

• 实验研究 •

DE MRI 观察髋关节自然和外展位股骨头骨骺血供特征

李小明, 王仁法, 夏黎明, 邵景范, 郑红伟

【摘要】 目的:运用动态钆增强 MR 成像技术, 评价正常股骨头骨骺及髋关节外展固定体位时股骨头骨骺的不同解剖区域的血供特征。**方法:**此研究包括 13 例 2 周龄乳猪。正常骨骺组 6 例, 双髋关节取自然体位行 MR 扫描; 外展固定组 7 例, 双髋关节取极度外展固定体位 2 h, 行 MR 扫描。主要 MR 扫描序列为钆增强动态 MR 成像, 运用时间分辨力为 3 s 的 SPGR 技术, 在静脉注射钆之前、注射过程中及之后连续扫描, 全部成像时间约 4~5 min。计算在不同体位动态钆增强 MRI 图像上股骨头骨骺各个解剖区域在不同时间的增强率, 并与相应组织学发现作对照研究。**结果:**在自然体位组, 海绵状骨松质的增强率最高 ($P < 0.001$), 生长板与海绵状骨松质强化快慢之间差异无显著性意义。在外展固定组, 生长板的强化速度较海绵状骨松质慢 ($P < 0.05$), 生长板和骨骺软骨的增强率均较自然体位时明显减低 ($P < 0.05$)。**结论:**动态钆增强 MRI 能显示正常以及血供障碍时骨骺不同解剖区域的血液灌注特征。

【关键词】 软骨; 磁共振成像; 动物模型

【中图分类号】 R445.2; **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2006)10-0985-04

Dynamic Gadolinium-enhanced MR Imaging in Characterization of Blood Perfusion of Femoral Head Epiphysis with Hips in Neutral and Abduction Position LI Xiaoming, WANG Renfa, XIA Liming, et al. Department of Radiology, Tongji Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430030, P. R. China

【Abstract】 Objective: To evaluate the characterization of blood perfusion of femoral head epiphysis with hips in neutral and abduction position by using dynamic gadolinium-enhanced MR imaging. **Methods:** Thirteen 2 week old piglets were randomly assigned into either hips with neutral position (six piglets) or with abduction position (seven piglets). Dynamic Gd-enhanced imaging was performed in bilateral hips. In group with abduction hips, maximal bilateral hip abduction was lasted for two hours and MRI was performed. **Results:** For dynamic Gd-enhanced imaging, spoiled gradient-recalled echo images with a temporal resolution of 3.0s were performed before, during, and after the injection of gadolinium, and a total of 96 images were obtained. The enhancement ratios in different tissues regions were evaluated and correlated with histological findings. **Results:** In group with neutral position, the enhancement ratio of metaphyseal spongiosa was greatest compared to those of all other anatomic regions ($P < 0.001$). No significant differences in enhancement speed between physeal cartilage and spongiosa was found. In group with abduction position, physeal cartilage enhanced more slowly than spongiosa ($P < 0.05$). The enhancement ratios of physeal and epiphyseal cartilage in abduction position were lower than those in neutral position. **Conclusion:** Dynamic gadolinium-enhanced MR imaging can characterize the blood perfusion in the various anatomic regions of growing femoral head in either normal or blood occlusion.

【Key words】 Cartilage; Magnetic resonance imaging; Model, animal

与其它传统影像学技术不同, MRI 能直接显示软骨结构, 因此已成为目前诊断软骨病变的主要工具之一^[1-9]。

尽管关节软骨是无血管的, 但在生长发育的早期, 骨骺软骨及生长板软骨内含有血管。长期以来一直认为, 骨骺血管是生长板血供的唯一来源, 然而目前发现, 骨骺血管阻塞后, 生长板仍强化, 目前尚不清楚引起这种强化的原因^[6]。小儿髋关节蛙氏位外展固定可引起股骨头骨骺供养血管的压迫和阻塞^[1], 此研究以

乳猪为实验对象, 运用动态 Gd 增强 MR 技术, 动态观察髋关节自然体位和外展固定体位时股骨头骨骺不同解剖区域的增强特征, 并与相应组织学发现进行对照, 探索将动态增强 MRI 技术运用于检出正常骨骺的血供特征, 以及骨骺血管阻塞时的血供改变。

材料与方法

1. 实验对象及 MRI 方法

本研究包括 13 例出生仅 2 周的乳猪, 共 26 个股骨头, 分为两组: 自然体位组, 6 例健康乳猪在静脉全身麻醉后, 双髋关节取自然体位固定, 行 MR 扫描; 外展固定组, 将另 7 例乳猪双侧髋关节持续外展

作者单位: 430030 武汉, 华中科技大学附属同济医学院同济医院放射科(李小明、王仁法、夏黎明、郑红伟), 小儿外科(邵景范)
作者简介: 李小明(1963-), 女, 湖北武汉人, 副教授, 主要从事骨骺肌肉系统 MRI 诊断工作。
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30370430)

固定 2h, 进行 MR 扫描。

用 1.5T GE 全身 MR 仪, 扫描序列包括常规 SE T₁WI、FSE T₂WI 及动态钆增强 MR 成像。所谓动态钆增强 MR 成像, 即在静脉注射对比剂之前、注射过程中(注射时间为 5 s)及注射之后, 运用 SPGR 技术 (TR 30 ms, TE 4.52 ms, 翻转角 35°, 层厚 2 mm, 时间分辨率为 3 s, 视野 150 mm, 体素 1.2 mm × 0.6 mm × 2.0 mm), 连续进行 32 个 SPGR 序列的扫描。每个序列有 3 帧图像, 共获得 96 帧图像。每个序列扫描时间为 9 s, 全部扫描时间共约 4~5 min。对比剂 Gadolinium 的用量为 2 mmol/kg, 采用人工快速手推法注射。

2. 不同体位股骨头各组织的增强率及强化快慢的计算

在增强前及增强后不同时间的 MR 图像上, 在骨骺软骨、生长板软骨、海绵状骨松质(干骺端最邻近生长板的一部分, 为新骨的形成区域, 呈与生长板相平行的条带状红骨髓结构)等不同解剖区域选择兴趣区, 兴趣区大小的选择由组织的解剖特点决定。例如, 生长板和海绵状骨松质呈薄的条带状。在工作站采用半自动画线法描绘选择生长板和海绵状骨松质的兴趣区, 一个兴趣区仅包括 5~6 个像素。骨骺软骨相对较大, 采用全自动法选择兴趣区, 一个兴趣区包括 22~25 个像素。兴趣区的部位和大小在增强前后保持一致, 采集每个兴趣区的平均信号强度。

$$\text{增强率} = \frac{\text{不同时间点的信号强度} - \text{增强前的信号强度}}{\text{增强前的信号强度}}$$

通过此公式计算得出不同体位时各个解剖区域在不同时间的增强率。强化的快慢取决于从开始注射对比剂到增强率到达强化平台期的时间。

3. 统计学处理

运用 *t* 检验, 使用 Matlab 软件工具, 计算分析各个解剖区域的增强率的差异及强化快慢的差异。

4. 组织学标本制作

MR 扫描完毕后, 全部动物均被立即处死, 取出完整的股骨, 标本浸于 10% 甲醛液中, 固定 2 周, 用 25% 蚁酸脱钙, 再将其包埋在 JB4 plastic 液中, 按 5 μm 厚切片, 用 1% 甲苯胺蓝染色, 其中 5 例标本在切片前做了血管墨汁灌注染色。计算每平方毫米面积组织的血管的数量。

结 果

1. 自然体位的不同组织区域的增强率

根据 6 例乳猪股骨头各个组织区域在不同时间的动态增强 MRI 的信号强度计算得出: 生长板软骨的增

强率比骨骺软骨的增强率有明显增高 ($P < 0.001$); 与各解剖区域的增强率相比, 海绵状骨松质的增强率最高 ($P < 0.001$); 与生长板和海绵状骨松质相比, 骨骺软骨的增强最慢 ($P < 0.001$), 而生长板与海绵状骨松质强化快慢之间差异无显著性意义 ($P > 0.1$)。骨骺及干骺端各个解剖区域增强率的变化过程见图 1, 生长板和海绵状骨松质在注射对比剂后较短暂的时间内, 增强率迅速升高至相对的平台期。而骨骺软骨增强率的增高最为缓慢, 且增强率也最低。

2. 外展固定体位时不同组织区域的增强率

骨骺软骨的增强率较生长板低 ($P < 0.001$), 强化更慢 ($P < 0.001$); 生长板的增强率低于海绵状骨松质 ($P < 0.05$), 且强化速度更慢 ($P < 0.05$), 此点与自然体位时不相同。同时, 生长板和骨骺软骨的增强率均较自然体位时明显减低 ($P < 0.05$)。

3. 组织学发现

正常骨骺的组织学研究显示, 在海绵状骨松质的红骨髓内可见与骨的生长方向一致的丰富血管(图 2), 随着逐渐向干骺端的移行, 血管数量明显减少。在生长板软骨内见较为丰富的血管, 生长板软骨的生发层具有丰富的血管索。生长板软骨厚约 1.3 mm, 在生长板的增生层、肥大层和先期钙化层均有血管, 其中生发层的血管最丰富。在骨骺软骨基质内可见位于血管槽内的血管, 包括小动脉、小静脉及小静脉丛等(图 3)。所有组织中以海绵状骨松质的血管最为丰富, 血管密度最高, 即单位面积组织的血管数量最多, 80~100 根, 生长板软骨的血管密度为每平方毫米 75~85 根, 骨骺软骨的血管密度最小, 为每平方毫米 15~20 根。

所有外展固定的股骨头的组织学研究显示了生长板内较正常对更多的穿通血管 ($P < 0.05$) (图 4)。

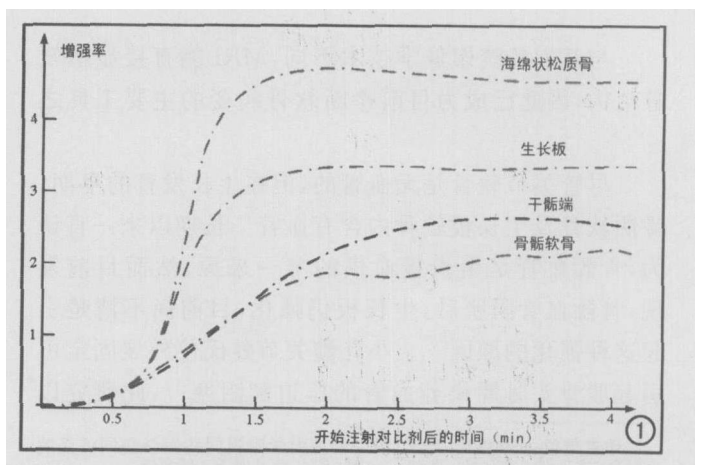


图 1 20 个股骨远端骨骺各组织区域平均增强率随时间变化的曲线图。

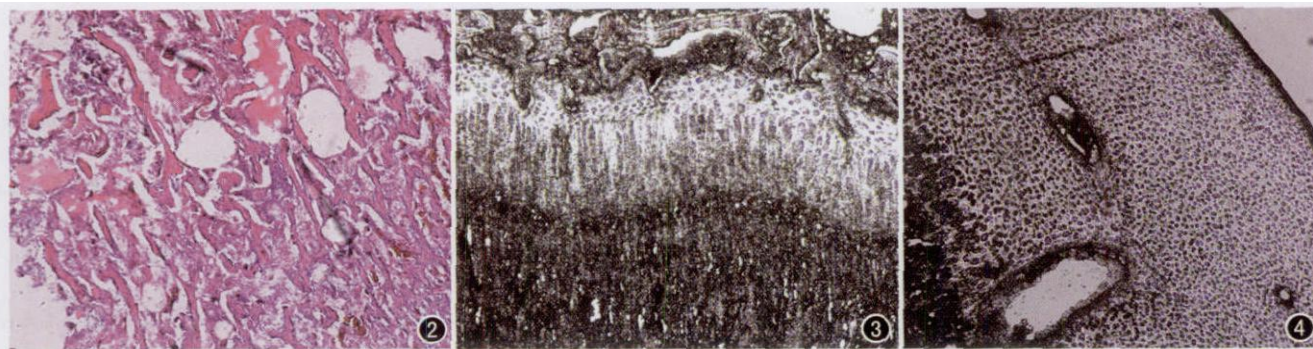


图 2 正常乳猪股骨远端的海绵状骨松质切片图示在红骨髓内可见与骨的生长方向一致的丰富的血管。图 3 正常乳猪股骨远端生长板内血管墨汁灌注组织学切片图。图 4 正常乳猪股骨远端骨骺软骨内血管墨汁灌注组织学切片图。

讨 论

尽管关节软骨是无血管的,但是在生长发育的早期,骨骺软骨及生长板软骨内含有血管^[1,10]。先前的研究已证实^[10],静脉注射钆剂后的 5~10 min,常规 SE T₁WI 可明确显示乳猪骨骺软骨内的血管槽。目前的研究提示 MRI 能部分显示生长软骨的微细解剖结构,同时也可提供一些生长软骨的功能信息^[11,12]。

具有高时间分辨力的动态增强 MRI 显示了正常生长板和海绵状骨松质在注射对比剂后迅速且显著的强化,提示了这些区域具有丰富的血供,同时对比剂能快速从血管向周围组织内弥散。注射对比剂后,紧靠生长板的海绵状骨松质强化最为显著和迅速,形成一条突出的强化带。其原因正如组织学研究所^[13-16],海绵状骨松质是极富血管的解剖区域,细胞代谢活跃,是新骨形成的部位。生长板软骨的生发层血管丰富,对比剂从血管索弥散进入周围软骨基质,部分对比剂可能直接从生长板穿通血管向软骨基质弥散,因此生长板软骨强化快。骨骺软骨强化缓慢且弱,这主要是由于骨骺软骨的血管包埋于软骨的血管槽内,对比剂首先需从血管弥散进入血管槽的基质中,然后再弥散到软骨基质内。故与其它解剖结构相比,对比剂需要更长的时间才能进入软骨组织。据报道^[10],对比剂注射后 10 min 才弥散进入骨骺软骨基质。

在妊娠晚期和出生后,生长板内有穿通血管,在人体,这种血管在 1 岁左右消失,但在猪这种血管会存在更久些^[17-21]。而在干骺端,随年龄的增大,随着红骨髓向黄骨髓的转换,血管逐渐减少。人和哺乳动物刚出生时骨骺软骨内含有丰富的血管,随着二次骨化中心的长大,骨骺软骨内血管逐渐减少,直至消失。

同时此项研究结果提示,髋关节正常体位时,生长板与海绵状骨松质的强化快慢相似,但在髋关节持续

外展固定 2h,出现生长板的强化较海绵状骨松质明显减慢。笔者认为,此变化可提示增强可能是从干骺端到生长板和骨骺,即在骨骺血管阻塞时,干骺端的血管提供骨骺和生长板的血供。也许在生命的初期,生长板穿通血管在缺血时起了重要的作用。

参考文献:

- [1] Jaramillo D, Villegas-Medina O, Doty D, et al. Gadolinium-enhanced MR Imaging Demonstrated Abduction-caused Hip Ischemia and Its Reversal in Piglets[J]. AJR, 1996, 166(3): 879-887.
- [2] Jaramillo D, Connolly S, Vajapeyan S, et al. Normal and Ischemic Epiphysis of the Femur: Diffusion MR Imaging Study in Piglets[J]. Radiology, 2003, 227(3): 825-832.
- [3] Jaramillo D, Villegas-Medina D, Laor T, et al. Gadolinium-enhanced MR Imaging of Pediatric Patients after Reduction of Dysplastic Hips: Assessment of Femoral Head Position, Factors Impeding Reduction, and Femoral Head Ischemia[J]. AJR, 1998, 170(6): 1633-1637.
- [4] Ecklund K, Jaramillo D. Imaging of Growth Disturbance in Children[J]. Radiol Clin N Am, 2001, 39(4): 823-841.
- [5] Ecklund K, Jaramillo D. Patterns of Premature Physeal Arrest: MR Imaging of 111 Children[J]. AJR, 2002, 178(4): 967-972.
- [6] Jaramillo D, Kammen B, Shapiro F. Cartilaginous Path of Physeal Fracture separations: Evaluation with MR Imaging-an Experimental Study with Histologic Correlation in Rabbits[J]. Radiology, 2000, 215(2): 504-511.
- [7] Kruczynski J, Wierusz Kozłowska M. Images of Growth Zones of the Femoral Head, Neck and Greater Trochanter in MR Examination[J]. Chir Narządów Ruchu ortop Pol, 2000, 65(6): 639-642.
- [8] Jaramillo D, Galen T, Winalski C, et al. Legg-Calve-Perthes Disease: MR Imaging Evaluation During Manual Positioning of Hip-comparison with Conventional Arthrography[J]. Radiology, 1999, 212(2): 519-525.
- [9] Jaramillo D, Kasser J, Villegas-Medina O, et al. Cartilaginous Abnormalities and Growth Disturbance in Legg-Calve-Perthes Disease: Evaluation with MR Imaging[J]. Radiology, 1995, 197(3):

767-773.

- [10] Barnewolt C, Shapiro F, Jaramillo D, et al. Normal Gadolinium-enhanced MR Images of the Developing Appendicular Skeleton: Part 1 Cartilaginous Epiphysis and Physis [J]. AJR, 1997, 169(1): 183-189.
- [11] Jaramillo D, Connolly S, Mulkern R, et al. Developing Epiphysis: MR Imaging Characteristics and Histologic Correlation in the Newborn Lamb [J]. Radiology, 1998, 207(3): 637-645.
- [12] Jaramillo D, Connolly S, Vajayam S, et al. Normal and Ischemic Epiphysis of Femur: Diffusion MR Imaging study in Piglets [J]. Radiology, 2003, 227(3): 825-832.
- [13] Jaramillo D, Villegas-Medina D, Doty D, et al. Age related Vascular Changes in the Epiphysis, Physis, and Metaphysis: Normal Findings on Gadolinium-enhanced MRI of Piglets [J]. AJR, 2004, 182(2): 353-360.
- [14] Jaramillo D, Villegas-Medina O, Doty D, et al. Gadolinium-enhanced MR Imaging Demonstrates Abduction-caused Hip Ischemia and its Reversal in Piglets [J]. AJR, 1996, 166(4): 879-887.
- [15] Bearcroft P, Berman L, Robinson A, et al. Vascularity of the Neonatal Femoral Head: in Vivo Demonstration with Power Doppler US [J]. Radiology, 1996, 200(1): 209-211.
- [16] Gruber H, Lachman R, Rimoin D. Quantitative Histology of Cartilage Vascular Canals in the Human Rib: Findings in Normal Neonates and Children, and in Achondrogenesis — Hypochondrogenesis [J]. J Anat, 1990, 173(1): 69-75.
- [17] Jaramillo D, Shapiro F. Growth Cartilage [J]. MRI Clinics of North America, 1998, 6(3): 455-471.
- [18] Shapiro F. Epiphyseal and Physeal Cartilage Vascularization: a Light Microscopic and Initiated Thymidine Autoradiographic Study of Cartilage Canals in Newborn and Young Postnatal Rabbit Bone [J]. Anat Rec, 1998, 252(1): 140-148.
- [19] Jaramillo D, Villegas-Medina O, Laor T, et al. Gadolinium-enhanced MR Imaging of Pediatric Patients after Reduction of Dysplastic Hips: Assessment of Femoral Head Position, Factors Impeding Reduction, and Femoral Head Ischemia [J]. AJR, 1998, 170(6): 1633-1637.
- [20] Babyn PS, Kim HK, Gahunia HK, et al. MRI of the Cartilaginous Epiphysis of the Femoral Head in the Piglet Hip after Ischemic Damage [J]. J Magn Reson Imaging, 1998, 8(4): 717-723.
- [21] Rivas R, Shapiro F. Structural Stages in the Development of the Long Bones and Epiphyses Study in the New Zealand White Rabbit [J]. J Bone Joint Surg Am, 2002, 84(1): 85-100.

(收稿日期: 2006-07-20)

欢迎订阅 2007 年《放射学实践》

《放射学实践》是由国家教育部主管, 华中科技大学同济医学院主办, 与德国合办的全国性影像学学术期刊, 由国内著名影像专家郭俊渊教授担任主编, 创刊至今已 22 周年。本刊坚持服务广大医学影像医务人员的办刊方向, 关注国内外影像医学的新进展、新动态, 全面介绍 X 线、CT、磁共振、介入放射及放射治疗、超声诊断、核医学、影像技术学等医学影像方面的新知识、新成果, 受到广大影像医师的普遍喜爱。

本刊为国家科技部中国科技论文统计源期刊、中国科学引文数据库统计源期刊, 在首届《中国学术期刊(光盘版)检索与评价数据规范》执行评优活动中, 被评为《CAJ—CD 规范》执行优秀期刊。

主要栏目: 论著、继续教育园地、研究生展版、图文讲座、本刊特稿、实验研究、影像技术学、外刊摘要、学术动态、读片追踪、病例报道、知名产品介绍、信息窗等。

本刊为月刊, 112 页, 每册 8 元, 全年定价 96 元。

国内统一刊号: ISSN 1000-0313/CN 42-1208/R 邮政代号: 38-122

电话: (027) 83662875 传真: (027) 83662887 E-mail: radio@tjh.tjmu.edu.cn

编辑部地址: 430030 武汉市解放大道 1095 号 同济医院《放射学实践》编辑部