doi:10.11659/jjssx.01E020064

·基础研究·

基于 CVH 薄层断面解剖三维重建设计的分歧韧带 MRI 扫描方法

邓泓鄗[1],胡 昕[2],杨静怡[2],王雲蛟[1],吴 毅[2],唐康来[1] (1.陆军军医大学第一附属医院运动医学中心,重庆 400038;2.陆军军医大学生物医学工程与影像医学系数字医学教研室,重庆 400038)

[摘 要] **目的** 设计一种新的 MRI 扫描方法,为分歧韧带损伤的临床诊断提供影像学参考。**方法** 使用 Amira 5.2.2 软件对 5 具尸体的 10 例分歧韧带中国数字化人体(CVH)数据进行分割和三维重建,研究分歧韧带大体形态,并对分歧韧带长度、宽度、厚度、走行角度等参数进行测量,参考测量的韧带走行角度,设计出可以完整呈现分歧韧带的斜矢状位和斜轴位扫描方法。随后选择陆军军医大学第一附属医院7例患者的10例分歧韧带行斜矢状位和斜轴位 MRI 扫描,并对 MRI 图像进行分析和比较,反证新的 MRI 扫描方法的有效性。**结果** 新的 MRI 扫描方法可以在斜矢状位、斜轴位上良好地呈现出分歧韧带跟舟支;斜矢状位上的跟骰支呈现良好,但在斜轴位上表现不佳。断面三维重建和 MRI 图像上测量所得的分歧韧带跟骰支长度、宽度、厚度比较差异无统计学意义($P>0.05$),而跟舟支只在远端宽度上存在统计学差异($P<0.05$)。断面三维重建和 MRI 图像上的分歧韧带走行角度比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。从形态上看,跟舟支有扇状和索状两种形态,跟骰支较跟舟支更短、更薄、也更规则。**结论** 基于数字化人体断面解剖三维重建模型设计的 MRI 扫描方法可以良好地呈现分歧韧带。

[关键词] 中国数字化人体;分歧韧带;断面解剖;三维可视化;核磁共振成像

[中图分类号] R323.7+2;R445.2 [文献标识码] A [收稿日期] 2020-01-13

MRI scanning method of bifurcate ligament based on three-dimensional visualization of undeformed high-resolution sectional anatomical images from CVH

DENG Hong-hao[1], HU Xin[2], YANG Jing-yi[2], WANG Yun-jiao[1], WU Yi[2], TANG Kang-lai[1] (1. Sports Medicine Center, First Affiliated Hospital of the Army Medical University, Chongqing 400038, China; 2. Institute of Digital Medicine, College of Biomedical Engineering and Medical Imaging, Army Medical University, Chongqing 400038, China)

Abstract: Objective To design a new MRI scanning method for the clinical diagnosis of bifurcate ligament injury. **Methods** Amira 5.2.2 software was used to segment and reconstruct the Chinese Visible Human (CVH) data of 10 bifurcate ligaments (BLs) from 5 cadavers. The morphology of bifurcate ligaments was observed, and the length, width, thickness, angle and other parameters of bifurcate ligaments were measured. According to the measured angle of ligaments, the oblique sagittal and axial MRI scanning methods which could present bifurcate ligament completely were designed. Then 10 BLs of 7 patients from the first affiliated hospital of the Army Medical University were scanned with oblique sagittal and axial position. The effectiveness of the new scanning method was verified by analyzing and comparing the MRI images with CVH reconstruction models. **Results** The new MRI scanning method can present the calcaneonavicular ligament (CNL) very well in oblique sagittal and axial position, and it can present the calcaneocuboid ligament (CCL) well in oblique sagittal position, but it

[基金项目] 科技部国家重点研发专项(2016YFC1100500)

[通信作者] 唐康来,E-mail: tangkanglai@hotmail.com;吴 毅,E-mail:wuyi1979@tmmu.edu.cn

[19] Jain SK, Choudhary AK, Mishra P. Morphometric evaluation of foramen magnum for sex determination in a documented north Indian sample [J]. J Evol Med Dent Sci, 2013, 2(5): 8093 - 8098. doi: 10.16965/ijar.2015.154.

[20] Metin TA, Durum Y, Gok M, et al. Suitability of foramen magnum measurements in sex determination and their clinical significance[J]. Folia Morphol, 2017, 77(1): 101 - 112. doi: 10.5603/FM.a2017.0070.

[21] Williams BA, Rogers TL. Evaluating the accuracy and precision of cranialmorphological traits for sex determination[J]. J Forensic Sci, 2006, 51(4): 729 - 735. doi: 10.1111/j.1556 - 4029.2006.00177.x.

[22] Jaitley M, Phulambrikar T, Kode M, et al. Foramen magnum as a tool for sexual dimorphism: a cone beam computed tomography study[J]. Indian J Dent Res, 2016, 7(5): 458 - 462. doi: 10.4103/0970 - 9290.195610.

[23] Lopez-Capp TT, Rynn C, et al. Sexing the cranium from the foramen magnum using discriminant analysis in a Brazilian sample[J]. Braz Dent J, 2018, 29(6): 592 - 598. doi: 10.1590/0103 - 6440201802087.

[24] Cirpan S, Yonguc GN, Mas NG, et al. Morphological and morphometric analysis of foramen magnum: an anatomical aspect[J]. J Craniofac Surg, 2016, 27(6): 1576 - 1578. doi: 10.1097/SCS.0000000000002822.

(编辑:魏 源)

was unsatisfied in oblique axial position. There was no statistically significant difference in the length, width and thickness of the CCL between the CVH reconstruction models and MRI measurement ($P>0.05$), while the measurement of the CNL only has a statistically significant difference in the distal width ($P<0.05$). There was no statistically significant difference in the angle of the bifurcate ligament between the CVH reconstruction models and MRI measurement ($P>0.05$). In terms of morphology, the CNL has two morphologies, namely the fan-shape and the cord-shape, and the CCL is shorter, thinner, and more regular than the CNL. **Conclusion** The MRI scanning method based on three-dimensional visualization of undeformed high-resolution sectional anatomical images from CVH could present the bifurcate ligament satisfactorily.

Keywords: Chinese Visible Human; bifurcate ligament; sectional anatomy; three-dimensional visualization; MRI

分歧韧带由跟舟支(calcaneonavicular ligament, CNL)和跟骰支(calcaneocuboid ligament, CCL)组成,分别连接跟骨与舟骨、跟骨与骰骨,是维持跟骰关节外侧稳定性的主要结构[1-3]。分歧韧带损伤通常是由中足的内收-跖屈暴力引起的,这一损伤过程多存在于踝关节扭伤中[4-7]。这种特殊的足部韧带损伤通常被认为发生率很低,然而随着影像学技术的发展,分歧韧带损伤的检出率逐渐提高。据文献报道,跟骨前突骨折中分歧韧带损伤的发生率为69%,踝关节慢性不稳中分歧韧带损伤的发生率为51.4%,踝关节骨折中分歧韧带跟骰支损伤的发生率高达52.9%[1,3,8]。目前对于分歧韧带解剖结构的研究还很少,标准的矢状位、轴位MRI扫描几乎不可能完整地呈现其韧带结构,因此,分歧韧带损伤的临床诊断比较困难,容易被误诊为单纯的踝关节扭伤。本研究旨在利用中国数字化人体(Chinese Visible Human, CVH)高分辨率断面解剖图像的三维重建来评估分歧韧带的形态和解剖结构,精确测量每例分歧韧带的参数,并最终设计出相对可靠的MRI斜矢状位、斜轴位扫描方法,为分歧韧带损伤的临床诊断及应用提供影像学参考。

1 材料与方法

1.1 CVH数据的获取

本研究共收集了5具尸体(男2例,女3例,平均死亡年龄25.6岁)的10例足CVH数据,分别为CVH-1、CVH-2、CVH-3、CVH-4、CVH-5双侧足的断面解剖图像。所有的遗体都来自于中国数字化人体项目捐献计划。图像层厚度在0.1~1 mm,最大分辨率为4 064×2 704,每个像素的尺寸为0.12 mm×0.12 mm。CVH捐献者的基本参数见表1。

表1 CVH基本资料

项目	性别	年龄(岁)	身高(cm)	体质量(kg)	层厚(mm)	每层像素大小(μm×μm)	总片数(张)	摄影分辨率(像素)	每张图片大小(MB)	总数据量(GB)
CVH-1	男	35	170	65.0	0.1,0.5,1.0	150×150	2 518	3 072×2 048	36	90.65
CVH-2	女	22	162	54.0	0.25,0.5	154×154	3 640	3 072×2 048	36	131.04
CVH-3	男	21	182	66.0	0.1	122×122	18 398	4 064×2 704	62.9	1 157.23
CVH-4	女	25	162	57.5	0.25,0.5,1.0	120×120	3 020	4 064×2 704	62.9	189.96
CVH-5	女	25	170	59.0	0.2	128×128	8 510	4 064×2 704	62.9	535.279

1.2 分歧韧带图像的分割

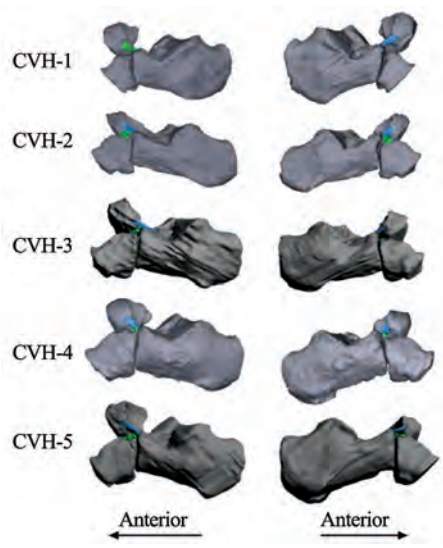
将CVH数据导入Amira 5.2.2软件。根据足部筋膜间隔图像的自然色差,对分歧韧带及其邻近结构进行识别和分割[9-10]。分割的结构包括分歧韧带跟舟支、分歧韧带跟骰支及其邻近结构(跟骨、舟骨、骰骨、弹簧韧带和胫后肌腱)。

1.3 三维可视化重建

在数据分割完成后,利用Amira 5.2.2软件对分歧韧带及其邻近结构进行三维重建,并对模型表面进行平滑和简化(图1)。然后使用CINEMA 4D、Vrml-Pad和Adobe Acrobat 9 Pro扩展软件创建交互式的3D-PDF模型。

1.4 三维模型的数据测量

3D-PDF模型允许观察者单独或整体地观察分歧韧带的所有结构,这有助于检查其3D形状和邻旁关



蓝色结构:分歧韧带跟舟支(CNL);绿色结构:分歧韧带跟骰支(CCL)

图1 跟骨、舟骨、骰骨及分歧韧带三维重建模型

系。通过观察 CVH 的三维模型,记录分歧韧带的外形、位置及与邻旁结构的关系,并测量跟舟支和跟骰支的长度、宽度、厚度、两个束支与矢状面和轴面之间的夹角。

1.5 患者 MRI 数据的获取

选择2018 年1 月至2019 年9 月就诊于陆军军医大学第一附属医院运动医学中心、考虑可能存在分歧韧带慢性损伤的患者 7 例(10 例足,左右各 5 例足,其中有 3 例患者为双侧足)。入选标准:①Gellman 点的压痛、肿胀或青紫持续 3 个月以上;②Chopart 关节内收、内旋恐惧。7 例患者中男 6 例,女 1 例,平均年龄 28.5 岁,编号为 1 ~7 号。采用 GE discovery 750w 3.0T MRI 扫描仪,膝关节线圈,足呈中立位先入。通过对 CVH 三维重建模型的初步研究获得分歧韧带与矢状面、轴面夹角的平均值,以此角度对分歧韧带的两个束支进行斜矢状位、斜轴位 MRI 扫描,观察跟舟支、跟骰支的呈现情况。在该扫描基础上,对扫描角度进行微调,以获得清晰、完整的分歧韧带斜矢状位和斜轴位图像。

1.6 MRI 数据的测量

采用 Amira 5.2.2 软件测量 MRI 图像中跟舟支和跟骰支的长度、宽度和厚度,测量斜矢状位与标准矢状位、斜轴位与标准轴位之间的夹角。

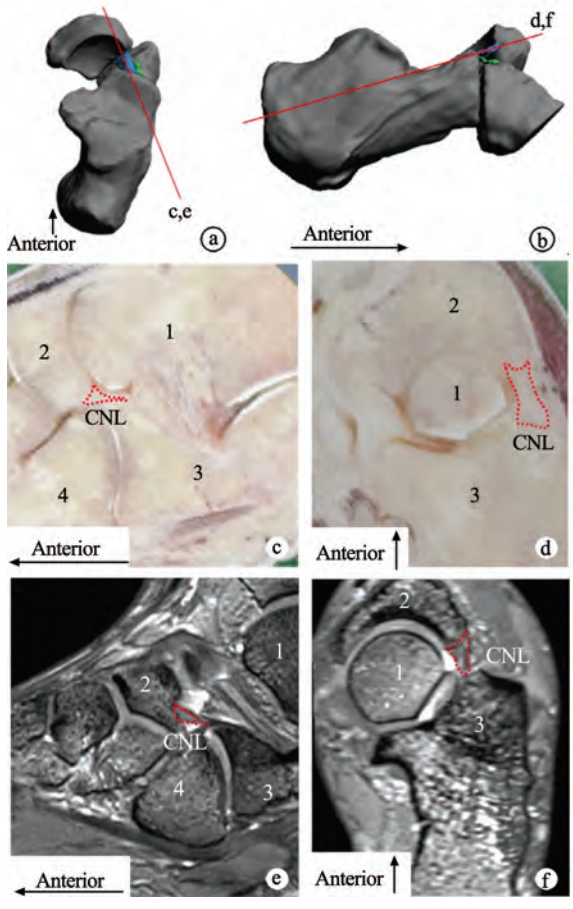
1.7 统计学处理

采用 SPSS 23.0 统计学软件进行数据处理。计量资料以均数 ± 标准差($\bar{x} \pm s$)表示。跟舟支的厚度及宽度、跟骰支的长度及宽度、两条束支的走行角度等数据均符合正态分布,采用独立样本 t 检验;跟舟支的长度、跟骰支的厚度数据不符合正态分布,采用 Wilcoxon 秩和检验。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 分歧韧带走行角度

测量 CVH 模型中跟舟支、跟骰支的走行角度与斜矢状位、斜轴位的夹角,根据该模型的测量值,设计出分歧韧带跟舟支的斜矢状位扫描角度为标准矢状位向内侧偏 23°,斜轴位为标准轴位向近侧偏 12°;跟骰支的斜矢状位扫描角度为标准矢状位向外侧偏 23°,斜轴位为标准轴位向远侧偏 12°。分歧韧带跟舟支的斜矢状位、斜轴位扫描中,10 例足的跟舟支均可被观察到,其中 8 例足可以观察到完整、连续的跟舟支,2 例足可以观察到超过 1/2 长度的跟舟支(图 2)。分歧韧带跟骰支的斜矢状位扫描中 1 例足没有观察到跟骰支(反复调整扫描角度后最终确认为跟骰支缺失),9 例足可观察到跟骰支,其中 7 例足可观察到完整、连续的跟骰支;跟骰支的斜轴位扫描中仅有 4 例可观察到完整的跟骰支,5 例足不完整,1 例足缺失(图 3)。最终 10 例足中仅 1 例的跟舟支存在损伤(图 2e),其余分歧韧带无明显异常。在此扫描基础上,对无法完整呈现分歧韧带的足进行扫描角度的微调,直至所有的分歧韧带均可被完整地观察到。然后分别测量两个束支的斜矢状位、斜轴位 MRI 扫描角度与标准轴面、矢状面之间的夹角,结果显示,CVH 三维重建模型与 MRI 图像中跟舟支和跟骰支的走行角度差异无统计学意义($P>0.05$),见表 2。



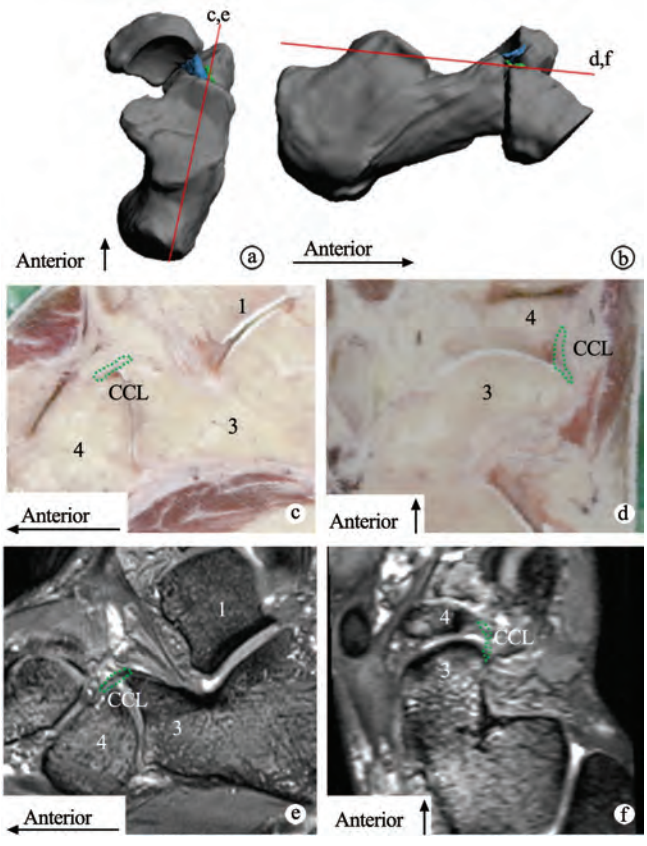
a:分歧韧带跟舟支斜矢状位扫描角度;b:分歧韧带跟舟支斜轴位扫描角度;c:斜矢状位断面解剖图片显示跟舟支;d:斜轴位断面解剖图片显示跟舟支;e:斜矢状位 MRI 显示跟舟支;f:斜轴位 MRI 显示跟舟支 蓝色结构:跟舟支(CNL);绿色结构:跟骰支(CCL);1:距骨;2:舟骨;3:跟骨;4:骰骨;红色虚线区域:分歧韧带跟舟支(CNL)

图 2 分歧韧带跟舟支断面解剖与 MRI 图像

表 2 两种模型中分歧韧带走行角度

项目		CVH 三维模型	MRI 图像	P
跟舟支(°)	与标准轴面夹角	24.45 ± 2.16	22.84 ± 1.62	0.077
	与标准矢状面夹角	12.30 ± 1.86	11.93 ± 1.88	0.656
跟骰支(°)*	与标准轴面夹角	22.60 ± 2.35	24.10 ± 2.34	0.210
	与标准矢状面夹角	12.45 ± 1.89	11.65 ± 1.60	0.358

*:MRI 图像中有 2 例足存在跟骰支缺失



a:分歧韧带跟骰支斜矢状位扫描角度;b:分歧韧带跟骰支斜轴位扫描角度 c:斜矢状位断面解剖图片显示跟骰支;d:斜轴位断面解剖图片显示跟骰支;e:斜矢状位 MRI 显示跟骰支;f:斜轴位 MRI 显示跟骰支　　蓝色结构:跟舟支(CNL);绿色结构:跟骰支(CCL);1:距骨;3:跟骨;4:骰骨;绿色虚线区域:分歧韧带跟骰支(CCL)

图 3　分歧韧带跟骰支断面解剖与 MRI 图像

2.2　分歧韧带参数

跟舟支起于跟骨前结节,止于舟骨外侧。由于扇形的跟舟支宽度变化较为显著,本研究选择分别测量其远端、近端和中央部分的宽度。跟骰支比跟舟支更平、更薄,更像是一个矩形韧带,其中部宽度与两端宽度较为一致,故仅测量其中点处的宽度。结果显示,CVH 三维重建模型与 MRI 图像中跟骰支的长、宽、厚度比较,差异均无统计学意义($P>0.05$),跟舟支除远端宽度外也无统计学差异($P>0.05$),见表 3。

表 3　两种模型中分歧韧带参数

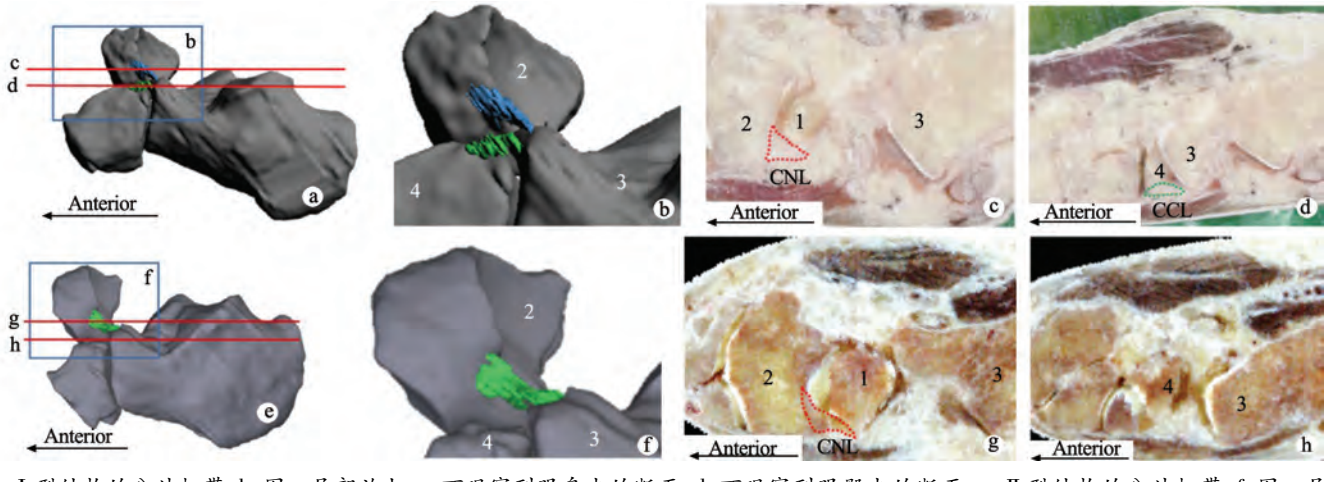
	项目	CVH 三维模型	MRI 图像	*P*
跟舟支(mm)	长度	11.57 ± 3.50	10.08 ± 1.32	0.450
	近端宽度	4.49 ± 2.21	3.34 ± 2.18	0.255
	中央宽度	4.12 ± 1.36	3.27 ± 1.44	0.193
	远端宽度	7.70 ± 2.54	4.49 ± 1.80	0.004
	厚度	2.49 ± 0.73	2.58 ± 0.81	0.799
跟骰支(mm)*	长度	6.03 ± 1.13	6.55 ± 1.26	0.493
	宽度	3.73 ± 1.57	3.37 ± 1.06	0.598
	厚度	1.85 ± 0.49	1.52 ± 0.17	0.136

*:MRI 图像中有 2 例足存在跟骰支缺失

2.3　分歧韧带的大体形态

分歧韧带的结构可分为Ⅰ型和Ⅱ型,Ⅰ型被定义为跟舟支和跟骰支同时存在,Ⅱ型被定义为跟舟支存在而跟骰支不存在(图 4)。在 CVH 三维重建模型中,Ⅰ型占 80%(8/10),Ⅱ型占 20%(2/10,CVH-1 双侧足)。在 MRI 图像中,只有 7 号患者左足的分歧韧带为Ⅱ型(1/10,10%),其他所有患者的分歧韧带均为Ⅰ型(9/10,90%)。

从形态上看,跟舟支存在两种外形:一种则呈现为索形,其舟骨侧的止点较为纤细(图 5a ~ c);另一种呈现为扇形,其舟骨侧止点相对宽且肥大(图 5d ~ f)。在 CVH 三维重建模型中,扇形跟舟支占 80%(8/10),

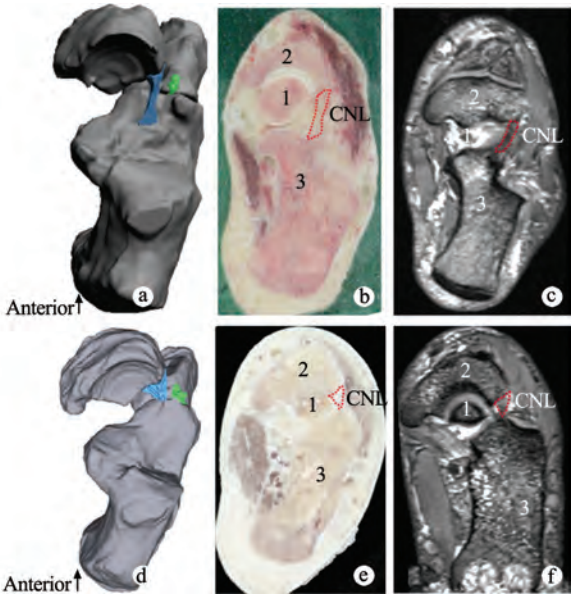


a:Ⅰ型结构的分歧韧带;b:图 a 局部放大;c:可观察到跟舟支的断面;d:可观察到跟骰支的断面;e:Ⅱ型结构的分歧韧带;f:图 e 局部放大;g:可观察到跟舟支的断面;h:理论上可观察到跟骰支的断面,实际跟骰支缺失　　蓝色结构:跟舟支(CNL);绿色结构:跟骰支(CCL);1:距骨;2:舟骨;3:跟骨;4:骰骨;红色虚线区域:跟舟支(CCL);绿色虚线区域:跟骰支(CCL)

图 4　两种不同形态的分歧韧带

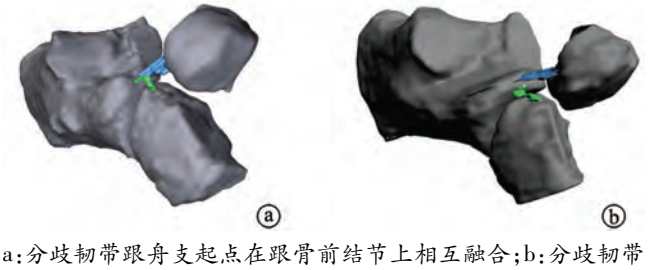
索形占20%(2/10,CVH-3双足)。在MRI图像中,3号患者双侧跟舟支呈索形,其他患者则呈扇形。而所有患者跟骰支的形态都更趋向于较为规则的矩形。

在以往的研究中,分歧韧带在跟骨上的起点通常被描述为Y形,这意味着跟舟支和跟骰支在跟骨上的起点互相融合。本研究发现,分歧韧带在跟骨上的起点也有两种结构:一种结构分歧韧带的起点呈现Y形结构,跟舟支和跟骰支的起点互相融合[三维重建模型中Ⅰ型分歧韧带中的37.5%(3/8),MRI图像中Ⅰ型分歧韧带中的22.2%(2/9),见图6a];另一种更像是V形结构,这意味着跟骨上的跟舟支与跟骰支的起点彼此分离[CVH三维重建模型中Ⅰ型分歧韧带中的62.5%(5/8),MRI图像中Ⅰ型分歧韧带中的77.8%(7/9),见图6b],在这种结构中,跟骰支的起点比跟舟支更靠外侧和跖侧。



a:索形的跟舟支;b:斜轴位的断面解剖上观察到的索形跟舟支;c:斜轴位的MRI图像上观察到的索形跟舟支;d:扇形的跟舟支;e:斜轴位的断面解剖上观察到的扇形跟舟支;f:斜轴位的MRI图像上观察到的扇形跟舟支 蓝色结构:跟舟支(CNL);绿色结构:跟骰支(CCL);1:距骨;2:舟骨;3:跟骨;红色虚线区域:跟舟支(CNL)

图5 两种不同形态的跟舟支



a:分歧韧带跟舟支起点在跟骨前结节上相互融合;b:分歧韧带跟舟支起点在跟骨前结节上彼此分离 蓝色结构:跟舟支(CNL);绿色结构:跟骰支(CCL)

图6 分歧韧带跟舟支在跟骨前结节上两种不同形态的起点

2.4 跟舟支舟骨侧的止点与弹簧韧带之间的关系

曾有文献报道,跟舟支舟骨侧的止点可与弹簧韧带外侧缘融合。在本研究中有3例CVH重建模型(CVH-5的左足、CVH-1和CVH-2的右足)存在这种现象,但在MRI图像中则无此现象。

3 讨论

3.1 研究的必要性

早在16世纪,法国医生Francois Chopart在提出经Chopart关节进行前足截肢的手术方案时,就认识到了分歧韧带的重要性[11]。然而,目前仍然缺乏关于分歧韧带的解剖学研究,临床上分歧韧带损伤面临的最大问题是早期诊断困难。从本研究的结果可以看出,分歧韧带的两个束支都非常薄,除非影像医师以某个非常特定的角度进行扫描,否则在常规的MRI检查中很难得到完整、连续的韧带图像。因此,斜矢状位、斜轴位针对性MRI扫描对于大多数分歧韧带损伤的早期诊断具有重要意义。

3.2 方法学的创新

在过去的90年里,关于分歧韧带的解剖学研究很少。大多数研究是大体解剖,少数使用超声、常规MRI扫描,这些研究通常是定性的研究,定量的测量更为稀少。此外,这些极少数测量分歧韧带的研究也仅仅测量了韧带本身的长度、宽度、厚度,而没有涉及两个束支走行方向的研究。与MRI相比,数字化人体的断层解剖图像重建是一种新的成像技术,具有分辨率高、层厚薄、层间距小、无干扰等优点[12-13]。因此,本研究将断面解剖图像重建的三维模型与MRI图像相结合,主要目的是观察和测量分歧韧带,并首次提出分歧韧带斜矢状位、斜轴位的针对性MRI扫描方法。

3.3 与类似解剖研究的差异

本研究中CVH三维重建模型与MRI图像中Ⅰ型韧带结构占比分别为80%和90%,Ⅱ型结构则分别是20%和10%。在以往的研究中,分歧韧带在跟骨上的起点通常被描述为Y形,这意味着跟舟支和跟骰支在跟骨上的起点互相融合[14-16]。但本研究发现,在两种模型的Ⅰ型韧带结构中,跟舟支和跟骰支在跟骨上的起点互相融合的占比仅分别为37.5%(3/8)和22.2%(2/9),其余Ⅰ型韧带结构中其起点均是分离的。跟舟支在舟骨侧的止点位置仅在早期的解剖学文献中有模糊的描述,有人将其描述为"止于舟骨背侧",也有人将其简单地描述为"止于舟骨"[3,17]。本研究发现,跟舟支的形态可分为扇形和索形,索形的跟舟支在舟骨上的止点通常位于舟骨的外侧尖部;而在扇形的跟

舟支中,其舟骨侧止点从舟骨外侧向内和向下走行至关节面下缘的中央部分。两种模型中扇形与索形的跟舟支占比均为80%和20%。关于分歧韧带中跟骰支的缺失,外国学者亦有报道[18]。但针对跟舟支起点结构的研究,尚无非常明确的研究结果。

在CVH三维重建模型和MRI图像中,跟骰支的长度、宽度和厚度比较差异无统计学意义,跟舟支的长度、厚度、中央部分和近端的宽度比较差异也无统计学意义,但远端宽度存在统计学差异,这可能与样本量较小及测量的方法等都有关。两种模型中的分歧韧带走行的角度差异无统计学意义。国外学者曾测量分歧韧带跟舟支平均长度为15 mm,平均直径为3 mm;而跟骰支平均长度为9 mm,平均直径为2 mm[19]。上述研究结果数值较本研究更大,考虑有较大可能为人种差异所导致。

3.4 临床应用

基于CVH的分歧韧带断面解剖三维重建及后续的精确测量,本研究找到了可供MRI检查时参考的特定扫描角度,并已初步应用于临床诊断。最终确定扫描方法如下:分歧韧带跟舟支的斜矢状位扫描角度为标准矢状位向内侧偏23°,斜轴位为标准轴位向近侧偏12°;跟骰支的斜矢状位扫描角度为标准矢状位向外侧偏23°,斜轴位为标准轴位向远侧偏12°。该方法在斜矢状位上对于跟舟支和跟骰支均有良好的呈现;在斜轴位上跟舟支亦呈现良好,但跟骰支呈现不佳,这可能与跟骰支的厚度仅1 mm有关。考虑到标准的矢状位和轴位几乎不可能完整地扫描出两个束支,因此,新的扫描方法在影像学诊断上具有重要意义。

3.5 不足

本研究中CVH数据库只有5具成年尸体的数据,因此仅能重建10例足的模型。另一方面,由于分歧韧带损伤的隐匿性,门诊患者就诊数量也较少,最终仅纳入10例足的MRI资料。这导致本研究的样本量很小,研究结果仍需要更大的样本量来验证。

综上,基于CVH断面解剖图像三维重建设计的分歧韧带斜矢状位、斜轴位扫描方法可以良好地呈现分歧韧带两个束支的情况,有助于更好地了解分歧韧带的形态学和解剖学特点,为该韧带损伤的临床诊断提供影像学参考。

[参考文献]

[1] Petrover D, Schweitzer ME, Laredo JD. Anterior process calcaneal fractures: a systematic evaluation of associated conditions[J]. Skeletal Radiol, 2007, 36(7): 627-632. doi: 10.1007/s00256-006-0262-6.

[2] Agnholt J, Nielsen S, Christensen H. Lesion of the ligamentum bifurcatum in ankle sprain[J]. Arch Orthop Trauma Surg, 1988, 107(5): 326-328. doi: 10.1007/BF00451515.

[3] Sun Y, Wang H, Tang Y, et al. Diagnosis and treatment of chronic lateral ankle instability with ligamentum bifurcatum injury: an observational study[J]. Medicine, 2018, 97(9): e28. doi: 10.1097/MD.0000000000010028.

[4] Ouellette H, Salamipour H, Thomas BJ, et al. Incidence and MR imaging features of fractures of the anterior process of calcaneus in a consecutive patient population with ankle and foot symptoms[J]. Skeletal Radiol, 2006, 35(11): 833-837. doi: 10.1007/s00256-006-0154-9.

[5] Jahss MH, Kay BS. An anatomic study of the anterior superior process of the os calcis and its clinical application[J]. Foot Ankle Int, 1983, 3(5): 268. doi: 10.1177/107110078300300506.

[6] Robbins MI, Wilson MG, Sella EJ. MR imaging of anterosuperior calcaneal process fractures[J]. Am J Roentgenol, 1999, 172(2): 475. doi: 10.2214/ajr.172.2.9930806.

[7] Degan TJ, Morrey BF, Braun DP. Surgical excision for anterior-process fractures of the calcaneus[J]. J Bone Joint Surg Am, 1982, 64(4): 519. doi: 10.1007/BF00267731.

[8] Adler H. Ligament injuries of the foot[J]. Arch Orthop Trauma Surg, 1982, 99(3): 183-187. doi: 10.1007/BF00379206.

[9] 吴 毅,谭立文,罗 娜,等. 女性盆底三维数字化模型在解剖教学中的应用[J]. 局解手术学杂志,2014,23(2):213. doi:10.11659/jjssx.1672-5042.201402047.

[10] 李锦青,宋凌恒,禹智波,等. 基于中国数字化人体的肩袖间隙薄层断面解剖与MRI对照研究[J]. 中国介入影像与治疗学,2016,13(12):762-766. doi:10.13929/j.1672-8475.2016.12.012.

[11] Wolf JH. Francois chopart (1743-1795): inventor of the partial foot amputation at the tarsometatarsal articulation[J]. Orthop Traumatol, 2000, 8(4): 314-317. doi: 10.1007/BF03181113.

[12] 张绍祥,刘正津,谭立文,等. 首例中国数字化可视人体完成[J]. 第三军医大学学报,2002,24(10):1231-1232. doi:10.3321/j.issn:1000-5404.2002.10.033.

[13] 张绍祥,刘正津. 数字化可视人体研究[J]. 第三军医大学学报,2003,25(7):561-562. doi:10.3321/j.issn.1000-5404.2003.07.001.

[14] Garvin EJ, Rominger CJ. Fractures of the anterior process of the calcaneus[J]. Am J Surg, 1957, 94(3): 468-471. doi: 10.1016/0002-9610(57)90802-4.

[15] Gilheany MF. Injuries to the anterior process of the calcaneum[J]. Foot (Edinb), 2002, 12(3): 142-149. doi: 10.1054/foot.2001.0722.

[16] Andermahr J, Helling H, Maintz D, et al. The injury of the calcaneocuboid ligaments[J]. Foot Ankle Int, 2017, 21(5): 379-384. doi: 10.1177/107110070002100504.

[17] Brijs S, Brijs A. Calcaneal avulsion: a frequent traumatic foot lesion[J]. Rofo, 1992, 156(5): 495-496. doi: 10.1055/s-2008-1032928.

[18] Walter WR, Hirschmann A, Alaia EF, et al. MRI evaluation of midtarsal (chopart) sprain in the setting of acute ankle injury[J]. Am J Roentgenol, 2018, 210(2): 386-395. doi: 10.2214/AJR.17.18503.

[19] Schmidt HM, Grunwald E. Ligament systems of talocrural and intertarsal joints in man[J]. Gegenbaurs Morphol Jahrb, 1981, 127(6): 792-831.

(编辑:魏 源)