧位及左或右 bending 位。由于脊柱侧弯患者在整个检查治疗过程中需要进行大约 25 次 X 线摄影检查<sup>[21]</sup>,而脊柱侧弯患者大多为青少年,所以尽量降低 X 线辐射是很重要的。Kloth 等<sup>[22]</sup>研究表明,在数字 X 线摄影全景成像中,辐射剂量降低 50%对全景影像的准确性没有影响,这是符合放射实践中的 ALARA 原则的。Geijer 等<sup>[23]</sup>提出,采用后前位拍摄正位影像可以减少乳腺、甲状腺等器官的辐射剂量。Ben-Shlomo 等<sup>[24]</sup>通过进一步试验发现,在 10~15 岁的儿童中,采用前后位、头侧靠近 X 线管阳极端的体位进行投照将比采用后前位、头侧靠近 X 线管阳极端的体位投照多产生 183%的有效剂量,多产生 550%~879%乳腺吸收剂量。

数字 X 线摄影全下肢全景成像的主要目的是测量双下肢的力线,用于双下肢不等长、全髋关节成形术、膝关节及踝关节置换手术前下肢力线的测量和术后评估,在骨性关节炎、风湿性关节炎及双下肢畸形等疾病的诊断治疗中具有重要的临床

应用价值<sup>[25]</sup>。负重立位的全下肢 X 线全景成像是下肢全髋、全膝、全踝的人工置换术首选的检查方法,此方法更能真实地反映膝关节病变严重程度<sup>[9]</sup>。

### 3 数字 X 线摄影全景成像技术的前景展望

数字 X 线摄影全景成像技术起源于超长胶片全景成像,从初期的 CR 全景成像,到 DR 全景成像,过渡到 SSDR 全景成像,仅用了短短 20 多年。从上文中可以看出,SSDR 全景成像技术由于其测量精度高、辐射剂量低、影像清晰、成像简便快捷等优势,代表了最先进的 X 线摄影全景成像技术。随着更高量子探测效率的 X 线探测器的出现,将推动数字 X 线摄影全景成像技术向剂量更低、成像速度更快、操作更快捷的方向发展。

### 参考文献:

- [1] 张子齐,王龙华,桂鉴超,等. Photoshop 在数字化全下肢 X 线摄影图像后处理中的临床应用[J]. 中华放射学杂志,2006,40(12):95-98.
- [2] 刘明,王广平,王兵,等. Panorama Maker 拼接软件在 CR 全脊柱成像中的临床应用[J]. 长江大学学报:自然科学版,2013,10(1):34-35,37.
- [3] 陈华平,蒋书情,杜云,等. FotoCanvas 软件在全脊柱摄影中的应用[J]. 放射学实践,2009,24(9):122-124.
- [4] 许杰,马若凡,丁悦,等. 不同 X 线成像及拼接方法在全下肢数据采集的客观性比较[J]. 中国临床解剖学杂志,2009,27(5):547-550,554.
- [5] 罗志鸿,陈胜利,谢琦,等. CR 双下肢全长图像拼接的摄影参数探讨及其临床应用价值[J]. 医疗卫生装备,2009,30(6):78-80.
- [6] 凌寿佳,黄仲奎,龙莉玲,等. 全脊柱 CR 单次曝光与多次曝光成像的比较[J]. 实用放射学杂志,2006,22(10):131-133.
- [7] 陈晓飞,周晟,汪新柱,等. 全下肢分次曝光与单次曝光 X 线成像的对比[J]. 中国医学影像学技术,2011,27(9):212-213.
- [8] 曾勇明,黄伟,罗天友,等. DR 图像拼接全景成像技术的临床应用[J]. 重庆医科大学学报,2008,32(9):115-117.
- [9] 李传东,成成,马青,等. 全下肢负重立位 DR 成像技术的探讨[J]. 医学影像学杂志,2012,22(3):184-186.
- [10] Fowler JR, Ilyas AM. The accuracy of digital radiography in orthopaedic applications[J]. Clin Orthop Relat Res, 2011,469(6):1781-1784.
- [11] 王利泉,姜荣. 下肢全长拼接摄影下肢轴线测量准确度的初步研究[J]. 医疗卫生装备,2012,33(3):80-81.
- [12] 张殿星,毕万利,田军,等. SLOT Scan 全景拼接技术对青少年脊柱侧弯畸形的应用价值[J]. 实用放射学杂志,2012,28(12):1936-1939.
- [13] Samei E, Lo JY, Yoshizumi TT, et al. Comparative scatter and dose performance of slot-scan and full-field digital chest radiography systems[J]. Radiology, 2005, 235(3): 940-949.
- [14] Deschênes S, Charron G, Beaudoin G, et al. Diagnostic imaging of spinal deformities: reducing patients radiation dose with a new slot-scanning X-ray imager[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2010, 35(9):989-994.
- [15] Dietrich TJ, Pfirrmann CW, Schwab A, et al. Comparison of radiation dose, workflow, patient comfort and financial break-even of standard digital radiography and a novel biplanar low-dose X-ray system for upright full-length lower limb and whole spine radiography[J]. Skeletal Radiol, 2013, 42(7):959-967.
- [16] Illés T, Tunyogi-Csapó M, Somoskey S. Breakthrough in three-dimensional scoliosis diagnosis: significance of horizontal plane view and vertebra vectors[J]. Eur Spine J, 2011, 20(1):135-143.
- [17] Sutter R, Pfirrmann CW, Espinosa N, et al. Three-dimensional hindfoot alignment measurements based on biplanar radiographs: comparison with standard radiographic measurements[J]. Skeletal Radiol, 2013, 42(4):493-498.
- [18] Lee KH, Kwon JW, Yoon YC, et al. Slot-scan digital radiography of the lower extremities: a comparison to computed radiography with respect to image quality and radiation dose[J]. Korean J Radiol, 2009, 10(1):51-57.
- [19] Gómez-Rice A, Núñez-García A, Sánchez-Mariscal F, et al. Relationship between clinical results and sagittal profile in adult scoliosis. Value of the spinal-sacral angle and the spinal inclination angle[J]. Rev Esp Cir Ortop Traumatol, 2012, 56(6):426-431.
- [20] Frerich JM, Hertzler K, Knott P, et al. Comparison of radiographic and surface topography measurements in adolescents with idiopathic scoliosis [J]. Open Orthop J, 2012, 6(3):261-265.
- [21] Coelho DM, Bonagamba GH, Oliveira AS. Scoliometer measurements of patients with idiopathic scoliosis[J]. Rev Bras Fisioter, 2013, 17(2):179-184.
- [22] Kloth JK, Wiedenhoefer B, Stiller W, et al. Modern digital plain-radiography of the whole spine in scoliosis patients dose reduction and quality criteria [J]. Rofo, 2013, 185(1):48-54.
- [23] Geijer H, Beckman K, Jonsson B, et al. Digital radiography of scoliosis with a scanning method: initial evaluation [J]. Radiology, 2001, 218(2):402-410.
- [24] Ben-Shlomo A, Bartal G, Shabat S, et al. Effective dose and breast dose reduction in paediatric scoliosis X-ray radiography by an optimal positioning [J]. Radiat Prot Dosimetry, 2013, 156(1):30-36.
- [25] 章方红,沈本涛. 脊柱及下肢全景无缝成像技术的应用研究[J]. 实用医学影像杂志,2012(5):57-59.