

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, Shaanxi, 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^[1-3]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^[4,5]。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,采用经前内侧入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)。

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

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

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

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

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



图1 DSCT 三维重建软件

Fig.1 Three-dimensionally Reconstructed
Software Of DSCT

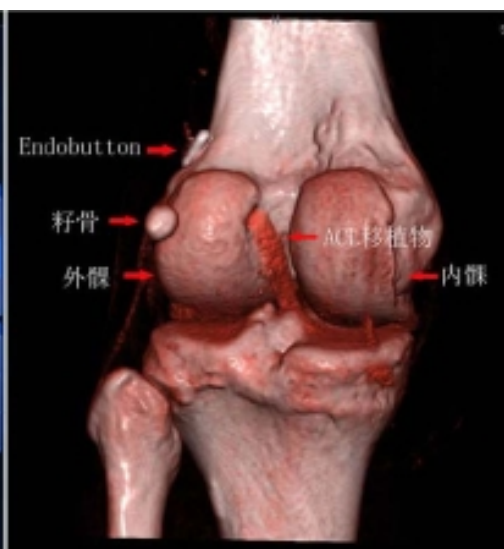


图2 冠状位下 ACL 移植术图像

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

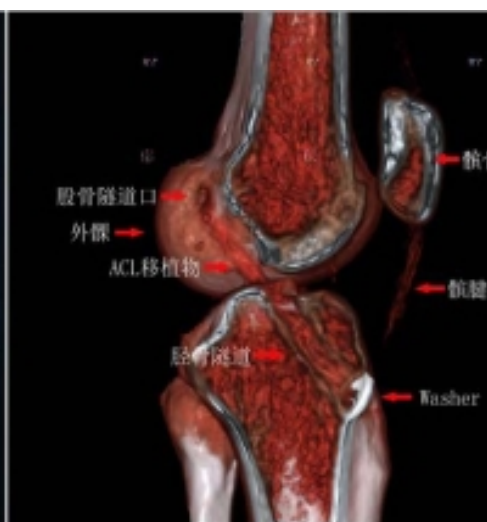


图4 矢状位下 ACL 移植术图像

Fig. 4 Image Of the ACL Graft In Sagittal Plane

示关节韧带方面的不足,其对软组织尤其是韧带具有较高的分辨率。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磁共振成像显示 ACL 或术后移植术,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^[6-8]。本实验是我们首次尝试使用 DSCT 重建 ACL 移植术图像,并成功地显示 ACL 移植术的形态结构。利用该图像,可以评估骨隧道的定位;移植术的走行、长度、角度是否合适^[9];有无卡压、撞击^[10-11];与对侧比较是否恢

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^[20]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、腓斜韧带的效果较差。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 移植术之所以能够清



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

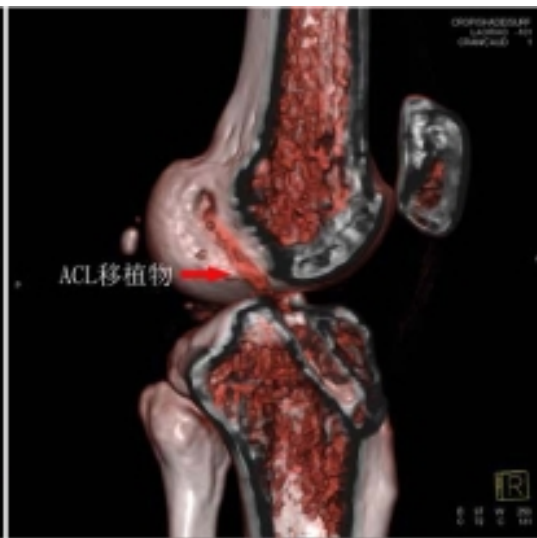


图6 矢状位下 ACL 移植图像欠清晰
Fig.6 No-satisfactory Image Of the ACL Graft
In Sagittal Plane

晰显示, 是因为移植体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体成像的初步探索。目前大部分研究者使用核磁共振二维图像对膝关节韧带进行研究^[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
- [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, Sunagawa 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 angiography 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)

- [1] 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] Haghdoust-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 β 4-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 β 2 and β 3 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.作用于钾离子通道蝎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
- [15] Prassopoulos, Raptopoulos V, Chuttani R. Development of virtual CT cholangiopancreatography[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

(上接第 1278 页)