

· 小儿影像学专题 ·

正常儿童椎体骨髓转换过程中磁共振信号强度的变化

袁新宇, 肖江喜, 周元春

【摘要】 目的:分析椎体骨髓磁共振 T_1 WI 信号强度比值(SIR)与年龄、性别的关系,探讨正常儿童椎体骨髓转换的发生规律。**方法:**回顾性分析 105 例正常儿童的脊柱磁共振 T_1 加权序列图像,同时选择血液系统疾病患儿共 32 例作为病例组对照研究。采用 GE 0.2T Profile Gold 永磁型开放式磁共振扫描仪行脊柱矢状面 SE T_1 WI 扫描。测定椎体磁共振 SIR,并对所获得的数据与年龄、性别的关系及正常组和病例组间的比较进行统计学处理。**结果:**椎体 SIR 值与年龄变化的关系研究表明,颈椎、腰椎骨髓 SIR 值与年龄呈正相关,统计学具有显著性意义($P < 0.01$),而胸椎骨髓 SIR 值则与年龄无显著相关性($P = 0.06$);无论是颈椎、胸椎还是腰椎的 SIR 值与性别均无显著相关性($P > 0.05$);病例组患儿椎体 T_1 信号强度较正常组儿童明显减低,各年龄组病例与正常组间的 SIR 值差异均具有显著性意义($P < 0.01$)。**结论:**儿童年龄段(0~17 岁)颈椎和腰椎骨髓转换发生较早,5 岁后的骨髓信号较前发生明显增高,而且血液系统疾病患者椎体骨髓 T_1 信号较正常显著减低。因此,利用 SIR 定量测定法对弥漫性骨髓疾病具有更高的敏感性。

【关键词】 儿童; 脊柱; 磁共振成像; 信号强度比; 骨髓转换

【中图分类号】 R445.2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2007)04-0341-04

Conversion of Spinal Bone Marrow in Children: Signal Intensity Ratio Changes with Age and Sex on MR Imagings YUAN Xin-yu, XIAO Jiang-xi, ZHOU Yuan-chun, Department of Radiology, the Affiliated Children's Hospital, Capital Institute of Pediatrics, Beijing 100020, P. R. China

【Abstract】 Objective: The purpose of the study was to elucidate the signal intensity ratio (SIR) on MRI of spinal bone marrow relative to age and sex on T_1 -weighted images in children. **Methods:** We retrospectively reviewed sagittal T_1 -weighted MR images of the spinal vertebrae for the distribution of hematopoietic and fatty marrow. One hundred and five children aged from 3 months to 17 years old without evidence of marrow abnormality and 32 patients with hematopoietic disorders (anemia in 19 cases and leukemia in 13 cases) were examined with the 0.2T MR unit. Marrow conversion was assessed in cervical vertebrae, thoracic vertebrae and lumbar vertebrae using signal intensity ratio (SIR). **Results:** Correlation analysis of age dependences showed that SIR of cervical and lumbar vertebrae correlated with age significantly ($P < 0.01$) while SIR of thoracic vertebrae failed to show age-related differences ($P > 0.05$). Sex had no effect on the SIR of spinal vertebrae ($P > 0.05$). There were differences in SIR between the normal children and patients with hematopoietic diseases statistically, with patients having a significant lower SIR than normal children ($P < 0.01$). **Conclusion:** Spinal bone marrow conversion in children is not related to sex. The cervical and lumbar vertebrae bone marrow conversion begins earlier than thoracic vertebrae. SIR of the vertebrae in patients with hematopoietic disorders is much less than that in normal children. As a result, SIR would be helpful to finding the diffused bone marrow abnormalities.

【Key words】 Child; Spine; Magnetic resonance imaging; Signal intensity ratio; Marrow Conversion

MRI 检查对骨髓病变具有高度敏感性,并已逐渐成为骨髓病变的非创伤性首选检查技术。然而,骨髓磁共振信号强度(signal intensity, SI)既可因骨髓发生病变而改变,同时又随正常骨髓转换时脂肪和水成分含量的生理变化而变化,常导致诊断医师难于正确区分病变与正常骨髓组织。因此,掌握正常椎体骨髓转换发生规律及转换过程中椎体磁共振表现,有助于临床医生早期发现病变。

本研究通过分析骨髓磁共振信号强度比(signal intensity ratio, SIR)与年龄、性别的关系,探讨儿童脊柱椎体骨髓转换的发生规律,为临床正确判断脊柱骨髓磁共振扫描征象提供帮助。

材料与方法

正常组:回顾性分析 105 例正常儿童的脊柱磁共振 T_1 加权序列图像,其中男 63 例,女 42 例,男女比例为 1.5 : 1,年龄 3 个月~17 岁,平均(6.56 ± 4.66)岁。入选儿童均无骨髓疾病、恶性肿瘤及局限性病变(如肿物、创伤、感染、椎间盘病变)史,无长期卧床史,均无激

作者单位: 100020 北京,首都儿科研究所附属儿童医院放射科(袁新宇); 100034 北京,北京大学第一医院放射科(肖江喜,周元春)
作者简介:袁新宇(1968—),男,北京人,副主任医师,主要从事儿科影像诊断工作。

素治疗或放化疗病史。参考既往文献^[1-7],将入选对象按年龄大小分为 3 组,0~5 岁为第一组,6~10 岁为第二组,11~17 岁为第三组。

病例组:选择血液系统疾病患儿共 32 例作为病例组,其中男 18 例,女 14 例,年龄范围 3~14 岁,平均(8.09±3.61)岁。病种包括各种原因所致贫血(19 例)和白血病(13 例)。

采用 GE 0.2T Profile Gold 永磁型开放式磁共振扫描仪行脊柱矢状面 SE T₁WI 扫描。1 岁以下婴儿使用头线圈,1 岁以上儿童采用中型体部线圈。SE T₁WI 序列主要参数:TR 400~500 ms,TE 18~25 ms,矩阵 256×192,层厚 3 mm,层距 1 mm,激励次数 4,视野 30 cm。扫描时均于脊柱前加饱和带。

椎体选择:环枢椎和骶尾椎的发育与其他椎体不同,故选择第 3~第 7 颈椎、第 1~第 12 胸椎以及第 1~第 5 腰椎作为研究对象。

椎体骨髓 SIR 值测定:对 105 例正常组和 32 例病例组的脊柱 SE T₁WI 正中矢状面图像中 1323 个椎体(正常组 995 个,病例组 328 个)的 SI 值进行测量(图 1)。同时,为尽可能消除系统误差,采用 SIR 作为比较数值。参考 Yamada 等^[7]提出的方法,利用兴趣区(region of interest, ROI)技术分别测定各椎体骨髓、皮下脂肪和背景噪声的 SI 值,其中 ROI 面积范围为 25~30 mm²。使用相同大小 ROI 分别测定同一椎体不同区域的 SI 值(3 次)及皮下脂肪和背景噪声的 SI 值(图 1),按照公式(1)计算出 SIR 值,并用于统计分析。

$$SIR = \frac{SI_{BM} - SI_A}{SI_{SF} - SI_A} \quad (1)$$

式中 SI_{BM}、SI_{SF}和 SI_A分别为所测定的各椎体骨

髓、皮下脂肪和背景噪声的 SI 值。

将椎体按解剖部位分为颈椎、胸椎和腰椎三组。正常组和病例组儿童各年龄组椎体分布见表 1。

表 1 正常组和病例组儿童各年龄组椎体分布 (个)

部位	正常组			病例组		
	0~5 岁	6~10 岁	11~17 岁	0~5 岁	6~10 岁	11~17 岁
颈椎	86	33	70	30	34	20
胸椎	282	139	100	36	80	75
腰椎	152	70	63	5	20	28
合计	520	242	233	71	134	123

质量控制:所有儿童均在平静呼吸下扫描,小于 5 岁者口服水合氯醛镇静;对靠近线圈两端受到伪影干扰的椎体予以排除。ROI 避免放置在椎体边缘、终板及椎中央静脉区域。每一个椎体测定 3 次 SI 值,并根据公式计算出 3 个 SIR 值,然后以 3 个数据的数学平均值作为该椎体确定的 SIR 值用于统计分析。

统计学处理:对 SIR 与年龄的相关性行 Bivariate Correlate 检验;对不同年龄组间 SIR 的差异性行 *F* 检验;不同性别间 SIR 值差别及相同年龄的正常组与病例组椎体 SIR 值间差异性行 Independent-Samples *t* 检验。所有数据均采用 SPSS 11.5 统计软件完成。

结 果

1. 椎体 SIR 分析

椎体 SIR 值与年龄变化的关系:分别对不同部位椎体 SIR 均值与年龄相关性进行 Spearman 相关性检验,颈椎骨髓 SIR 值与年龄呈正相关,统计学具有显著性意义, $r=0.88, P<0.01$;腰椎骨髓 SIR 值与年龄亦呈正相关,统计学具有显著性意义, $r=0.65, P<0.01$;而胸椎骨髓 SIR 值则与年龄无显著相关性, $r=0.21, P>0.05$ 。

椎体 SIR 值在各年龄组间的差异:不同年龄组椎体 SIR 值差异的 *F* 检验结果见表 2。

表 2 不同年龄组间椎体 SIR 值差异 *F* 检验

部位	年龄			<i>P</i> 值
	0~5 岁	6~10 岁	11~17 岁	
颈椎	0.49±0.13*	0.65±0.25*	0.87±0.29*#	<0.01
胸椎	0.48±0.15	0.57±0.14	0.54±0.17	0.07
腰椎	0.50±0.13*#	0.66±0.11*	0.66±0.07*	<0.01

注:*和#标记表明组间具有显著性差异。

表 2 表明,颈椎骨髓 SIR 值在 0~5 岁组与 11~17 岁组间差异有极显著性意义($P<0.01$),6~10 岁组与 11~17 岁组 SIR 值差异有显著性意义($P<0.05$),0~5 岁组与 6~10 岁组间 SIR 值差异无显著性意义($P>0.05$);胸椎骨髓 SIR 值在三组间比较差异均无显著性($P>0.05$);腰椎骨髓 SIR 值在 0~5 岁组与



图 1 利用 ROI 技术分别测定椎体骨髓、皮下脂肪及背景噪声的 SI 值,再计算出 SIR。

6~10 岁组和 11~17 岁组间差异均存在极显著性意义($P<0.01$),6~10 岁组与 11~17 岁组间差异无统计学意义($P>0.05$)。

椎体 SIR 值与性别的关系:不同部位椎体骨髓 SIR 均值与性别进行 Independent-Samples t 检验,结果见表 3。

表 3 不同部位椎体 SIR 均值在性别间差异的 F 检验结果

部位	F	P^*	t	P
颈椎	0.00	0.96	-0.23	0.82
胸椎	2.53	0.12	-0.99	0.32
腰椎	0.67	0.42	-1.21	0.23

无论是颈椎、胸椎还是腰椎,其 SIR 值与性别均无显著相关性, P 值分别为 0.82、0.32 和 0.23,均大于 0.05。

病例组 SIR 值较正常组显著减低:不同年龄病例组与正常组椎体 SIR 值比较见表 4。

表 4 不同年龄组中正常组与患儿椎体 SIR 值比较结果

年龄组	F	P^*	t	P 值
0~5 岁	0.40	0.53	-4.63	<0.01
6~10 岁	7.39	0.01	-7.24	<0.01
11~17 岁	0.73	0.40	-3.13	<0.01

注: P^* 为方差齐性检验 P 值; $P<0.01$,两者间差异具有极显著性意义。

独立样本 t 检验的结果表明,各年龄组正常儿童与患儿间的椎体 SIR 值差异均具有极显著性意义。

讨 论

骨髓是人体最大的造血器官,依骨髓的功能不同,可将它分为红骨髓和黄骨髓。红骨髓显示红色是由于其中含有大量红细胞和不同成熟程度的红系前体细胞所致;黄骨髓主要成分为脂肪细胞,无造血活性。两种骨髓化学组成成分相同,但各成分所占比例存在差别。红骨髓包含大约 40% 水、40% 脂肪和 20% 蛋白质;而黄骨髓包含 15% 水、80% 脂肪和 5% 蛋白质。

红骨髓和黄骨髓的比例因年龄、部位、性别及个人健康状况而有所不同。随着年龄的增长,黄骨髓在全身各部位的骨骼中不同程度地逐渐替代红骨髓,这种现象被称为骨髓转换。红骨髓向黄骨髓的转换从胚胎晚期就已经开始,主要集中于四肢指(趾)远端。新生儿所有的骨髓都是红骨髓,从生后 2 个月到 25 岁才基本完成全身骨髓转换过程,达到平衡状态^[1-4]。然而,在脊柱、骨盆、股骨和胸骨仍可残余少量红骨髓^[1-7]。

骨髓磁共振信号主要依赖于组织固有的 3 个参数,即质子密度、 T_1 弛豫时间和 T_2 弛豫时间。选择适当的 MR 脉冲序列,可以集中体现其中一种组织特

性。脂肪组织的 T_1 弛豫时间短,而水的 T_1 弛豫时间较长,故利用主要反映组织 T_1 特性的 SE T_1 加权图像即可清晰区别水和脂肪组织,观察红骨髓向黄骨髓的转换。

既往对骨髓转换的研究较多^[2-8],所采用的方法大致分为 2 种,一种是定性方法,即从视觉上对骨髓与周围脂肪和肌肉软组织信号进行比较、分级,判断红骨髓、黄骨髓或两者混合信号的高低在不同年龄组或不同骨骼及同一骨骼的不同部位中出现的多少,并使用计量资料的统计学方法进行处理^[7-10]。另一种则是定量方法,采用 ROI 技术,定量测定兴趣区之间的信号强度值(比)或 T_1 、 T_2 弛豫时间分析骨髓成分的转变。信号强度值测定通常采取 ROI 信号平均值,且面积不小于 20 个像素。大部分研究者为了消除扫描参数影响,采用 SIR 值(即骨髓信号强度与同一层面皮下脂肪信号强度的比值)作为兴趣区信号强度比较的依据^[4,7,9]。

在人体各部位骨骼中,椎体红、黄骨髓转换的发生时间晚且比较缓慢。Taccone 等^[10]对 250 例年龄小于 24 岁的正常人椎体进行 MR 定性研究结果表明,儿童椎体骨髓信号转换开始于 2 岁。Sebag 等^[11]通过定性比较 100 例儿童的椎体骨髓信号与椎间盘信号强度发现,5 岁以后,90% 椎体骨髓信号强度高于椎间盘信号,甚至建议,若 5 岁前椎体信号与椎间盘相似,应提示骨髓病变。本研究椎体骨髓 SIR 值随年龄变化的检验结果表明,颈椎和腰椎骨髓 SIR 值与年龄密切相关,并随年龄的增长而升高;从年龄组骨髓 SIR 值比较结果可知,11~17 岁组儿童颈椎较 6~10 岁组、6~10 岁组较 0~5 岁组,SIR 值均明显增高,其差异具有统计学意义;0~5 岁组腰椎 SIR 值与 6~10 岁组和 11~17 岁组差异均存在极显著性意义。同时,本组中胸椎骨髓 SIR 值在 0~17 岁阶段并未显示出其变化与年龄相关,且各年龄组间亦无显著差异。这些结果可能说明颈椎和腰椎骨髓转换发生较早,在 5 岁以后出现明显变化,与年龄具有密切相关性,可以作为研究儿童椎体骨髓转换规律的对象。而胸椎骨髓转换发生相对较晚或速度缓慢。

本研究还显示 SIR 值与性别无显著相关。Ishijima 等^[12]定量研究 211 个观察对象腰椎骨髓中水成分的信号强度值,其结果表明,5~24 岁年龄组中不同性别椎体骨髓水分变化无显著性差异,与我们的观察结果一致。

不同年龄段病例组与正常组儿童椎体 SIR 值比较结果证明,血液系统疾病患者患者椎体骨髓将发生

逆转现象,生血性骨髓将重新取代黄骨髓,导致椎体 SIR 值将明显下降。本研究结果表明,其椎体 T₁ 信号强度明显低于正常同龄儿。因此,利用定量方法可以更敏感地发现病变,为及早诊断和治疗提供帮助。

参考文献:

- [1] Ricci C, Cova M, Kang YS, et al. Normal Age-related Pattern of Cellular and Fatty Bone Marrow Distribution in the Axial Skeleton: MR Imaging Study[J]. Radiology, 1990, 177(1): 83.
- [2] Richardson ML, Patten RM. Age-related Change in Marrow Distribution in the Shoulder: MR Imaging Findings[J]. Radiology, 1994, 192(2): 209.
- [3] Moore SG, Dawson KL. Red and Yellow Marrow in the Femur: Age-related Change in Appearance at MR Imaging[J]. Radiology, 1990, 175(2): 219.
- [4] Waitches G, Zawin JK, Poznanski AK. Sequence and Rate of Bone Marrow Conversion in the Femora of Children as Seen on MR Imaging, are Accepted Standards Accurate [J]. AJR, 1994, 162(4): 1399.
- [5] Dawson KL, Moore SG, Rowland JM. Age-related Marrow Changes in the Pelvis: MR and Anatomic Findings[J]. Radiology, 1992, 183(1): 47.
- [6] Zawin JK, Jaramillo D. Conversion of Bone Marrow in the Humerus, Sternum, and Clavicle: Changes with Age on MR Images[J]. Radiology, 1993, 188(1): 159.
- [7] Yamada M, Matsuzaka T, Uetani M, et al. Normal Age-related Conversion of Bone Marrow in the Mandible: MR Imaging Findings[J]. AJR, 1995, 165(4): 1223.
- [8] Wilson AJ, Hodge JC, Pilgram TK, et al. Prevalence of Red Marrow Around the Knee Joint in Adults as Demonstrated on Magnetic Resonance Imaging[J]. Acad Radiol, 1996, 3(3): 550.
- [9] 吴振华, 杨本强, 潘诗农, 等. 正常腰椎骨髓的 MRI 分型及定量研究初探[J]. 中华放射学杂志, 1995, 29(4): 385.
- [10] Taccone A, Oddone M, Occhi M, et al. MRI "road-map" of Normal Age-related Bone Marrow. I. Cranial Bone and Spine[J]. Pediatr Radiol, 1995, 25(3): 588.
- [11] Sebag GH, Dubois J, Tabet M, et al. Pediatric Spinal Bone Marrow: Assessment of Normal Age-related Changes in the MRI Appearance[J]. Pediatr Radiol, 1993, 23(3): 515.
- [12] Wu Z, Yang B, Pan S, et al. MRI Evaluation of Bone Marrow of Normal Lumbar Vertebra in the Chinese: Normal Patterns and Preliminary Quantitative Study[J]. Chin Med J, 1999, 112(9): 646.

(收稿日期: 2007-02-06 修回日期: 2007-03-13)

《放射学实践》第七届全国放射学术会议通知(首轮)

中华医学会放射学分会、青海省医学会放射学分会与本刊共同举办的第七届全国放射学术会议拟定于 2007 年 8 月在青海省西宁市召开。届时将邀请国内知名医学影像学专家进行专题讲座(具体时间、地点见第二轮通知)。有关事项通知如下:

1. 征文内容:各系统医学影像学新进展;医学影像学新技术及临床应用;影像科室的现代化管理、质量控制与数字化建设;国内外影像学术和科研动态。

2. 征文要求:①论文须附 500 字左右的中文摘要,其它文章以 3000 字为宜;②所有文章均应未在公开刊物上发表,作者姓名、单位、通讯地址、邮政编码、联系电话及电子邮件信箱应标注清楚,征文须附单位证明加盖公章;③来稿应采用打印稿并附软盘(文件格式为 Word 文档)或发送 E-mail;④请在信封上注明“会议征文”字样。文稿请寄:430030 湖北省武汉市解放大道 1095 号 同济医院《放射学实践》编辑部;⑤征文截稿日期:2007 年 6 月 30 日。

3. 会议形式:专家讲座、论文交流、学术讨论等。

征文经专家评审后将编入《论文汇编》,优秀论文全文发表于《放射学实践》正刊或增刊,论文发表另行收取版面费。征文作者将被邀请作为正式代表参加学术会议。出席会议者可获得国家级继续教育 I 类学分 8 分。

凡参加学术会议的同志请认真填写报名回执(详告工作单位、地址、电话/传真、电子邮箱等),务必于 2007 年 6 月 30 日前将回执寄至本刊编辑部。收到回执后编辑部发正式会议通知,详告具体事宜。

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