

## ❖ 实验研究

## Diffusion tensor imaging in spinal cord of goats under chronic compression complicated with acute compression

LIU Ji-cun<sup>1\*</sup>, LIU Huai-jun<sup>2</sup>, XU Ying-jin<sup>3</sup>, HUANG Bo-yuan<sup>2</sup>, CUI Cai-xia<sup>2</sup>

(1. Department of Radiology, Hebei Medical University Third Hospital, Shijiazhuang 050051, China;

2. Department of Medical Imaging, Hebei Medical University Second Hospital, Shijiazhuang 050000, China;

3. Department of Medical Imaging, Affiliated Hospital of Hebei University, Baoding 071000, China)

**[Abstract]** **Objective** To explore the diffusion tensor imaging (DTI) manifestation in spinal cord of goats under chronic compression complicated with acute compression. **Methods** Twenty-four goats were divided into group A and B randomly; A balloon catheter was inserted into the epidural space at C3—4 level via intervertebral foramen for each goat. The balloon was inflated with injection of saline 11 days after the operation in both groups and again 62 days after the operation in group B. The locomotor rating score, conventional MRI and DTI were performed. The apparent diffusion coefficient (ADC) and fractional anisotropy (FA) values of compressed spinal cord were measured. Histopathological assessment of the compressed spinal cord was performed 63 days after the operation with light microscope and transmission electron microscopy. **Results** Before operation, in the 2 groups, the locomotor rating score was 5, the ADC value was  $(1.23 \pm 0.05) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$  and the FA value was  $0.72 \pm 0.05$ . On the 63rd day after operation, the locomotor rating score decreased to  $3.42 \pm 0.43$ , the ADC value at compression site increased to  $(1.43 \pm 0.05) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$  and the FA value decreased to  $0.62 \pm 0.07$  in group A (compared to those before operation, all  $P < 0.05$ ), while in group B, the locomotor rating score decreased to  $1.13 \pm 0.35$  (compared to that before operation,  $P < 0.05$ ), the ADC value at compression site was  $(1.26 \pm 0.06) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$  (compared to that before operation,  $P = 0.37$ ) and the FA value restored to  $0.68 \pm 0.06$  (compared to that before operation,  $P < 0.05$ ), but no abnormality on conventional MRI was found. Pathological changes including swelling and degeneration of axons and neurons as well as the disarrangement of myelin sheathes could be seen in both groups, while more severe swelling and focal hemorrhage were noticed in group B. **Conclusion** In spinal cord of goats under chronic compression complicated with acute compression, pathological changes became more severe while the ADC value and the FA value restored to normal or near normal.

**[Key words]** Spinal cord compression; Diffusion magnetic resonance imaging; Models, animal

## 羊脊髓慢性压迫合并急性压迫的 MR 扩散张量成像

刘记存<sup>1\*</sup>, 刘怀军<sup>2</sup>, 徐英进<sup>3</sup>, 黄勃源<sup>2</sup>, 崔彩霞<sup>2</sup>

(1. 河北医科大学第三医院放射科, 河北 石家庄 050051; 2. 河北医科大学第二医院医学影像科,

河北 石家庄 050000; 3. 河北大学附属医院影像科, 河北 保定 071000)

**[摘要]** **目的** 观察羊脊髓慢性压迫合并急性压迫模型的 MR 扩散张量成像(DTI)表现。**方法** 健康山羊 24 只, 随机分为 A、B 组, 每组 12 只。A 组为慢性压迫组, B 组为慢性压迫合并急性压迫组。将导管球囊通过左侧 C3~4 椎间孔缓慢插入硬膜外腔。术后第 11 天经导管向球囊内注射生理盐水, 对脊髓进行持续压迫。术后第 62 天, 对 B 组再次经导管外

**[基金项目]** 河北省自然科学基金资助项目(C2008001109)、河北省科技攻关计划项目(072761226)。

**[作者简介]** 刘记存(1970—), 男, 河北无极人, 博士, 副主任医师、副教授。研究方向: 骨关节及脊髓疾病影像学。

**[通讯作者]** 刘记存, 河北医科大学第三医院放射科, 050051。E-mail: ljcsy@163.com

**[收稿日期]** 2010-09-09 **[修回日期]** 2010-11-04

口缓慢注射生理盐水。对动物进行运动功能评分、常规 MR 和 DTI 检查,测量受压脊髓的表观扩散系数(ADC)值和各向异性分数(FA)值。术后第 63 天对受压脊髓进行光镜、电镜检查。**结果** 两组动物术前脊髓运动功能评分均为 5 分,脊髓 ADC 值为  $(1.23 \pm 0.05) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ , FA 值为  $0.72 \pm 0.05$ 。术后第 63 天, A 组动物评分降低至  $(3.42 \pm 0.43)$  分,受压脊髓的 ADC 值升高至  $(1.43 \pm 0.05) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ , FA 值降低至  $0.62 \pm 0.07$ ,与术前比较差异均有统计学意义 ( $P < 0.05$ )。B 组动物评分降低至  $(1.13 \pm 0.35)$  分,与术前比较差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ );受压脊髓的 ADC 值为  $(1.26 \pm 0.06) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ ,与术前比较差异无统计学意义 ( $P = 0.37$ );FA 值为  $0.68 \pm 0.06$ ,较术前降低 ( $P < 0.05$ )。常规 MRI 均未见异常。两组病理学改变均有脊髓组织水肿、变性、坏死,白质内髓鞘板层状结构紊乱, B 组局部细胞水肿更重,并有局灶出血。**结论** 脊髓慢性压迫基础上合并急性压迫时,病理学改变加重,ADC 值、FA 值可反而恢复正常或接近正常。

[关键词] 脊髓压迫;扩散磁共振成像;模型,动物

[中图分类号] R445.2; R-332 [文献标识码] A [文章编号] 1003-3289(2011)02-0222-05

近年来对脊髓型颈椎病等脊髓慢性压迫损伤进行了扩散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)和扩散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)的初步研究。大多数脊髓型颈椎病患者脊髓受压部位的表观扩散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)值升高,此时 ADC 值显示脊髓慢性压迫损伤的敏感度高于常规 MRI<sup>[1-4]</sup>;但一些压迫程度较重、临床表现也很重的脊髓型颈椎病患者脊髓受压部位的 ADC 值正常,使 ADC 值显示脊髓慢性压迫损伤的敏感度低于常规 MRI<sup>[4-6]</sup>,这种现象的形成机制和病理学基础尚不明确。本研究通过对羊脊髓慢性压迫损伤模型再次施加急性压迫,制作类似后一种情况的动物模型,对动物进行运动功能评分、常规 MR 和 DTI 检查,结合病理学检查结果,分析后一种情况的形成机制和病理学基础。

## 1 材料与方法

**1.1 实验动物与分组** 健康山羊 24 只,雌雄不限,体质量 20~25 kg,随机分为 A、B 组,每组 12 只。A 组为慢性压迫组, B 组为慢性压迫合并急性压迫组。

**1.2 模型制作** 肌肉注射速眠新(0.1 ml/kg 体质量)麻醉动物,右侧卧位保定。颈部备皮后,取颈部左侧切口,钝性分离肌肉,显示左侧 C<sub>3</sub>~4 椎间孔。将自制的导管球囊通过椎间孔缓慢插入硬膜外腔,达 C<sub>3-4</sub> 椎间盘水平。

导管固定于椎间孔旁软组织。逐层缝合颈部切口,留置剩余导管于体外。术后第 11 天经导管外口缓慢注射生理盐水 0.2 ml 使球囊膨胀,对脊髓持续压迫。术后第 62 天(即持续压迫第 51 天)对 B 组动物再次经导管外口缓慢注射生理盐水 0.2 ml。

**1.3 脊髓运动功能评分** 采用改进的 Tarlov 运动功

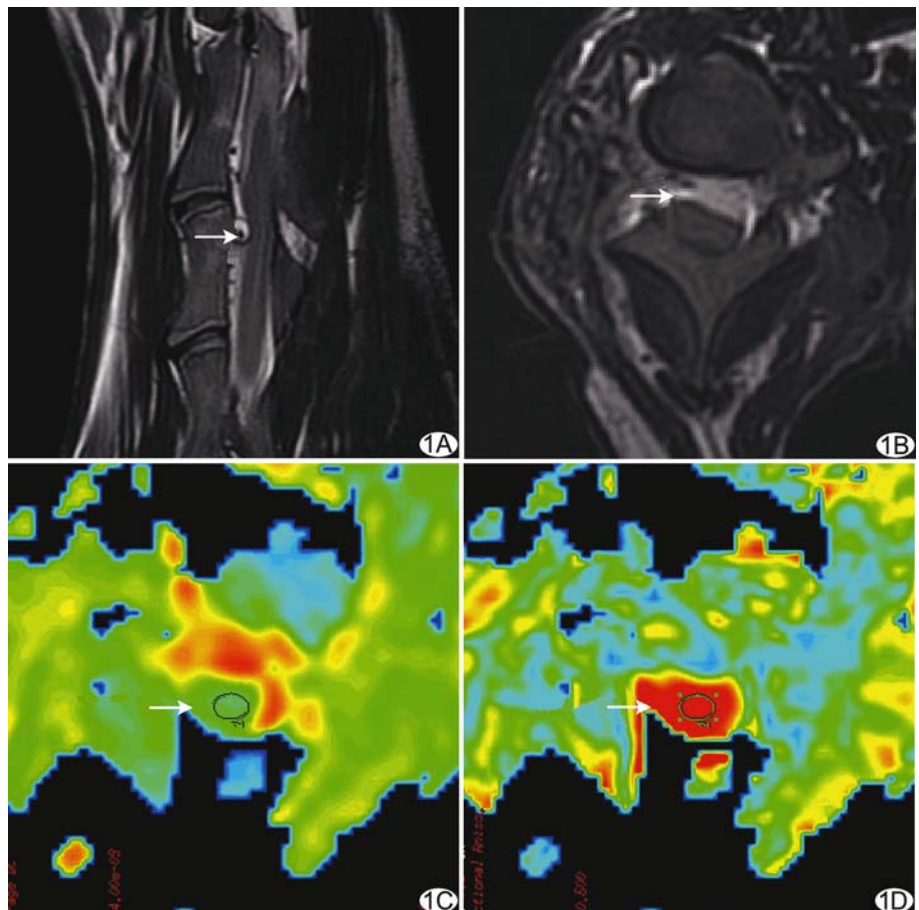


图 1 A 组动物术后第 63 天 MR 图像 A. 矢状位 T2WI; B. 轴位 T2WI; C. 轴位 ADC 图; D. 轴位 FA 图。球囊位于硬膜囊前方(箭, A、B),注水后呈长 T2 信号,硬膜囊受压;受压脊髓的 ADC 值升高,为  $1.44 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ ; FA 值降低,为 0.62(箭, C、D)

能评分方法<sup>[7]</sup>:5 分;正常步态,可以跳跃;4 分;能跑不能跳;3 分;能走不能跑;2 分;肢体可以站立不能走;1 分;肢体可以活动但不能站立;0 分,肢体完全瘫痪。评分时间:术前 1 次,术后第 10 天、61 天、63 天各 1 次。

1.4 MR 检查 采用 GE 3.0 T Signa Excite 超导 MR 系统,相控阵脊柱线圈。右侧卧位扫描。常规行矢状位、冠状位及轴位 T2W 和 T1W。矢状位和冠状位层厚 2 mm,层间距 0,FOV 260 mm×260 mm,采集矩阵 384×256。轴位以放置的球囊为中心,层厚 4 mm,层间距 0.5 mm,FOV 140 mm×140 mm,采集矩阵 256×256。DTI 检查与常规轴位扫描定位相同,采用单次激发自旋回波平面回波成像序列,b 值 500 s/mm<sup>2</sup>,扩散敏感梯度取 15 个不同方向,TR 4000 ms,TE 最小,层厚 4 mm,层间距 0.5 mm,FOV 240 mm×240 mm,采集矩阵 128×128,NEX 4。MR 检查时间:术前 1 次,术后第 10 天、61 天、63 天各 1 次。

1.5 图像分析 全部数据在 AW 4.2 工作站内测量。应用 Functool 2 软件对 DTI 图像进行后处理,获得 ADC 图和各向异性分数(fractional anisotropy, FA)图。在 b=0 图像选择感兴趣区(region of interest, ROI),为圆形或椭圆形,放置在脊髓的中部,大小约 20 mm<sup>2</sup>,注意避开脑脊液的部分容积效应、磁敏感伪影和运动伪影的影响,测量 ADC 值和 FA 值。

1.6 病理学检查 术后第 63 天,两组动物在接受最后一次 MR 检查后,肌肉注射速眠新(0.2 ml/kg 体质量)麻醉,手术暴露颈髓。以压迫部位为中心,切取长为 3 cm 的脊髓组织。将压迫中心及邻近的脊髓组织在光镜和电镜下观察。

1.7 统计学分析 采用 SPSS 16.0 统计软件进行统计学分析。所有数值以  $\bar{x} \pm s$  表示,对 A、B 组动物的脊髓运动功能评分及受压脊髓的 ADC 值、FA 值进行重

复测量数据的方差分析,以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

### 2 结果

2.1 一般情况及脊髓运动功能评分 A 组 1 只动物、B 组 2 只动物术后即出现瘫痪,重新补充动物。术后第 2 天动物活动减少,术后第 10 天动物活动恢复正常。在球囊注入生理盐水后,动物运动功能评分下降。再次向 B 组动物球囊注入生理盐水后,术后第 63 天时,B 组动物评分(1.13±0.35)低于 A 组(3.42±0.43),差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。

2.2 MRI 表现和 ADC 值、FA 值变化(表 1、2) 术后第 10 天,置入的球囊位于硬膜囊前方,硬膜囊稍受压,脊髓未见异常信号,ADC 值和 FA 值与术前无差异。术后第 63 天,A 组动物受压脊髓的 ADC 值较术前升高,FA 值较术前降低( $P$  均  $< 0.05$ ,图 1);B 组动物受压脊髓的 ADC 值较 A 组降低( $P < 0.05$ ),与术前比较差异无统计学意义( $P > 0.05$ ),FA 值较 A 组升高( $P$

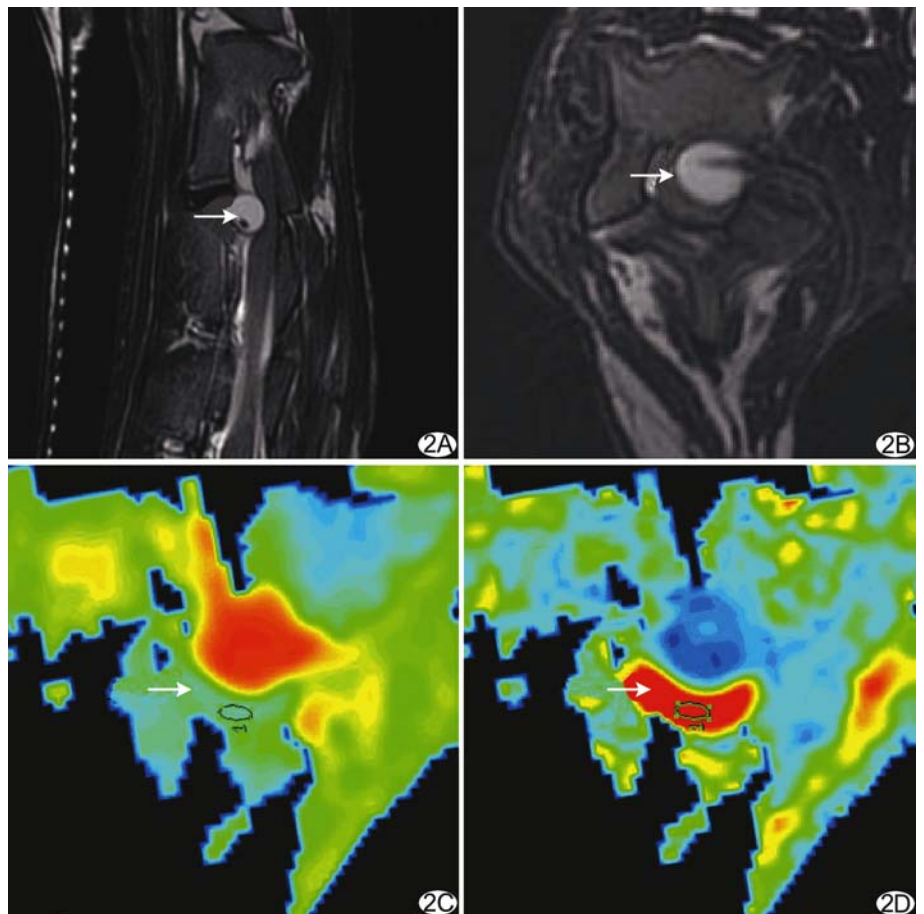


图 2 B 组动物术后第 63 天 MR 图像 A. 矢状 T2WI; B. 轴位 T2WI; C. 轴位 ADC 图; D. 轴位 FA 图。球囊位于硬膜囊前方(箭,A、B),硬膜囊受压更明显;受压脊髓的 ADC 值为  $1.26 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ ,FA 值为 0.68(箭,C、D)

$<0.05$ ),较术前轻度降低( $P<0.05$ ,图 2)。两组动物的 MRI 表现均未见异常。

2.3 病理学改变 A 组的病理学改变为脊髓组织水肿,灰质内神经细胞变性、坏死,白质内髓鞘板层状结构紊乱,轴索水肿,线粒体、微丝、微管的数量明显减少。B 组病理学改变除了与 A 组相同的表现外,部分区域细胞水肿更明显,并有局灶性出血。

表 1 两组动物受压脊髓 ADC 值变化  
( $\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ ,  $\bar{x} \pm s$ )

组别	术前	术后 10 天	术后 61 天	术后 63 天
A 组	1.23±0.05	1.23±0.05	1.44±0.05*	1.43±0.05*
B 组	1.24±0.05	1.24±0.05	1.44±0.05*	1.26±0.06#

注: \*:与术前比较,  $P<0.05$ ; #:与 A 组比较,  $P<0.05$

表 2 两组动物受压脊髓 FA 值变化( $\bar{x} \pm s$ )

组别	术前	术后 10 天	术后 61 天	术后 63 天
A 组	0.72±0.05	0.73±0.05	0.62±0.04*	0.62±0.07*
B 组	0.71±0.05	0.72±0.05	0.63±0.04*	0.68±0.06#

注: \*:与术前比较,  $P<0.05$ ; #:与 A 组比较,  $P<0.05$

### 3 讨论

判断脊髓压迫性损伤的程度对于选择治疗计划、判断预后具有重要意义。常规 MRI 虽然可显示脊髓压迫性损伤的范围和程度,但敏感度低,难以定量分析。研究<sup>[1-3]</sup>表明 DWI 和 DTI 对显示脊髓压迫性损伤有很大价值,动物实验<sup>[8-10]</sup>也证实 ADC 值、FA 值变化与病理学改变密切相关。急性脊髓压迫时,临床研究及动物实验<sup>[6,11-13]</sup>均显示脊髓受压部位 ADC 值下降,FA 值下降或暂时轻度升高;ADC 值、FA 值对判断预后有很大帮助,敏感度、特异度均高于常规 MRI。动物实验显示,慢性脊髓压迫时,受压部位 ADC 值升高,FA 值下降,DTI 较常规 MRI 敏感<sup>[12]</sup>。但是,临床研究<sup>[4-6]</sup>中发现部分慢性脊髓压迫病例,压迫程度很重,临床表现也很重,而受压脊髓的 ADC 值正常甚至下降。

目前对于脊髓压迫程度较重、临床症状也较重的病例受压脊髓的 ADC 值正常甚至下降还没有很好的解释。本研究中,脊髓慢性压迫时,脊髓受压部位的 ADC 值升高,FA 值下降;其病理学改变主要是脊髓水肿,细胞变性,髓鞘损伤;这些改变减少了水分子扩散障碍,特别是减少了水分子横向扩散,导致受压脊髓 ADC 值升高、FA 值降低<sup>[8]</sup>。脊髓慢性压迫合并急性压迫时,脊髓受压程度加重,临床表现加重,ADC 值在

已升高的基础上降低至正常,FA 值在已降低的基础上稍升高,但仍低于正常;此时的病理学表现为既有慢性压迫损伤的表现,又有急性压迫损伤的表现(如细胞肿胀明显,局灶性出血等)。由于细胞肿胀,细胞外间隙减小,细胞外基质变化,轴浆运输受损,水分子扩散障碍增加,导致 ADC 值较慢性压迫时有所降低<sup>[8-10]</sup>;髓鞘纤维肿胀,纤维束的间隙减小,使细胞外间隙变得迂曲,垂直于纤维走行的水分子扩散受限甚至停止,横向 ADC 值较纵向 ADC 值降低的程度更重,从而使扩散的各向异性升高,导致 FA 值较慢性压迫时有所升高<sup>[6]</sup>。因此,ADC 值和 FA 值恢复正常或接近正常的原因并非病理学改变减轻,而是由于出现了急性压迫损伤,病理学改变加重。

本研究结果提示,脊髓慢性压迫基础上合并急性压迫时,其 ADC 值、FA 值的变化与单纯慢性压迫或单纯急性压迫不同,脊髓压迫性损伤的 ADC 值、FA 值变化与压迫速度有密切关系。在分析脊髓压迫性损伤的 DWI、DTI 表现时,应该考虑压迫速度因素,才能更加深入地分析其变化规律及价值。

### [参考文献]

- [1] Hori M, Okubo T, Aoki S, et al. Line scan diffusion tensor MRI at low magnetic field strength: feasibility study of cervical spondylotic myelopathy in an early clinical stage. *J Magn Reson Imaging*, 2006, 23(2):183-188.
- [2] Mamata H, Jolesz FA, Maier SE. Apparent diffusion coefficient and fractional anisotropy in spinal cord: age and cervical spondylosis-related changes. *J Magn Reson Imaging*, 2005, 22(1):38-43.
- [3] Tsuchiya K, Katase S, Fujikawa A, et al. Diffusion-weighted MRI of the cervical spinal cord using a single-shot fast spin-echo technique: findings in normal subjects and in myelomalacia. *Neuroradiology*, 2003, 45(2):90-94.
- [4] Aota Y, Niwa T, Uesugi M, et al. The correlation of diffusion-weighted magnetic resonance imaging in cervical compression myelopathy with neurologic and radiologic severity. *Spine*, 2008, 33(7):814-820.
- [5] Bammer R, Fazekas F, Augustin M, et al. Diffusion-weighted MR imaging of the spinal cord. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2000, 21(3):587-591.
- [6] Facon D, Ozanne A, Fillard P, et al. MR diffusion tensor imaging and fiber tracking in spinal cord compression. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2005, 26(6):1587-1594.
- [7] 吴叶,侯树勋,何海龙,等.颈脊髓慢性压迫模型的建立及其病理改变. *中国脊柱脊髓杂志*, 2006, 16(1):57-61.
- [8] Thurnher MM, Law M. Diffusion-weighted imaging, diffusion-

tensor imaging, and fiber tractography of the spinal cord. Magn Reson Imaging Clin N Am, 2009, 17(2):225-244.

[9] Loy DN, Kim JH, Xie M, et al. Diffusion tensor imaging predicts hyperacute spinal cord injury severity. J Neurotrauma, 2007, 24(6):979-990.

[10] Kim JH, Loy DN, Wang Q, et al. Diffusion tensor imaging at 3 hours after traumatic spinal cord injury predicts long-term locomotor recovery. J Neurotrauma, 2010, 27(3):587-598.

[11] Tsuchiya K, Fujikawa A, Honya K, et al. Value of diffusion-weighted MR imaging in acute cervical cord injury as a predictor of outcome. Neuroradiology, 2006, 48(11):803-808.

[12] 刘记存, 刘怀军, 徐英进, 等. 羊脊髓持续压迫的 MR 扩散张量成像动态演变规律的实验研究. 中华放射学杂志, 2009, 43(2):185-190.

[13] 李小刚, 金征宇. 扩散磁共振成像和纤维束示踪成像在脊髓成像中的临床应用. 中国医学影像技术, 2010, 26(1):181-183.

## Ultrasonic diagnosis of fetal two-chamber malformation in heart combined with cystic lymphangioma: Case report

### 超声诊断胎儿两腔心畸形合并囊状淋巴管瘤 1 例

侯 敏, 闫合理, 郑 伟

(中国人民解放军第 273 医院特诊科, 新疆 库尔勒 841000)

[Key words] Abnormalities; Ultrasonography [关键词] 畸形; 超声检查  
 [中图分类号] R541.1; R445.1 [文献标识码] B [文章编号] 1003-3289(2011)02-0226-01

孕妇 25 岁, 孕 21 周。常规产前超声检查于胎儿颈部见 8.5 cm × 8.7 cm 囊性包块, 边界清晰, 内可见多条强回声分隔, 呈多房样改变(图 1); 胎心搏动规律, 140 次/分; 胎儿心脏仅显示为单一心室及心房, 室间隔与房间隔缺如(图 2); 心房通过一组房室瓣与心室相连接。CDFI 可见通过房室瓣的红色血流, 心室与大动脉解剖关系正常, 追踪扫查显示主动脉弓及连接心房的上、下腔静脉, 未见残余心腔。胎儿左、右侧胸腔内分别可见范围约 3.4 cm × 1.3 cm、2.6 cm × 1.5 cm 的不规则液性暗区, 腹腔内可见前后径约 0.7 cm 的液性暗区。胎儿脐带可见 1 条静脉及 1 条动脉。超声提示: ①宫内单活胎; ②胎儿颈部水囊状淋巴管瘤; ③胎儿心脏两腔心畸形; ④单脐动脉; ⑤胎儿胸腹水。均经引产后证实。

**讨论** 单心室是一种严重复杂型先天性心脏病, 指心脏只有一个有功能的主心室腔, 左、右心房或共同心房通常经房室瓣口与主心室腔相通。如合并房间隔未发育, 导致房间隔完全缺失, 即合并单心房时, 则形成两腔心畸形。单心室为胚胎原



图 1 产前超声示胎儿颈部可见囊性包块, 呈多房样改变 图 2 胎儿心脏显示为单一心房及心室, 心室与大动脉解剖关系正确

始心管的心室段发育异常所致。囊状淋巴管瘤是由于淋巴系统发育异常、右颈部淋巴管阻塞所致, 淋巴液聚集在胎儿的颈背部, 形成多房囊性肿块, 大多伴有胎儿全身水肿。囊状淋巴管瘤最常见的染色体异常为 Turner 综合征(约占 75%)。染色体正常的单纯囊状淋巴管瘤大多预后较好, 主动脉弓缩窄为其常见的伴发畸形, 而本例合并两腔心畸形, 较为少见。胎儿畸形合并种类越多, 提示染色体异常发生的风险越大。因此, 当发现类似病例时, 须行产前染色体核型分析及遗传咨询, 综合评价胎儿状况, 谨慎处理。通过产前超声进行筛查, 可降低畸形儿的出生率及围产儿死亡率。

[作者简介] 侯敏(1975—), 女, 新疆库尔勒人, 本科, 主管技师。  
 E-mail: hm\_kr@sina.com.cn  
 [收稿日期] 2010-11-07 [修回日期] 2010-11-17