doi: 10.13241/j.cnki.pmb.2014.07.018

双源 CT 三维重建前交叉韧带移植物新技术*

李光政 韩先伟 徐 虎 王迎春 张春礼△ (第四军医大学附属西京骨科医院陕西西安 710032)

摘要目的:探讨双源 CT(DSCT)三维重建前交叉韧带(anterior cruciate ligament, ACL)重建术后移植物的技术方法。方法:对 30 例 ACL 损伤后移植重建术后患者进行 DSCT 扫描,利用软件三维重建 ACL 移植物的三维图像,对图像效果进行分析。结果:采 用设定的参数和方法,30 例患者的 ACL 移植物均获得三维重现,其中 24 例获得清晰的移植物图像,6 例移植物图像略模糊。结 论:DSCT 可以重建出移植术后 ACL 移植物的三维图像,对临床检验、评估重建技术、修正重建方法、实现解剖重建有重大价值。 关键词:前交叉韧带;重建;移植物;体层摄影技术;双源 CT

中图分类号:R68 文献标识码:A 文章编号:1673-6273(2014)07-1275-04

Three-Dimensional Reconstruction of the Anterior Cruciate Ligament Graft with Dual-Source Computed Tomography: A Novel Technique*

LI Guang-zheng, HAN Xian-wei, XU Hu, WANG Ying-chun, ZHANG Chun-li

(Xijing Orthopaedic Hospital, The Fourth Military Medical University, Xi'an, Shaaxi, 710032, China)

ABSTRACT Objective: To explore the scanning technique and parameters in order to three-dimensionally reconstruct anterior cruciate ligament(ACL) graft with dual-source computed tomography(DSCT). **Methods:** DSCT scanning were performed in 30 cases of ACL reconstructed knees in attempt to obtain image of the ACL graft after its reconstruction. **Results:** All 30 grafts were successfully reconstructed by DSCT with our technique and scanning parameters. Extremely clear images were achieved in 24 cases except in 6 in which the grafts were not so satisfactory documented. **Conclusions:** The graft after ACL reconstruction can be three-dimensionally documented by dual-source computed tomography with certain scanning technique and parameters which we recommended. Three-dimensional graft image is significant helpful to evaluate graft position, improve reconstruction technique and achieve the true anatomic reconstruction eventually.

Key words: Anterior cruciate ligament; Reconstruction; Graft; Tomography; Dual-source computed tomography

Chinese Library Classification(CLC): R68 Document code: A Article ID: 1673-6273(2014)07-1275-04

一直以来,CT 在显示膝关节韧带方面有一定的局性,而韧带是膝关节的主要稳定结构。因此,CT 在诊断膝关节疾患中受到很大限制。随着双源 CT(DSCT)的发展和临床上应用,其对软组织具备的高分辨率、快速成像、立体直观显示等特性,引起我们高度重视。目前,我们^[13]与 Takehiko Iwahashi、Takanori Iriuchishima 等学者各自使用 DSCT 对前交叉韧带(anterior cruciate ligament, ACL)股骨止点解剖印记进行了研究,获得了成功^[45]。然而,对膝关节韧带的三维重建成像研究报道较少,对移植术后移植物的成像研究未见文献报道。本组对 30 例 ACL移植术后膝关节进行了 DSCT 扫描,探索移植物重建成像的条件与技术方法。

1 材料和方法

1.1 研究对象

本次研究对象为我科在 2012 年 11 月 1 日至 2013 年 4 月 30 日期间完成的 30 例 ACL 关节镜下单束重建的病例。30 例 中男性 12 例,女性 18 例,年龄 24~44 岁(平均 35.4 岁),28 例 为单纯 ACL 断裂行 ACL 单束重建手术,2 例合并后交叉韧带 和内侧副韧带断裂,同时行 ACL、后交叉韧带(PCL)、内侧副韧 带(MCL)重建手术。移植物材料 29 例为 4 股自体半腱肌腱,1 例为同种异体跟腱。股骨端统一采用 Endobutton (美国 Smith&Nephew 公司)固定,胫骨端采用 Washer(德国 Tuttlingen 公司)固定,采用经前内侧人路技术制备股骨隧道。股骨端采用 ACL 印迹中心定位,胫骨端采用髁间窝定位法定位,导向器(美 国 Smith&Nephew 公司)辅助钻取与移植物直径严密匹配的骨 隧道。

1.2 实验方法

本研究均在第四军医大学附属西京医院影像科 CT 室完成,采用 DSCT(SOMATOM Definition Flash 西门子公司)。扫描参数:电流 500mAs,A 球管和 B 球管电压分别为 140KV 和 80KV,螺距 0.7,有效层厚 0.75mm,旋转时间 0.5s,扫描上下范围 150~200mm。详细操作步骤如下:①选择有效层厚

^{*}基金项目:陕西省社会发展攻关计划基金(2010K13-01-01)

作者简介:李光政(1983-),男,硕士研究生,住院医师,研究方向:运动损伤,电话:18392180598,E-mail:liguangzheng322@163.com △通讯作者:张春礼,电话:13319250398,E-mail:zhangcl816@sohu.com

⁽收稿日期:2013-08-20 接受日期:2013-09-10)

0.75mm、电压 140KV 或 80KV 双击进入。②选择视窗右侧 3D 软件或 Inspace 软件,在 Type 选项中选择软组织重建软件,点 击进入(图 1)。③成像后选择需要的一侧膝关节,在图像上进 行裁剪,去除不需要的部分。④冠状位下不断调整灰度值,直至 膝关节外围软组织肌肉和韧带全部消失,只保留 ACL 移植物 和骨(图 2)。⑤调整方向,在冠状位下以前交叉韧带胫骨隧道 入口为标记点沿 ACL 移植物方向纵向切割(图 3),保留股骨 外髁,显示矢状位髁间窝剖面(图 4)。 面下显像的清晰程度进行评分:ACL 移植物形态完整 2 分,欠 完整 1 分,不完整 0 分;ACL 移植物与隧道口连接处清晰 2 分,欠清晰 1 分,不清晰 0 分;ACL 移植物边缘轮廓清晰 2 分, 欠清晰 1 分,边缘模糊 0 分。满分 6 分,≥ 4 分者为能够清晰重 建出 ACL 移植物,<4 分者为不能重建出 ACL 移植物。30 例 中有 24 例在冠状位和矢状位均可以清晰显示 ACL 移植物的 形态图像,6 例不能清晰完整显示(图 5、6)。

3 讨论

2 结果

根据孙丛等人的研究^[20],膝关节 ACL 移植物按照 3D 多平

ACL 是膝关节的重要稳定结构,CT 在显示骨性结构方面 有优势,但在软组织显像存在不足。DSCT 改变了普通 CT 在显

Case	Continuity	Junction	Edge	Total Points
1	2	2	1	5
2	1	0	1	2
3	2	1	2	5
4	2	2	2	6
5	1	1	1	3
6	2	2	2	6
7	2	1	1	4
8	2	0	1	3
9	1	1	1	3
10	2	1	2	5
11	2	2	2	6
12	2	2	2	6
13	2	2	1	5
14	2	1	2	5
15	2	2	2	6
16	2	2	1	5
17	1	2	2	5
18	2	1	2	5
19	2	2	2	6
20	1	2	2	5
21	2	2	1	5
22	2	1	1	4
23	2	0	1	3
24	1	1	1	3
25	2	1	2	5
26	1	2	2	5
27	2	2	2	6
28	2	2	1	5
29	2	2	1	5
30	2	2	2	6

表1 双源 CT 对 ACL 移植物显像清晰程度的评分 Table1 Grade Of The Image Quality Of The ACL Graft



图 1 DSCT 三维重建软件 Fig.1 Three-dimensionally Reconstructed Sofeware Of DSCT

图 2 冠状位下 ACL 移植物图像 Fig.2 Image Of the ACL Graft In Coronal Plane



图 3 冠状位下切割模型 Fig. 3 Cut The Model In Coronal Plane

示关节韧带方面的不足,其对软组织尤其是韧带有较高的分辨率。DSCT采用了 VR 图像,能立体直观地显示膝关节内的韧带,同时 DSCT 又可结合 MPR 图像,多方位多角度对韧带进行 细节的观察研究。DSCT 的两套 X 射线的发生装置和两套探测 器系统呈一定角度安装在同一平面,进行同步扫描。两套 X 射 线球管既可发射同样电压的射线也可以发射不同电压的射线,从而实现数据的整合或分离。不同的两组数据对同一器官组织 的分辨能力是不一样的,通过两组不同能量的数据从而可以分离普通 CT 所不能分离或显示的组织结构,即能量成像。一次 扫描可以获得两组数据集,提供更多丰富的信息。

目前临床上主要使用核磁共振成像显示 ACL 或术后移植物,但为二维图像。Yasumoto 等人已运用 DSCT 对 ACL 重建术后半腱肌的再生进行研究^[68]。本实验是我们首次尝试使用 DSCT 重建 ACL 移植物图像,并成功地显示 ACL 移植物的形态结构。利用该图像,可以评估骨隧道的定位;移植物的走行、长度、角度是否合适^[9];有无卡压、撞击^[10-1];与对侧比较是否恢

图 4 矢状位下 ACL 移植物图像 Fig. 4 Image Of the ACL Graft In Sagittal Plane

复了解剖形态等。为修正、改进临床重建技术有很大帮助,对目 前倡导的解剖重建有重大意义。研究中我们发现目前使用 DSCT 重建膝关节韧带的技术存在一些不足之处: ① 虽然 DSCT 的扫描速率提高,但双球管需两次曝光,增加了受检者 接受 X 线的剂量^[12]。②目前 DSCT 较多地使用在脉管和胃肠系 统的重建成像中[13-16],缺乏韧带软组织重建成像的相应软件,使 该领域更深一步的研究受到限制。③目前 DSCT 技术易于显示 骨的形态及表浅的韧带结构[17,18],但对于膝关节内部较深位置 或肌肉丰富部位的韧带和软组织缺乏灵敏性,不易对目标韧带 成像。孙丛四等人的研究表明,DSCT 对显示髌腱、腓侧副韧带 效果较好;对显示髌内外侧支持带、胫侧副韧带、腘斜韧带的效 果较差。实验中我们尝试显示膝关节其它的韧带结构,同样发 现了这样的情况。回顾 30 例中 6 例不能清晰成像的病例,我们 发现这6例均为身体强壮,腿部肌肉发达的患者。分析原因可 能为该部位肌肉丰富,外层有其它肌肉组织覆盖阻挡,射线不 易区分组织密度相近的韧带结构。ACL 移植物之所以能够清



图 5 冠状位下 ACL 移植物图像欠清晰 Fig.5 No-satisfactory Image Of the ACL Graft In Coronal Plane

晰显示,是因为移植物是取自体半腱肌或异体韧带为材料,同膝关节内部的其它韧带密度存在差异,易于区分显影¹⁹。

本研究样本量较小,是对 DSCT 三维重建膝关节韧带移植物成像的初步探索。目前大部分研究者使用核磁共振二维图像对膝关韧带进行研究^[19],使得研究范围相当局限。相信随着DSCT 双能量成像技术的发展,可以进一步研究膝关节韧带的解剖位置,也可以对动态下韧带的形态学变化和生物力学变化进行研究。临床上可以为损伤、病变的韧带提供诊断依据^[20],也可以对术后病人进行三维重建,评估重建韧带的位置,总结规律,指导术者改进手术方案,为临床实现个体化解剖重建提供更全面更可靠、更具代表性的理论依据。

参考文献(Reference)

- [1] 张强,徐虎,张春礼,等. 双源三维 CT 重建前交叉韧带股骨止点的 印迹技术[J]. 中华创伤骨科杂志, 2012, 14(1): 40-44 Zhang Qiang, Xu Hu, Zhang Chun-li, et al. Three-dimensional reconstruction of the femoral footprint of anterior cruciate ligament by dualsource[J]. Chinese Journal Of Orthopaedic Trauma, 2012, 14(1): 40-44
- [2] 张强,徐虎,张春礼,等. 双源 CT 三维重建前交叉韧带股骨止点印 迹的研究[J]. 中华创伤骨科杂志, 2012, 14(7): 599-603
 Zhang Qiang, Xu Hu, Zhang Chun-li, et al. Three-dimensional reconstruction of the femoral footprint of anterior cruciate ligament by dualsource[J]. Chinese Journal of Orthopaedic Trauma, 2012, 14(7)): 599-603
- [3] 张强,徐虎,张春礼,等. 双源 CT 三维重建前交叉韧带胫骨止点印 迹的临床研究[J]. 中国微创外科杂志, 2012, 12(2): 164-167 Zhang Qiang, Xu Hu, Zhang Chun-li, et al. 3D Reconstruction of the tibial footprint of the anterior cruciate ligament by dual-source CT[J]. Chinese Journal Of Minimally Invasive Surgery, 2012, 12(2): 164-167
- [4] Iwahashi T, Shino K, Nakata K. Direct anterior cruciate ligament insertion to the femur assessed by histology and 3-dimensional volume-rendered computed tomography[J]. Arthroscopy, 2010, 26(9 Suppl): S13 -20



图 6 矢状位下 ACL 移植物图像欠清晰 Fig.6 No-satisfactory Image Of the ACL Graft In Sagittal Plane

- [5] Iriuchishima T, Shirakura K, Yorifuji H. Size comparison of ACL footprint and reconstructed auto graft[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2013, 21(4): 797-803
- [6] Nakamae A, Deie M, Adachi N. Effects of knee immobilization on morphological changes in the semitendinosus muscle-tendon complex after hamstring harvesting for anterior cruciate ligament reconstruction: evaluation using three-dimensional computed tomography[J]. J Orthop Sci, 2012, 17(1): 39-45
- [7] Yasumoto M, Deie M, Sunaqawa T. Predictive value of preoperative 3-dimensional computer tomography measurement of semitendinosus tendon harvested for anterior cruciate ligament reconstruction[J]. Arthroscopy, 2006, 22(3): 259-264
- [8] Nakamura E, Mizuta H, Kadota M. Three-dimensional computed tomography evaluation of semitendinosus harvest after anterior cruciate ligament reconstruction[J]. Arthroscopy, 2004, 20(4): 360-365
- [9] Wang, J. H. Kato Y, Ingham SJ, et al. Measurement of the end-to-end distances between the femoral and tibial insertion sites of the anterior cruciate ligament during knee flexion and with rotational torque[J]. Arthroscopy, 2012, 28(10): 1524-1532
- [10] Goss, B. C. S. M. Howell, Quadriceps load aggravates and roofplasty mitigates active impingement of anterior cruciate ligament grafts against the intercondylar roof[J]. J Orthop Res, 1998, 16(5): 611-617
- [11] Goss, B.C. M. L. Hull, Contact pressure and tension in anterior cruciate ligament grafts subjected to roof impingement during passive extension[J]. J Orthop Res, 1997, 15(2): 263-268
- [12] Irie K, Yamada T. Three-dimensional virtual computed tomography imaging for injured anterior cruciate ligament[J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2002, 122(2): 93-95
- [13] Konen E, Rozenman J, Amitai M. Virtual CT angioscopy of pulmonary arteries in a patient with multiple pulmonary emboli [J]. AJR Am J Roentgenol, 1998, 171(2): 399-400
- [14] Royster AP, Fenlon HM, Clarke PD. CT colonoscopy of colorectal neoplasms: two-dimensional and three-dimensional virtual-reality techniques with colonoscopic correlation [J]. AJR Am J Roentgenol, 1997, 169(5): 1237-1242 (下转第 1211 页)

饰,摸索出效率能与天然 IBTX 相媲美的表达纯化工艺。 参考文献(References)

- Galvez A, Gimenez-Gallego G, Reuben JP, et al. Purification and characterization of a unique, potent, peptidyl probe for the high conductance calcium-activated potassium channel from venom of the scorpion Buthus tamulus[J]. Journal of Biological Chemistry, 1990, 265(19): 11083 -11090
- [2] Tang QY, Zhang Z, Xia XM, et al. Block of mouse Slo1 and Slo3 K+ channels by CTX, IbTX, TEA, 4-AP and quinidine[J]. Channels, 2010, 4(1): 22-41
- [3] Gomase VS, Phadnis AC, Somnath W. Proteomics based prediction of antigenicity of iberiotoxin from eastern Indian scorpion[J]. International Journal of Drug Discovery, 2009, 1(1): 10-13
- [4] Haghdoost-Yazdi H, Janahmadi M, Behzadi G. Iberiotoxin-sensitive large conductance Ca²⁺-dependent K+ (BK) channels regulate the spike configuration in the burst firing of cerebellar Purkinje neurons[J]. Brain research, 2008, 1212: 1-8
- [5] Meera P, Wallner M, Toro L. A neuronal β subunit (KCNMB4) makes the large conductance, voltage-and Ca²⁺-activated K⁺ channel resistant to charybdotoxin and iberiotoxin [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2000, 97(10): 5562-5567
- [6] Gan G, Yi H, Chen M, et al. Structural basis for toxin resistance of β4-associated calcium-activated potassium (BK) channels[J]. Journal of Biological Chemistry, 2008, 283(35): 24177-24184
- [7] Wu RS, Liu G, Zakharov SI, et al. Positions of β2 and β3 subunits in the large-conductance calcium-and voltage-activated BK potassium channel[J]. The Journal of general physiology, 2013, 141(1): 105-117
- [8] Rice A. Regulation of smooth muscle activity in the rat: Effects of castration and iberiotoxin[D]. Youngstown State University, 2011
- [9] Upadhyay DK, Kim TW, Sharma N, et al. Magnesium increases iberiotoxin-sensitive large conductance calcium activated potassium currents on the basilar artery smooth muscle cells in rabbits [J]. Neurological

Research, 2012, 34(1): 11-16

- [10] Johnson BA, Sugg EE. Determination of the three-dimensional structure of iberiotoxin in solution by proton nuclear magnetic resonance spectroscopy[J]. Biochemistry, 1992, 31(35): 8151-8159
- [11] Banères JL, Popot JL, Mouillac B. New advances in production and functional folding of G-protein-coupled receptors[J]. Trends in biotechnology, 2011, 29(7): 314-322
- [12] Vincentelli R, Cimino A, Geerlof A, et al. High-throughput protein expression screening and purification in Escherichia coli[J]. Methods, 2011, 55(1): 65-72
- [13] Hayashi K, Kojima C. Efficient protein production method for NMR using soluble protein tags with cold shock expression vector[J]. Journal of biomolecular NMR, 2010, 48(3): 147-155
- [14] Martin-Eauclaire MF, Bougis PE. Potassium Channels Blockers from the Venom of Androctonus mauretanicus mauretanicus[J]. Journal of toxicology, 2012, 2012: 103608-103608
- [15] 吴英亮,曹志贱,蒋达和,等.作用于钾离子通道竭毒素的结构特征 及活性表面研究进展 [J].生物物理学报,2004, 20(2): 96-101 Wu Ying-liang, Cao Zhi-jian, Jiang Da-he, et al. Structural characteristics and development of bioactive surface research of scorpion toxins affecting potassium ion channels[J]. Acta Biophysica Sinica, 2004, 20(2): 96-101
- [16] Garcia ML, Hanner M, Knaus HG, et al. Scorpion toxins as tools for studying potassium channels[J]. Methods in enzymology, 1999, 294: 624-639
- [17] Quintero-Hernandez V, Ortiz E, Rendon-Anaya M, et al. Scorpion and spider venom peptides: gene cloning and peptide expression[J]. Toxicon, 2011, 58(8): 644-663
- [18] Bingham JP, Chun JB, Ruzicka MR, et al. Synthesis of an iberiotoxin derivative by chemical ligation: A method for improved yields of cysteine-rich scorpion toxin peptides[J]. Peptides, 2009, 30(6): 1049-1057

(上接第 1278 页)

- [15] Prassopoulos, Raptopoulos V, Chuttani R. Development of virtual CT cholangiopancreatoscopy[J]. Radiology, 1998, 209(2): 570-574
- [16] Lee DH, Three-dimensional imaging of the stomach by spiral CT[J]. J Comput Assist Tomogr, 1998, 22(1): 52-58
- [17] Iriuchishima T, Horaquchi T, Kubomura T. Evaluation of the intercondylar roof impingement after anatomical double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction using 3D-CT [J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2011, 19(4): 674-679
- [18] Hoshino Y, Kim D, Fu FH. Three-dimensional anatomic evaluation

of the anterior cruciate ligament for planning reconstruction[J]. Anat Res Int, 2012, 2012: 569-704

- [19] Rispoli DM, Sanders TG, Miller MD. Magnetic resonance imaging at different time periods following hamstring harvest for anterior cruciate ligament reconstruction[J]. Arthroscopy, 2001, 17(1): 2-8
- [20] 孙丛, 柳澄, 王锡明, 等. 双能 CT 成像在显示膝关节韧带中的价值
 [J]. 中国医学影像技术, 2008, 24(9): 1323-1325
 Sun Cong, Liu Cheng, Wang Xi-ming, et al. Value of dual-energy CT imaging in displaying ligaments of knee [J]. Chinese Journal of Medical Imaging Technology, 2008, 24(9): 1323-1325