

论 著

Clinical Comparative Analysis of Low-Dose Dual-energy CT in the Diagnosis of Anterior Cruciate Ligament Injury of Knee Joint

BAI Rui^{1*}, HUANG Jun-cheng¹, HE Xiao-hua², HUANG Wen-jian¹, GUO Yuan-xing², LI Ping-yue³.
 1.Department of Radiology, Gosun Medical Imaging Diagnostic Center, Guangzhou 510017, Guangdong Province, China
 2.Department of Radiology, The General Hospital of the Southern Theater, Guangzhou 510010, Guangdong Province, China
 3.Department of Orthopedics, The General Hospital of the Southern Theater, Guangzhou 510010, Guangdong Province, China

低剂量双能量CT诊断膝关节前交叉韧带损伤的临床对照分析

柏 瑞^{1*} 黄俊成¹ 何小华²
 黄文健¹ 郭元星² 李凭跃³

1.高尚医学影像诊断中心放射科

(广东广州 510017)

2.南部战区总医院放射科 (广东广州 510010)

3.南部战区总医院骨科 (广东广州 510010)

【摘要】目的 研究对象取膝关节前交叉韧带受损者, 探究低剂量双能量CT诊断的临床作用效果。**方法** 以膝关节损伤者35例为对象, 通过对所选病例资料进行回顾性分析, 开展双能量CT扫描时, 将低剂量参数作为数据, 诊断标准是“双能染色减少征”, 对比关节镜、MRI检查和CT诊断结果。**结果** 在所选患者中, 经“双能染色减少征”诊断, 有22例伴前交叉韧带受损, 和关节镜检查结果相符共计18例; 有13例为正常前交叉韧带, 和关节镜检查结果相符共计12例。该征象的诊断敏感性、特异性、阳性预测值在低剂量成像下分别是94.7%、75%、81.8%, 阴性预测值为92.3%。Kappa检验结果表明, 该方法具有良好的一致性。**结论** 在临床诊断膝关节前交叉韧带受损中, 双能CT低剂量扫描参数的开展具有一定可行性。

【关键词】 低剂量与双能量; 电子计算机断层扫描; 膝关节; 韧带损伤

【中图分类号】 R816.8; R686.5

【文献标识码】 A

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2022.10.060

ABSTRACT

Objective The subjects were selected from the patients with damaged anterior cruciate ligament of knee joint to explore the clinical effect of low-dose dual energy CT diagnosis. **Methods** Taking 35 cases of knee joint injury as the object, through the retrospective analysis of the selected case data, when carrying out dual energy CT scanning, the low-dose parameters were taken as the data, and the diagnostic standard was "dual energy staining reduction sign". The diagnostic results of arthroscopy, MRI and CT were compared. **Results** Among the selected patients, 22 were diagnosed by "dual energy staining reduction sign" with anterior cruciate ligament damage, which was consistent with the results of arthroscopy in 18 cases; There were 13 cases of normal anterior cruciate ligament, which was consistent with the results of arthroscopy in 12 cases. The diagnostic sensitivity, specificity and positive predictive value of this sign were 94.7%, 75% and 81.8% respectively in low-dose imaging, and the negative predictive value was 92.3%. Kappa test results show that the method has good consistency. **Conclusion** In the clinical diagnosis of knee anterior cruciate ligament injury, the development of dual energy CT low-dose scanning parameters is feasible.

Keywords: Low Dose And Dual Energy; Computed Tomography; The Knee Joint. Ligament Injury

在临床疾病中ACL(前交叉韧带)受损属于多发且常见症, 而对于诊断检查的开展, 针对查体与病史的结合的实施为最常见的。MRI(磁共振成像)作为医学影像新设备和技术普及与发展代表, 对于ACL受损情况, 早期无创检查的实施能有效提高诊断准确性。但是MRI存在着扫描时间长、相对禁忌较多等缺陷。近十余年, 陆续有学者将“双能量CT”这一重焕新生的CT技术应用于ACL损伤的成像与诊断上。比如, 孙丛等报道: 双源CT双能量成像可以立体清晰的显示交叉韧带走行、形态等, 并可进行多角度、方位的细节观察^[1]。我们经分析研究双能量CT交叉韧带成像, 发现了一个适用于诊断ACL损伤的征象——“双能染色减少征”^[2-3]。在此发现基础上, 我们又使用膝关节标本进行了低剂量成像参数优化研究, 证实了对于ACL成像, 双能量CT扫描参数在低剂量条件下具有一定可行性^[4]。然而, 我们还要对接下来的问题进行回答, 即: 在低剂量研究中, 膝关节标本为我们应用的标本, 但未在活体上开展。那么, 在临床日常工作中是否也可应用这个低剂量参数条件? 特别是对膝关节ACL受损的受检者, 相比正常韧带和四周组织间的界限, 其受损的韧带和四周组织间的界限的清晰度相对低下, 成像是否清晰, 是否能正确诊断ACL损伤? 另外, 在临床工作中, 我们感觉“双能染色减少征”的影像诊断效能不会由于减低扫描管电流而受到影响, 提示“双能染色减少征”依然适用。然而, 这属于主观感受, 并非经系统分析整理临床数据后得出的严谨结论。结合上述各方面的出发点, 经重新整理既往一定数量的临床数据, 并分析对照关节镜手术结果, 对于双能量CT在剂量参数条件下诊断ACL损伤诊断实用性的问题进行客观回答。

1 资料和方法

1.1 患者基础资料 回顾性分析35例伴膝关节受损患者的临床资料, 于关节镜术前实施双源CT低剂量参数双能量技术扫描, 其中男、女例数占比为27/8; 最小年龄17岁, 最大年龄57岁, 平均(29.3±9.5)岁; 26例患者左膝出现问题, 9例右膝出现问题。

1.2 方法

1.2.1 扫描方法 实施双源螺旋CT(西门子)双能量成像模式、低剂量条件, 球管A管电压140kV、球管B的管电压80kV, 管电流分别是123mAs与29mAs, 准直为20×0.6mm, 螺距为0.7, 扫描视野为250mm, 重建层厚为1mm、增量为0.7mm、D30s为算法, 四肢预设窗值。以股骨髁上缘为起始, 直至腓骨小头的下缘与胫骨髁下缘作为扫描范围。

1.2.2 图像后处理 传输所有图像至图像后处理站, 双能量模式tendon模块下进行双能染色显影, 顺着韧带走向重建斜矢状位平面, 其目的是将染色下ACL走行和形态显示出来。

1.2.3 CT图像分析 对于本案例患者的膝关节图像, 选择工龄不低于10年, 且职称为副主

【第一作者】 柏 瑞, 男, 副主任医师, 主要研究方向: 骨肌系统疾病影像诊断。E-mail: bairuigzzyy@sina.com

【通讯作者】 柏 瑞

任医师的影像医师(2名)实施低剂量双源CT双能量进行数据分析。主要观察内容有: 双侧ACL形态在双能模式tendon模块下是否清楚; 双侧的ACL染色相同与否; 有无“双能染色减少征”, 两位医生的意见形成统一后输出结果。

1.2.4 低剂量双能量CT结果与MRI及关节镜结果对照分析 通过采取关节镜手术方案对纳入的病例进行明确诊断, 实施关节镜手术治疗前开展MRI检查患者有31例, 把“双能染色减少征”作为诊断标准, 分析对照组CT诊断结果和关节镜手术、MRI结果, “金标准”为关节镜手术结果。对于ACL损伤者, 对MRI或CT诊断的特异性、敏感性、阴性和阳性预测值进行计算。

1.2.5 统计学分析 选取工具SPSS 23.0软件。对于MRI与CT诊断结果和关节镜结果一致性的分析采取Kappa检验, 和关节镜结果一致, 当Kappa值>0, 则说明相比机遇一致性, 观察一致性更大; 当Kappa值未超过0.4, 则表示较差的一致性; 当Kappa值不低于0.4, 但未超过0.7, 则表示一致性尚好; 当Kappa值不低于0.7, 则表示一致性良好。0.05为检验标准, $P<0.05$, 表示差异有统计学意义。

2 结果

在研究所选病例中伴“双能染色减少征”者有22例。在这诊断ACL损伤的22例患者中18例与关节镜检查结果一致, 误诊4例; 13例ACL诊断正常, 1例误诊, 12例与关节镜检查结果一致。对“双能染色减少征”采取低剂量参数成像诊断, 其敏感性为94.7%, 特异性: 75%, 阳性预测值(positive prediction value, PPV): 81.8%, 阴性预测值(negative prediction value, NPV): 92.3%, 85.7%则为整体诊断准确度, 具体见表1。在35例患者中, 行关节镜手术治疗前实施MRI检查者

共计31例, 其中有25例诊断ACL受损, 和关节镜术后结果相符的患者共计20例, 有5例误诊; ACL经诊断显示正常共计6例, 和关节镜术后结果相符。经MRI诊断的特异性、敏感性为54.5%、100%, NPV、PPV分别是100%、80%, 83.9%为整体诊断准确度, 具体见表2。通过Kappa经验分析CT诊断结果与关节镜术后结果一致性的Kappa值是0.836($P<0.001$), MRI诊断结果和关节镜术后结果一致性Kappa值是0.755($P<0.001$), 得出CT诊断结果与关节镜手术结果相符, 证实“双能染色减少征”在低剂量参数成像下仍是对ACL受损诊断的有效双能CT征象, 具体见图1~图2。MRI及CT二者与关节镜术后结果一致性的Kappa值没有统计学差异, 说明二者都有较好诊断效能。

表1 分析关节镜结果和CT诊断结果

		CT诊断结果		
		损伤	正常	合计
关节镜结果	损伤	18	1	19
	正常	4	12	16
合计		22	13	35

表2 MRI结果与关节镜结果对比

		MRI诊断结果		
		损伤	正常	合计
关节镜结果	损伤	20	0	20
	正常	5	6	11
合计		25	6	31

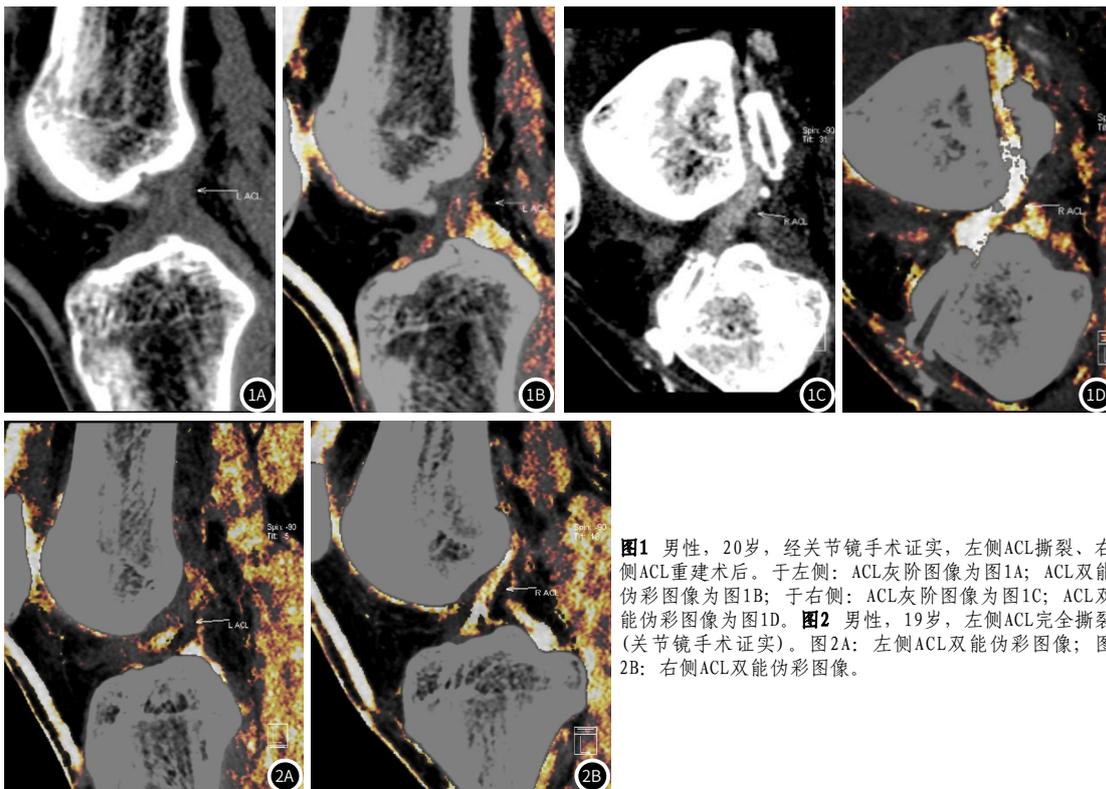


图1 男性, 20岁, 经关节镜手术证实, 左侧ACL撕裂、右侧ACL重建术后。于左侧: ACL灰阶图像为图1A; ACL双能伪彩图像为图1B; 于右侧: ACL灰阶图像为图1C; ACL双能伪彩图像为图1D。图2 男性, 19岁, 左侧ACL完全撕裂(关节镜手术证实)。图2A: 左侧ACL双能伪彩图像; 图2B: 右侧ACL双能伪彩图像。

3 讨论

对于关节运动受损, MRI是进行影像诊断的首选方法。纤维组织为韧带主要成分。它的氢质子锚定在由肽构成的密集网格结构中, 不参与磁共振成像。因此, 它在任何序列中都显示低信号。然而, 韧带损伤后, 纤维组织中的肽条被破坏, 从而干扰氢质子的固定。在所有序列中, 水肿液与氢质子会增加信号^[5]。许多研究和报告已经进行了磁共振韧带成像和损伤报道。在ACL损伤方面, MRI作用已得到认可, 对于ACL受损的判断, 特别是ACL

撕裂, 其准确性较高。然而, 相比完全撕裂, MRI诊断ACL部分撕裂其难度仍较大^[6-9]。有研究学者指出, 对于ACL部分撕裂, 对其开展MRI诊断, 相比ACL完全撕裂, 其准确性、特异性和敏感性均相对偏低^[10]。在临床工作中, 漏诊或误诊的ACL损伤诊断也较多。其原因具体体现在以下几方面: ①由于黏液变性, ACL会出现与撕裂水肿相似的高信号; ②含水结缔组织包裹ACL双束结构, 会有高信号出现, 与韧带撕裂类似; ③因部分容积效应, ACL中下段信号呈递增趋势, 特别是在对中下段受损情况

判断时,易导致准确性降低;④ACL滑膜即便在发生撕裂后,有时也会较为完整,易被看做韧带连续性未中断,而对于急性完全性撕裂,也易视为部分撕裂;⑤韧带走行与扫描层面不平行时,有时无法将ACL的全长显示出来,容易漏诊ACL部分撕裂。这些原因影响下的ACL撕裂,尤其是对于部分撕裂,易出现漏、误诊情况,其发生率在年轻医师或是中小医院中都相对较高。另外,MRI的检查禁忌,比如幽闭恐惧症等,也是会对临床诊断产生影响的主要问题。即便是抗磁金属植入物,其四周结构的显示情况也会由于植入物伪影出现清晰度不高的情况,进而影响诊断结果。经常有临床医生或者患者会诉说对于ACL受损拟实施MRI检查,但由于存在相关禁忌症而无法开展的无奈。他们认可在ACL受损影像学检查中,MRI的应用为首选,但也希望有其他备选方法。

在韧带成像方面,传统CT存有局限性,然而,伴随CT技术水平的提高,各向同性在容积扫描下不断提高,对于任意方向的重建图像和传统横断面图像相比,二者的一致性较高,在图像空间、密度分辨率均未超过0.4毫米^[11],因此,韧带结构情况能在CT灰阶图像上有效显示出来。也有研究指出,对于CT值的比较,相比60HU的肌肉组织,正常膝关节韧带的CT值则为100HU,即便不开增强扫描也能对二者密度予以分辨^[12-13]。ACL撕裂在传统CT灰阶成像中以减低密度、中断连续性和增宽韧带为主要表现。与正常韧带相比,受伤韧带明显增粗,厚度变化最显著。尤其是在韧带开端处。经比较CT数据发现,正常韧带的CT值明显高于受损韧带CT值,考虑其原因可能为受韧带四周水肿和渗出影响CT值变化以韧带完全撕裂最为显著^[14]。然而,诊断ACL撕裂时,相比MRI,传统CT灰阶图像的实施效果仍有很多不足。

伴随近年来双能量CT开展的深入及推广,在骨肌系统成像上此技术亦得到应用,包括韧带和肌腱成像。然而,在出现韧带成像之初,大多数的研究开展只是对单纯成像可行性进行分析,得出相比传统多层螺旋CT,在分辨软组织方面,双能量CT成像的效果更好,交叉韧带的形状、走行和边缘在二维/三维中清晰地显示出来,并可进行多方位/角度的细节观察^[1,15-17],有关评估膝关节软组织受损,应用研究相对较少。对于双能量CT交叉韧带成像,经我们前期研究发现其表现体现在以下几方面:①对于双能量染色程度与染色均匀度,正常后交叉韧带高于正常ACL;②双侧正常前交叉韧带染色程度在同一受试者中比较相似,前交叉韧带染色程度会因不同受试者而出现一定差异;③相比对侧正常ACL,受损ACL染色程度相对偏低,甚至会出现不染色情况,我们称其为“双能染色减少征”,我们将其用于临床中并和关节镜手术结果分析比较,该征象诊断ACL损伤的特异性97.1%,敏感性94.5%,95.5%诊断符合率,这与关节镜检查结果高度一致^[2-3]。国外学者的研究表明^[18],对于急性ACL完全撕裂的评估,双能量CT为相对实用的方法,其特异性、敏感性较高,占比分别是100%、79%。针对ACL撕裂的一致性比较,观察者间和观察者内为良或优。对于ACL撕裂,MRI和双能量CT有较好符合率。而且,也有学者报道^[19],以ACL撕裂患者16例为对象,予以分析对照,认为斜矢状位是对ACL有效识别的最佳断面,研究发现,在对亚急性、慢性创伤患者行双能量CT检测,其诊断ACL完全性撕裂准确性及观察者间一致性较高。另外,有学者指出^[20],研究对象取猪后腿,通过开展离体实验,结果显示,对于ACL完全撕裂情况,开展双能量CT诊断,其特异性、敏感性占比分别是68.8%、75%;针对ACL前内侧束的部分撕裂,相比双能量CT,开展MRI诊断有较高敏感性,但特异性则相对偏低;针对ACL后外侧束部分撕裂,相比MRI,双能量CT诊断的实施有较高敏感性,但特异性则相对偏低。针对ACL完全撕裂的NPV与PPV,双能量CT诊断低于MRI;在ACL后外侧束部分撕裂中,相比MRI诊断,双能量CT分析有较好的NPV与PPV。近年来,国内也有学者通过开展双能量CT分析ACL损伤。在任瑞^[21]等研究中,对于ACL损伤,行双能量染色成像诊断,其正确率达到86.67%,我们进行的早期研究结果一致。其在分析中还发现,相比健侧CT值,患侧韧带CT值呈递减状态,其中降低最为显著的是完全撕裂韧带CT值。其原因认为和韧带四周渗出或水肿有一定相关性。在翟长彬^[14]等研究中,取ACL受损患者30例为对象,有26例为韧带双能染色消失、减少,此结果和我们早期所得结果基本相符。此次研究应用低剂量扫描参数,在选取的35例患者中,伴“双能染色减少征”征患者有22例,其中18例经关节镜术后证实;无“双能染色减少征”患者13例,有12例经关节镜证实。“双能染色减少征”在低剂量参数成

像下对ACL受损患者实施诊断,其特异性、敏感性分别是75%、94.7%,NPV、PPV占比分别是92.3%、81.8%。本研究诊断结果符合关节镜检查结果。另外,本研究结果和国内外相关研究结果一致,在早期诊断ACL受损患者中,结果类似于常规剂量双能CT交叉韧带成像下的“双能染色减少征”诊断结果^[22]。当然,相比于我们早期研究,在样本数量方面,本组低剂量研究的临床数据仍存在一定不足;在所随访到的病例资料中,有部病例的MRI诊断是外院检查,比如在中小医院检查,受前述介绍的一些误诊、漏诊因素的不利影响,会一定程度影响诊断准确性。这些都可能影响对于低剂量条件下双能量CT诊断ACL损伤的结果与MRI结果一致性的精准评价^[23]。

综上所述,利用“双能染色减少”征开展低剂量参数成像,双能量CT诊断结果和关节镜术后结果一致性较好,和MRI的诊断效能相当,证实,对于CT诊断ACL损伤,低剂量扫描方案的实施具有较好价值。

参考文献

- [1] 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.中国医学影像技术,2008,24(9):1323-1325.
- [2] 柏瑞,欧洪兴,刘海波,等.双能染色减少征在膝关节交叉韧带损伤中诊断价值初步探讨.临床放射学杂志,2011,30(3):381-383.
- [3] 柏瑞,乔国庆,郭元星,等.双能量CT诊断前交叉韧带急性损伤.华南国防医学杂志,2014,28(2):174-176.
- [4] Rui Bai,Xiangdong Li,Rurui Li,et al.Optimization of low-dose scan parameters in dual-energy computed tomography for displaying the anterior cruciate ligament.Journal of International Medical Research,2020,48(7):300060520927874.
- [5] Zhou G Q,Zhang Y P,Zhang G X,et al.MR diagnosis of tears of anterior cruciate ligament of the knee.Clin J Med Imaging Technol,2002,18(11):1146-1149.
- [6] Umans H,Wimpfheimer O,Haramati N,et al.Diagnosis of partial tears of the anterior cruciate ligament of the knee:value of MR imaging.AJR,1995,165(4):893-897.
- [7] Dejour D,Ntagiopoulos P G,Saggin P R,et al.The diagnostic value of clinical tests, magnetic resonance imaging,and instrumented laxity in the differentiation of complete versus partial anterior cruciate ligament tears.Arthroscopy,2013,29(3):491-499.
- [8] Van Dyck P,De Smet E,Verysse J,et al.Partial tear of the anterior cruciate ligament of the knee:injury patterns on MR imaging.Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc,2012,20(2):256-261.
- [9] 谭仲伦,张子钦,郭晓婷,等.反Segond骨折的影像学评价附3例报告并文献复习[J].罕少疾病杂志,2020,27(4):40-42,56.
- [10] Van Dyck P,Vanhoenacker F M,Gielen J L,et al.Three tesla magnetic resonance imaging of the anterior cruciate ligament of the knee:can we differentiate complete from partial tears?Skeletal Radiol,2011,40(6):701-707.
- [11] 郭文力,侯阳,潘诗农,等.三维CT对前交叉韧带重建术后早期效果的评价.中国医学影像技术,2008,24(4):605-607.
- [12] Pele J S,Beaulieu C F.Volume rendering of tendon-bone relationships using unenhanced CT. AJR Am J Roentgenol,2001,276(4):973-977.
- [13] 周堂,徐凯,周胜利,等.正常成人膝关节交叉韧带的MSCT与MRI对照研究.医学影像学杂志,2010,20(4):563-567.
- [14] 翟长彬.双源CT在膝关节交叉韧带损伤成像中的应用评价.西宁:青海大学,2013.
- [15] Johnson T R,Krauss B,Sedlmair M,et al.Material differentiation by dual energy CT:initial experience[J].Eur Radiol,2007,17:1510-1517.
- [16] Flohr T G,McCollough C H,Bruder H,et al.First performance evaluation of a dual-source CT(DSCT) system. Eur Radiol,2006,16(2):256-268.
- [17] 曹国元,邓博文,刘其昌,等.振动刺激训练法在前交叉韧带重建术后肌肉力量能力的影响效果[J].罕少疾病杂志,201926(4):53-56.
- [18] 谭仲伦,张子钦,郭晓婷,等.反Segond骨折的影像学评价附3例报告并文献复习[J].罕少疾病杂志,2020,27(4):4.
- [19] 李杰,张海涛,陈锦伦,等.MRI矢状位和轴位测量前交叉韧带断裂与髌股关节的稳定性[J].中国组织工程研究,2022,26(6):4.
- [20] Peltola E K,Koskinen S K.Dual-energy computed tomography of cruciate ligament injuries in acute knee trauma.Skeletal Radiol,2015,(44):1295-1301.
- [21] Glazebrook K N,Brewerton L J,Leng S,et al.Case-control study to estimate the performance of dual-energy computed tomography for anterior cruciate ligament tears in patients with history of knee trauma. Skelet Radiol,2014,43(3):297-305.
- [22] Fickert S,Niks M,Dinter D J,et al.Assessment of the diagnostic value of dual-energy CT and MRI in the detection of iatrogenically induced injuries of anterior cruciate ligament in a porcine model.Skeletal Radiol,2013,(42):411-417.
- [23] 任瑞,宋琼,张志龙,等.双源CT在前交叉韧带损伤诊断中的应用研究.滨州医学院学报,2020,43(1):38-41.

(收稿日期:2021-12-22)

(校对编辑:姚丽娜)