

## ✦ 骨骼肌肉影像学

## Feasibility of dual energy CT virtual non-calcium imaging for evaluation on lumbar intervertebral disc degeneration

LUO Yili<sup>1</sup>, WANG Junhua<sup>1</sup>, ZHANG Hao<sup>2\*</sup>, YUE Mengying<sup>1</sup>, LU Zhongyan<sup>1</sup>, SUN Bixia<sup>1</sup>

(1. The First Clinical Medical College, Lanzhou University, Lanzhou 730099, China; 2. Department of Radiology, the First Hospital of Lanzhou University, Lanzhou 730013, China)

**[Abstract]** **Objective** To evaluate the feasibility of dual energy CT (DECT) virtual non-calcium (VNCa) imaging for evaluation on lumbar intervertebral disc degeneration (IDD). **Methods** Data of 37 chronic low back pain patients who underwent both lumbar DECT and MR scanning were retrospectively analyzed. All discs on MRI were classified according to modified Pfirrmann grade (mPG). Data of DECT were postprocessed to obtain linear mixed CT (equivalent to conventional CT), VNCa grayscale and color-coded maps. CT values of lumbar disc nucleus pulposus were measured on conventional CT and VNCa grayscale maps, and the correlations of CT values and mPG grades were analyzed, respectively. Visual classification of lumbar discs was performed according to the attenuation degree of nucleus pulposus and annulus fibrosus on color-coded VNCa maps, and the mPG grades were compared among different VNCa types, and the relationship between the visual categories and mPG was analyzed. **Results** A total of 168 lumbar intervertebral discs were enrolled, including 12 mPG grade 1, 39 mPG grade 2, 47 mPG grade 3, 50 mPG grade 4 and 20 mPG grade 5 and higher than 5. For VNCa visual classification, there were 51 type I, 51 type II and 66 type III lumbar intervertebral discs. CT values of pulposus were significantly different among mPG grades on VNCa grayscale maps (all  $P < 0.001$ ). On conventional CT, there was no statistical difference of CT values of nucleus pulposus between mPG 2 and 3 grade ( $P = 0.173$ ), mPG 4 and 5 and higher than 5 grade ( $P = 0.083$ ), while there were significant differences of CT values among other mPG grades (all  $P < 0.05$ ). Positive correlations were found between CT values of pulposus and mPG grades both on conventional CT and VNCa grayscale maps ( $r = 0.504, 0.745$ , both  $P < 0.001$ ), as well as VNCa types and mPG grades ( $r = 0.900, P < 0.001$ ). Significant differences of mPG grades were found among different VNCa types ( $H = 82.610, P < 0.001$ ). **Conclusion** DECT-VNCa imaging could be used to evaluate lumbar intervertebral disc degeneration.

**[Keywords]** lumbar vertebrae; intervertebral disk degeneration; tomography, X-ray computed; virtual non-calcium imaging

DOI:10.13929/j.issn.1003-3289.2021.07.023

## 双能量 CT 虚拟去钙成像评估腰椎间盘退变

骆伊丽<sup>1</sup>, 王俊华<sup>1</sup>, 张皓<sup>2\*</sup>, 岳梦颖<sup>1</sup>, 鲁忠燕<sup>1</sup>, 孙碧霞<sup>1</sup>

(1. 兰州大学第一临床医学院, 甘肃 兰州 730099; 2. 兰州大学第一医院放射科, 甘肃 兰州 730013)

**[摘要]** **目的** 分析双能量 CT(DECT)虚拟去钙(VNCa)成像评估腰椎间盘退变(IDD)的可行性。**方法** 回顾性分析 37 例接受腰椎 DECT 和 MR 检查的慢性腰痛患者, 根据改良 Pfirrmann 分级(mPG)标准对 MRI 所示椎间盘进行分级, 评估 IDD 程度; 对 DECT 数据行后处理, 获得线性融合 CT 图像(相当于常规 CT)和 VNCa 灰度图及彩色编码图。于常规 CT 和 VNCa 灰度图上测量腰椎间盘髓核的 CT 值, 分析其与 mPG 的相关性。根据 VNCa 彩色编码图中椎间盘髓核和纤

**[第一作者]** 骆伊丽(1995—), 女, 浙江金华人, 在读硕士。研究方向: 骨骼肌肉系统影像学诊断。E-mail: luoyl@163.com

**[通信作者]** 张皓, 兰州大学第一医院放射科, 730013。E-mail: zhanghao@lzu.edu.cn

**[收稿日期]** 2020-07-14 **[修回日期]** 2021-05-15

维环衰减程度对椎间盘进行视觉分型,比较不同分型间 mPG 差异,并分析 VNCa 视觉分型与 mPG 的关系。**结果** 共纳入 168 个腰椎间盘,包括 12 个 mPG 1 级、39 个 2 级、47 个 3 级、50 个 4 级和 20 个 5 级及以上,51 个 VNCa 视觉分型 I 型、51 个 II 型和 66 个 III 型。在 VNCa 灰度图上,各 mPG 分级髓核 CT 值差异均有统计学意义( $P$  均 $<0.001$ )。常规 CT 上,mPG 2 级与 3 级、4 级与 5 级及以上之间髓核 CT 值差异均无统计学意义( $P=0.173,0.083$ ),其余各 mPG 分级间髓核 CT 值差异均有统计学意义( $P$  均 $<0.05$ )。常规 CT 和 VNCa 灰度图中,髓核 CT 值与 mPG 分级均呈正相关( $r=0.504,0.745, P$  均 $<0.001$ )。VNCa 视觉分型与 mPG 分级呈正相关( $r=0.900, P<0.001$ ),不同 VNCa 分型间 mPG 分级差异有统计学意义( $H=82.610, P<0.001$ )。**结论** DECT-VNCa 成像可用于评估腰椎间盘 IDD。

**[关键词]** 腰椎;椎间盘退变;体层摄影术,X 线计算机;虚拟去钙成像

**[中图分类号]** R681.5; R814.42 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2021)07-1064-05

慢性腰痛病因中,腰椎间盘退变(intervertebral disc degeneration, IDD)占 39%<sup>[1]</sup>。常规 CT 成像评估骨性结构具有独特优势,但软组织分辨率较低,无法评估早期 IDD。双能量 CT(dual energy CT, DECT)物质分离技术已用于多个领域,其中虚拟去钙(virtual non-calcium, VNCa)技术可反映骨组织中含水量变化,已用于研究骨髓病变<sup>[2-8]</sup>,但定量分析退变椎间盘脱水程度的相关研究较少。本研究分析 DECT-VNCa 成像评估腰椎间盘(含腰-骶椎间盘)IDD 的可行性。

## 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 回顾性分析 2016 年 1 月—2020 年 10 月 37 例于兰州大学第一医院因腰痛接受腰椎 DECT 和 MR 检查患者,男 19 例,女 18 例,年龄 7~80 岁,中位年龄 62 岁;排除 DECT 与 MR 检查间隔超过 2 周、脊柱严重侧弯、急性腰部创伤、感染、类风湿性疾病、代谢性骨病、近期接受腰部手术患者及图像质量不佳者。

### 1.2 仪器与方法

**1.2.1 DECT** 采用 Siemens 双源 128 层 CT 机行 DECT。嘱患者仰卧,扫描范围自第 12 胸椎上缘至第 1 骶椎下缘,管电压 100 kVp/Sn 140 kVp,管电流 280 mAs/216 mAs,采用实时动态曝光剂量调节模式,准直器 32 mm $\times$ 0.6 mm,螺距 0.7,转速 0.5 s/r,获得 100 kVp、Sn 140 kVp 图像和  $M=0.5$  的线性融合图像(相当于常规 CT),层厚 1 mm,层间距 1 mm。于 Siemens 后处理工作站进行后处理,设置钙斜率为 1.71,脂肪 -110/-87 HU(100/140 kVp),软组织 55/51 HU(100/140 kVp),其余为默认值,获得 VNCa 灰度图像;再经彩色编码设置(低能:spectrum;高能:grayscale),窗宽及窗位分别为 120 HU、75 HU,获得 VNCa 彩色编码图像。

**1.2.2 MR 检查** 采用 Siemens 3.0 T MR 仪,配备 8 通道脊柱线圈。嘱患者仰卧,头先进,采集矢状位 T2WI,TR 3 300~3 700 ms,TE 89 ms,FOV 300 mm $\times$

300 mm,矩阵 320 $\times$ 320,层厚 4 mm,层间距 4.8 mm。

**1.3 图像分析** 由分别具有 23 年、25 年骨骼肌肉系统影像学诊断经验的主任医师各 1 名根据改良 Pfirrmann 分级(modified Pfirrmann grade, mPG)标准<sup>[9]</sup>对矢状位 T2WI 所示椎间盘进行分级,意见不一致时经讨论决定。mPG 分级共分为 1~8 级,将 5~8 级归为 5 级及以上;MRI 或 CT 显示椎间盘高度低于 5 mm、存在真空现象、积液或钙化时,剔除该椎间盘。

选择轴位常规 CT 和 VNCa 灰度图上椎间盘最大层面,由 1 名具有 3 年骨骼肌肉系统影像学诊断经验且经过培训的住院医师以双盲法于髓核区域(椎间盘中央 3/5,其横径、前后径分别为椎间盘横径、前后径的 3/5)放置椭圆形 ROI,尽量避免纤维环及邻近骨皮质,测量其 CT 值(图 1),测量 3 次,若测量结果相差大于 5 HU,则重新测量,取平均值进行分析。



1 于常规轴位 CT 上测量腰椎椎间盘髓核 CT 值示意图(白圈为 ROI)

由上述 2 名主任医师根据正中矢状位 VNCa 彩色编码图所示椎间盘髓核与纤维环的衰减程度进行视觉分型,定性评估 IDD: I 型,中央明显衰减;II 型,中央轻度衰减;III 型,均匀低衰减,见图 2。意见不一致时经商榷决定。

**1.4 统计学方法** 采用 SPSS 19.0 统计分析软件。计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示,采用单因素方差分析行多组间比较,两两比较采用 LSD 法。采用 Kruskal-Wallis H 检

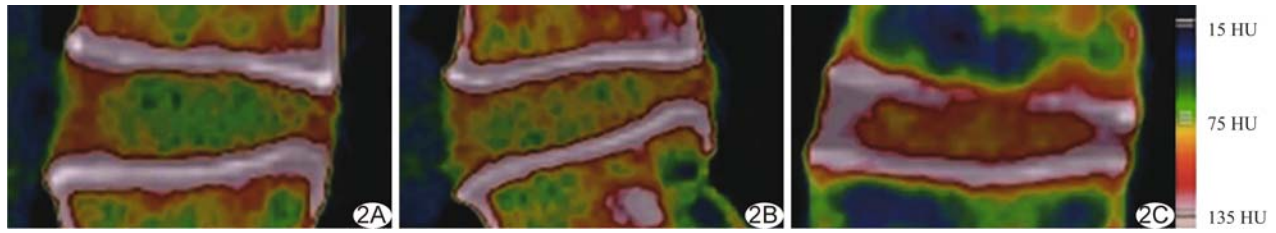


图 2 矢状位 VNCa 彩色编码图像示腰椎间盘突出视觉分型 A. I 型, 椎间盘中央明显衰减(颜色浅, 整体为绿色); B. II 型, 椎间盘中央轻度衰减(颜色稍深, 整体为黄色); C. III 型, 整个椎间盘均匀低衰减(颜色深, 整体偏红色)

验分析不同 VNCa 视觉分型椎间盘间 mPG 分级差异, 以 Spearman 秩相关分析常规 CT 和 VNCa 图像上髓核 CT 值、VNCa 视觉分型与 mPG 的相关性。采用 Kappa 检验分析 2 名医师评估椎间盘 mPG 分级和 VNCa 视觉分型的一致性,  $K > 0.8$  为一致性好,  $0.60 < K \leq 0.80$  为一致性较好,  $0.4 < K \leq 0.6$  为一致性一般,  $0.2 < K \leq 0.4$  为一致性差。  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

2 结果

37 例患者共 185 个腰椎间盘, 剔除 13 个出现真空现象、4 个高度低于 5 mm 椎间盘, 纳入共 168 个腰椎间盘。

2 名医师评估腰椎间盘 mPG 分级 ( $k = 0.634, P < 0.001$ ) 及 VNCa 视觉分型的一致性均好 ( $k = 0.804, P < 0.001$ )。168 个腰椎间盘中, 12 个 mPG 1 级、39 个 2 级、47 个 3 级、50 个 4 级、20 个 5 级; 51 个 VNCa 视觉分型 I 型、51 个 II 型、66 个 III 型。

2.1 CT 值分析 常规 CT 中, mPG 2 级与 3 级、4 级与 5 级间髓核 CT 值差异均无统计学意义 ( $P = 0.173, 0.083$ ), 其余各级间 CT 值差异均有统计学意义 ( $P$  均  $< 0.05$ ); VNCa 图上, mPG 各级间髓核 CT 值差异均有统计学意义 ( $P$  均  $< 0.001$ ), 见表 1。常规 CT 及 VNCa 图上髓核 CT 值与 mPG 间均呈正相关 ( $r = 0.504, 0.745, P$  均  $< 0.001$ )。

表 1 不同 mPG 分级常规 CT 及 VNCa 图腰椎间盘髓核 CT 值比较(HU,  $\bar{x} \pm s$ )

mPG 分级	CT 值	
	常规 CT	VNCa
1 级 (n=12)	63.29 ± 7.76	68.07 ± 5.58
2 级 (n=39)	74.11 ± 8.01*	77.89 ± 9.46*
3 级 (n=47)	75.95 ± 4.98*	85.50 ± 6.49*#
4 级 (n=50)	79.82 ± 5.47*#☆	93.33 ± 7.59*#☆
5 级及以上 (n=20)	82.68 ± 3.53*#☆	102.24 ± 10.42*#☆▲
F 值	23.623	55.133
P 值	<0.001	<0.001

注: \* : 与 1 级比较,  $P < 0.05$ ; # : 与 2 级比较,  $P < 0.05$ ; ☆ : 与 3 级比较,  $P < 0.05$ ; ▲ : 与 4 级比较,  $P < 0.05$

2.2 VNCa 视觉分型与 mPG 分级的关系 VNCa 视觉分型与 mPG 呈高度正相关 ( $r = 0.900, P < 0.001$ ), 见图 3。不同 VNCa 视觉分型间 mPG 分级差异有统计学意义 ( $P < 0.001$ ), 见表 2。

表 2 不同 VNCa 视觉分型间腰椎间盘 mPG 分级比较(个)

VNCa 视觉分型	mPG				
	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级及以上
I 型	12	24	12	3	0
II 型	0	12	25	11	3
III 型	0	3	10	36	17
H 值	82.610				
P 值	<0.001				

3 讨论

幼儿期椎间盘髓核内含丰富水分, 与纤维环分界清晰<sup>[10]</sup>。IDD 始于髓核, 髓核由富有弹性的胶状物质逐步纤维化, 水分逐渐减少、弹性减低<sup>[10]</sup>, 故本研究选取椎间盘髓核部分为 ROI。MRI 基于椎间盘的质子密度、水分含量和化学环境显示其形态特征, 反映椎间盘退化引起的改变。正常椎间盘 T2WI 呈中央高信号、周围低信号, 随着退变椎间盘蛋白多糖及水分含量降低, T2WI 上髓核信号强度减低, 髓核及纤维环间信号差异缩小<sup>[11]</sup>。目前多通过观察常规矢状位 T2WI 所示椎间盘信号及形态, 以 Pfirrmann 分级或 mPG 分级标准评估 IDD 程度<sup>[9, 12-13]</sup>。

DECT 物质分离技术是基于不同原子序数材料在低、高千伏管电压下产生的不同光子吸收特性而成的算法, 通过连接红骨髓和黄骨髓在高、低千伏管电压下的 CT 值而形成基线, 再利用钙的特征斜率将目标体素投影至基线上<sup>[2]</sup>; 随着基线逐渐接近水的 CT 值, 钙被去除, 基线体素之间的差异主要反映组织含水量。PACHE 等<sup>[2]</sup>将该技术用于诊断膝关节创伤后骨挫伤; 此后多项研究<sup>[3-5]</sup>证明 VNCa 成像可定性或定量分析创伤或炎症相关 BME, 亦可用于检测多发性骨髓瘤<sup>[6-8]</sup>。

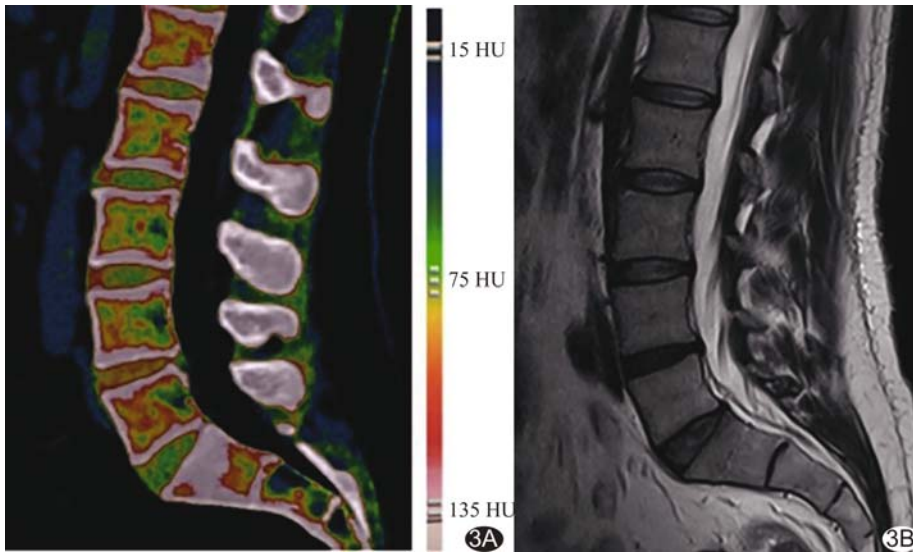


图3 受检者男,37岁,IDD A.正中矢状位 VNCa 彩色编码图像示 L<sub>1-2</sub>、L<sub>2-3</sub>、L<sub>3-4</sub>、L<sub>4-5</sub>、L<sub>5-S<sub>1</sub></sub> 分别为 I 型、I 型、I 型、III 型、I 型; B.正中矢状位 T2WI 示相应 mPG 分级分别为 2 级、2 级、2 级、5 级及以上、2 级

相比其他软组织结构,椎间盘密度更高,VNCa 图像中呈相对高密度。BOOZ 等<sup>[14]</sup>认为 VNCa 彩色编码成像可提高椎间盘与脑脊液间的对比度,更直观地显示腰椎间盘,相比常规 CT 诊断腰椎间盘突出准确性更高。SHINOHARA 等<sup>[13]</sup>发现 VNCa 图中椎间盘髓核 CT 值与 mPG 间存在良好相关性,故 VNCa 成像可用于评估 IDD。

本研究以 MRI 为参考标准,分析 DECT-VNCa 成像定量或定性评估腰椎 IDD 的可行性。本研究结果显示,VNCa 成像中髓核 CT 值与 mPG 分级呈正相关( $r=0.745$ ),即 CT 值随 mPG 增加而升高,且各 mPG 分级之间髓核 CT 值差异均有统计学意义,表明可根据 VNCa 图所示髓核 CT 值判断 IDD 早期髓核脱水情况。既往研究<sup>[13]</sup>认为 mPG 3 级与 4 级髓核间 VNCa 图中 CT 值差异无统计学意义;本研究中 mPG 2 级与 3 级、4 级与 5 级及以上之间常规 CT 髓核 CT 值差异无统计学意义,其余各级间髓核 CT 值差异均有统计学意义,提示临床工作中可将椎间盘髓核常规 CT 值作为大致判断椎间盘退变与否的定量参数,可能由于 ROI 选取方式、样本量、主观分级或后处理软件等不同导致结果存在差异。

本研究不同 VNCa 视觉分型腰椎间盘之间 mPG 分级差异有统计学意义,且二者间呈正相关,即 mPG 分级越高,VNCa 分型也越高。临床上常将 mPG 1 级椎间盘认定为正常,2、3 级为轻度退变,4 级为中度退变,5 级及以上为重度退变,提示通过 VNCa 视觉分型

可大致判断 IDD 程度,虽不及 mPG 精确,但 VNCa 重建操作简便、快速,适用于存在 MR 禁忌证和急诊患者。

综上所述,DECT-VNCa 成像可用于评估腰椎间盘 IDD。但本研究样本量较少,且椎间盘 mPG 分级难免受主观因素影响,有待扩大样本量进一步验证。

### [参考文献]

- [1] OTA Y, CONNOLLY M, SRINIVASAN A, et al. Mechanisms and origins of spinal pain: From molecules to anatomy, with diagnostic clues and imaging findings [J]. Radiographics, 2020,40(4):1163-1181.
- [2] PACHE G, KRAUSS B, STROHM P, et al. Dual-energy CT virtual noncalcium technique: Detecting posttraumatic bone marrow lesions—feasibility study [J]. Radiology, 2010, 256(2): 617-624.
- [3] FOTI G, FACCIOLI N, SILVA R, et al. Bone marrow edema around the hip in non-traumatic pain: Dual-energy CT vs MRI [J]. Eur Radiol, 2020,30(7):4098-4106.
- [4] WU H, ZHANG G, SHI L, et al. Axial spondyloarthritis: Dual-energy virtual noncalcium CT in the detection of bone marrow edema in the sacroiliac joints [J]. Radiology, 2019,290(1):157-164.
- [5] 章辉庆,刘海燕,邱晓晖,等.双能量 CT 虚拟去钙图诊断椎体骨髓水肿 [J].中国医学影像技术,2019,35(2):260-263.
- [6] THOMAS C, SCHABEL C, KRAUSS B, et al. Dual-energy CT: Virtual calcium subtraction for assessment of bone marrow involvement of the spine in multiple myeloma [J]. AJR Am J Roentgenol, 2015,204(3):W324-W331.
- [7] 王勤,孙照勇,李烁,等.第 3 代双源双能 CT 虚拟去钙骨髓成像在多发骨髓瘤弥漫浸润性病变评价中的应用 [J].中国医学科学院学报,2017,39(1):114-119.
- [8] KOSMALA A, WENG A M, HEIDEMEIER A, et al. Multiple myeloma and dual-energy CT: Diagnostic accuracy of virtual noncalcium technique for detection of bone marrow infiltration of the spine and pelvis [J]. Radiology, 2018,286(1):205-213.
- [9] GRIFFITH J F, WANG Y X, ANTONIO G E, et al. Modified Pfirrmann grading system for lumbar intervertebral disc degeneration [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2007, 32(24): E708-E712.
- [10] ADAMS M A, ROUGHLEY P J. What is intervertebral disc degeneration, and what causes it? [J]. Spine, 2006, 31(18): 2151-2161.
- [11] STELZENEDER D, WELSCH G H, KOVÁCS B K, et al.

Quantitative T2 evaluation at 3.0T compared to morphological grading of the lumbar intervertebral disc: A standardized evaluation approach in patients with low back pain [J]. *Eur J Radiol*, 2012, 81(2):324-330.

- [12] PFIRRMANN C W, METZDORF A, ZANETTI M, et al. Magnetic resonance classification of lumbar intervertebral disc degeneration [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2001, 26 (17): 1873-1878.

[13] SHINOHARA Y, SASAKI F, OHMURA T, et al. Evaluation of lumbar intervertebral disc degeneration using dual energy CT virtual non-calcium imaging [J]. *Eur J Radiol*, 2020, 124:108817.

- [14] BOOZ C, NÖSKE J, MARTIN S S, et al. Virtual noncalcium dual-energy CT: Detection of lumbar disk herniation in comparison with standard gray-scale CT [J]. *Radiology*, 2019, 290(2):446-455.

## Real-time dynamic ultrasonic diagnosis of abductor muscle hernia in child: Case report

### 实时动态超声诊断小儿踇展肌肌疝 1 例

姚彦武<sup>1</sup>, 燕志恒<sup>1,2</sup>, 燕飞雷<sup>1</sup>, 王艺璇<sup>2</sup>

(1. 甘肃中医药大学第一临床医学院, 甘肃 兰州 730000; 2. 甘肃省妇幼保健院功能检查科, 甘肃 兰州 730000)

[Keywords] abductor muscle; hernia; ultrasonography

[关键词] 踇展肌; 疝; 超声检查

DOI: 10.13929/j.issn.1003-3289.2021.07.024

[中图分类号] R726; R445.1 [文献标识码] A [文章编号] 1003-3289(2021)07-1068-01



图 1 左足踇展肌肌疝 A. 站立时外凸结节; B. 站立位超声声像图示凸向皮肤层的肌疝(箭); C. 坐位声像图示肌疝回纳

患儿男, 13 个月, 因“发现左足内侧可复性结节 2 个月”就诊; 为足月顺产儿, 既往体健, 无家族遗传病史。查体: 左足内侧扪及活动性结节, 质软, 无压痛, 无波动感及搏动, 周围皮肤未见明显异常; 站立时结节增大(图 1A), 平卧或负重减轻后结节消失。足部实时动态超声: 站立位探及左足内侧皮下踇展肌筋膜回声连续性中断, 宽约 3 mm, 部分肌纤维自此疝出, 疝出高度超过筋膜约 3 mm, 呈蘑菇状(图 1B), 探头加压可见肌纤维往复滑动; 坐位时疝出肌纤维回纳(图 1C)。超声诊断: 左足踇展肌肌疝。嘱患儿足部穿戴压缩丝袜行物理加压。

**讨论** 肌疝指部分肌肉经缺损或变薄的肌筋膜向外突出, 致皮下或肌间隙出现弹性、可复性肿物, 常于某体位肌肉收缩时出现, 改变体位肌肉松弛或局部加压后消失。肌疝多见于中青年男性, 好发于胫骨前肌、肱二头肌及大腿内侧肌, 发生于踇

展肌者较少见。肌疝多无明显临床症状, 部分表现为局部疼痛和肿胀, 负重时疼痛可加剧。超声可实时、动态地准确诊断肌疝, 通过观察肌疝的各层组织结构及筋膜回声情况以及肌疝形成、回纳的动态过程, 记录疝口位置、大小、疝囊大小及疝囊与周围组织的关系。对于肌疝的治疗方法与其临床表现相关, 对儿童及无症状者多采取保守治疗, 仅少数成人患者症状明显时需要进行手术治疗。鉴别诊断: ①脂肪瘤, 多为边界清晰的稍低回声包块, 其内可见高回声网状光带; ②纤维瘤, 多为边界清晰的椭圆形或分叶状低或等回声包块, 内部回声均匀, 后壁回声稍增强; ③水肿, 肌筋膜连续性完整, 肌肉纹理清晰连续, 且肿物内回声随时间而改变; 以上 3 种均表现为不具有可复性的体表包块, 不随体位而改变。超声具有可重复、实时监测等优点, 可作为小儿肌疝的首选影像学检查方法。

[第一作者] 姚彦武(1993—), 男, 甘肃定西人, 在读硕士, 医师。E-mail: 1786647634@qq.com

[收稿日期] 2020-12-08 [修回日期] 2021-06-15