

MR 波谱于脊髓创伤的应用

· 综述 ·

贾宁阳, 常恒 综述 肖湘生 审校

【中图分类号】R445.2; R744 【文献标识码】A 【文章编号】1009-0313(2003)09-0685-02

1946 年美国 Purcell 和 Bloch^[1,2] 首次发现核磁共振现象, 而后 1973 年~ 1974 年 Moon, Richartl 和 Hoult 开始应用 MR 对离体标本进行波谱测定。近年来 MR 波谱(magnetic resonance spectroscopy, MRS) 从实验研究转入临床应用阶段。本文仅就 MRS 基本原理及其于脊髓创伤的应用作一综述。

MRS 基本原理

MRS 是利用 MR 成像和化学位移作用进行特定化合物系列分析的方法。当用一定频率的射频脉冲(radio frequency pulse, RF) 依次激发被测物体, 所产生自由感应衰减(free induction decay, FID) 信息经傅立叶变换(Fourier transfer, FT) 形系列波峰组成的波谱, 各波峰面积与被测物浓度成正比。MRI 与 MRS 不同在于: MRI 抑制其化学位移; 而 MRS 利用化学位移中微小变化来采集信息, 因此外加磁场必须非常均匀。

MRS 空间定位技术(spatial localization methods)

MRS 对磁场均匀性要求很高, 所测兴趣区磁场不均匀必须 $< 0.1\text{ppm}$, 因此 MRS 定位技术显得十分重要。所谓定位技术即将原始信号处理至设定范围内, 以提高采集时信号, 减少容积效应。目前 ^1H 谱最小达 1ml , ^{31}P 达 8ml ^[3]。常用空间定位技术有: ①深部分辨表面线圈技术(depth resolved surface coil spectroscopy, DRESS) 较为简单^[4], 应用选择性脉冲激发一定距离的单一层面, 并进行数据采集。②激励回波探测法(stimulate echo acquisition method, STEAM) 通过较短的回波时间测量代谢, 所得像素分辨率较高^[5], 缺点为所得信号弱, 对观察微小代谢样本十分困难。③点分辨波谱分析法(point resolved selective spectroscopy, PRESS) 采用自旋回波序列以提高对样品的搜集^[6], 其优势为与 STEAM 相比有较高的信噪比。④选择性激励技术(selective excitation technique): 通过梯度脉冲并利用相位循环以消除非兴趣区信号, 从而达到空间定位, 多用于颅脑检查^[7,8]。⑤化学位移成像(chemical shift imaging, CSI) 可同时编码多个像素^[9], 通常进行化学位移序列数据采集时必须要保持高场强的均匀。

MRS 成像技术

单体积波谱分析(single volumn spectroscopy): 当定位区域较小时可通过局限性容积敏感性匀场以补偿磁场不均匀性。目前, ^1H 谱使用 SVS 基于自旋回波(spin-echo, SE) 序列及激励回波(STEAM) 的空间定位技术。

化学位移成像(chemical shift imaging, CSI): CSI 主要用于对于脑部、肝脏、心脏的磷谱。保证一次测量同时获得多个定

位范围, 在测量条件微小变化下, 来自于全部平面或容积的信号可多次测量。测量后可通过附加傅立叶转换而获得频率信号。由于 CSI 数据常常来自邻近像素, 正常与异常的频谱可以对比。另一优点为测量后相位编码方向上像素的位置可移位。其缺点为当测量较大体积时磁场的不均性, 尤其表现为 ^1H CSI 程序。

杂合技术(hybrid techniques): 当采用 CSI 技术用于 ^1H 时, 乳酸盐与脂肪的化学位移相同, 皮下脂肪中高浓度的质子与较短的 T_1 弛豫时间使脂肪信号远远高于乳酸盐的信号。此技术(如 STEAM-CSI 或 SE-CSI) 可用以预防皮下脂肪的干扰。

MRS 在脊髓损伤中应用

MRS 作为检测脊柱脊髓组织内化学成分的方法, 通常使用的为 ^1H 、 ^{31}P 谱。国外研究采用 ^1H 及 ^{31}P 谱 MRS 通过检测细胞内游离 Mg^{2+} 浓度来测定其变化规律, 发现伤后 2h 细胞内游离 Mg^{2+} 浓度明显减低, 同时组织内 Mg^{2+} 及 K^+ 总浓度均减低, 而水及 Na^+ 含量未见变化^[10]。

1. MR 氢谱于脊柱脊髓创伤中的应用

通常 MRS 包括氢谱(质子波谱)、磷谱、钠谱、碳谱、锂谱等, 其中磷谱被认为测量价值较大, 但由于其测量时所需特殊配件且对于所测病变兴趣区最小范围为 8ml , 限制了其应用; 而质子波谱对于硬件要求不高, 仅需 1.5T MR 及表面线圈, 并可允许像素小至 1ml , 许多研究发现质谱与磷谱测量结果的大量信息密切相关。

^1H 普遍存在于活体分子中, 敏感度高, 可用以测量体内许多微量代谢产物, 如 N-乙酰门冬氨酸(NAA)、胆碱(Cho)、肌酸(Cr)、谷氨酸(Glu)、乳酸(Lac)、谷氨酰胺(GLN)、 γ -氨基丁酸(GABA) 等。其中 NAA 浓度较高, 主要存在于神经元中, 是氢谱最重要的波峰, 它的改变可表示神经元的性质, 被认为是神经元的标志物^[11]。在急性神经组织创伤后活体及离体实验中, NAA 水平的减低可作为神经元缺失的最佳指标; Cho 复合物位于 3.2ppm 处, 在活体 MRS 中主要包括甘油磷酸胆碱(GPC)、甘油磷酸氨基乙醇(GPE) 并组成甘油磷脂细胞膜双分子层, 其作为细胞膜重要成分较多存在于某些肿瘤类型; Cr 波峰通常出现在 3.02ppm 处, 包含了人体代谢基本过程的有关肌酸的反应酶, 氢谱常反映磷酸肌酸与肌酸两方面的代谢, 而磷谱则直接反映肌酸代谢; LAC 是糖酵解的主要代谢产物, 在 1.33ppm 处出现重叠峰, 其含量改变可反映无氧酵解的主要代谢产物, 提示能量交换。

Vink 等^[12] 采用 ^1H 谱 MRS 检测兔脊髓严重创伤截瘫后, 发现乳酸进行性积聚, 细胞内 pH 值下降、高能磷酸产物的代谢减少, 创后 2~3h 出现此改变, 并维持 4h, 而 2 周后组织病理则提示组织坏死、空洞。这些均提示脊髓组织创伤后早期 MRS 代谢改变已提示某种不可逆的组织损伤。

作者单位: 200003 上海, 第二军医大学附属长征医院影像科
作者简介: 贾宁阳(1972~), 男, 上海人, 博士, 主治医师, 主要从事骨关节诊断与介入诊疗。

作者采用 SVS 技术,选用 STEAM 定位序列初步研究了创伤后颈髓的活体状况下的代谢变化^[13]。研究的代谢介质包括: NAA、Cr、Cho 以及 Lac,发现创伤后颈髓损伤后的各波峰的不同变化,对于颈髓损伤可通过 NAA 的定量检测加以评价,同时发现对于颈髓损伤后 MRI 信号未见异常者,乳酸含量却发生增高,提示脊髓组织隐匿性损伤。

通常认为乳酸峰存在暗示糖类(carbohydrate)代谢发生而取代正常氧化呼吸反应^[14]。脊髓损伤后代谢变化之一即损伤处局部组织缺氧,改变脊髓对葡萄糖的正常应用,使需氧化转变为不需氧糖酵解,损伤处上、下方相当距离处乳酸盐含量也增高;而迅速引起的细胞水肿和缺血,由于血液灌注不良,其代谢产物无法带走,导致组织内乳酸盐聚集,脊髓的 pH 值减低,引起局部脊髓组织酸中毒,同时三磷酸腺苷(ATP)和磷酸肌酸(PC)的积聚可增加乳酸盐水平,引起高能代谢产物的减少;最后细胞内电解质不平衡引起脊髓神经细胞去极化改变而致神经传导受损。

2. MR³¹P 谱于脊柱脊髓创伤中的应用

P 在能量和磷质代谢中占重要地位,并参与细胞的能量代谢和生物膜有关的磷脂代谢,因此³¹P MRS 广泛应用在研究组织能量代谢和生化改变,常可测出 7 种共振峰:磷酸单脂(PME)、磷脂二脂(PDE)、磷酸肌酸(PCR)、无机磷(Pi)和 ATP 中的 A、B、Γ 磷原子。此不同波峰在不同组织、不同代谢状态时表现峰值高低^[15]。

国外学者^[16]应用 4.7T 高场 MR 的³¹P 波谱对猪脊髓进行活体测量,发现一种有关脊髓磷脂的共振峰,可进一步用于脊髓物理性创伤和局部缺血性损伤的研究。同样 Akino^[17]用³¹P MRS 进行动物脊髓创伤代谢测定后发现 ATP、PCr 及与髓脂相关峰的含量减低,同时 Pi 升高。结果证明活体脊髓创伤后组织高能磷酸物损失。

当前用于医学领域的有¹H、³¹P、¹³C、²³Na、³⁹K、¹⁴N、¹⁵N、¹⁹F 等波谱,最常用的为前两种波谱。是目前对人体唯一无损伤以研究组织器官功能代谢及化合物定量分析的有效方法。此技术已用于神经系统、肝脏、心脏及泌尿生殖系统的多种疾病诊断及组织代谢的研究。

注:1ppm= 1/1 000 000

参考文献:

- [1] Purcell EM, Torrey HC, Pound RV, et al. Resonance absorption by nuclear magnetic moments in a solid[J]. Phys Rev, 1946, 69(1): 37-38.
- [2] Bloch F, Hansen WW, Packard ME. Nuclear induction[J]. Phys Rev, 1946, 69(1): 127.

- [3] William GN, Truman RB, Tefferey LE, et al. Proceedings of a National Cancer Institute Workshop: MR spectroscopy and tumor cell biology[J]. Radiology, 1992, 185(3): 875-885.
- [4] Bottemley PA, Foster TB, Darrow RD. Depth-resolved surface-coil spectroscopy (DRESS) for in vivo H, P and C NMR[J]. J Magn Reson, 1984, 59(2): 338-342.
- [5] Framm J, Merboldt KD, Hancinck W. Localized proton spectroscopy using stimulated echos[J]. J Magn Reson, 1987, 72(3): 502-508.
- [6] Lampman D, Murdoch JB, Paley M. In vivo proton metabolite maps using the MESA-3D technique[J]. Magn Reson Med, 1991, 18(1): 169-180.
- [7] Ordidge RJ, Conolly A, Lohman JAM. Image selected in vivo spectroscopy (ISIS): a new technique for spatially selective NMR spectroscopy[J]. J Magn Reson, 1986, 66(2): 283-294.
- [8] Luyten PR, Holander JA. H MR spatially resolved spectroscopy of human tissues in situ[J]. Magn Reson Imaging, 1986, 4(3): 237-239.
- [9] Brown TR, Kincaid BM, Ugurbil K. NMR chemical shift imaging in three dimensions[J]. Proc Natl Acad Sci USA, 1982, 79(11): 3532-3536.
- [10] Vink R, Yum SW, Demeduke P, et al. Traumatic spinal cord injury in rabbits decreases intracellular free magnesium concentration as measured by ³¹P MRS[J]. Brain Res, 1989, 490(1): 144-147.
- [11] Briken DL, Oldendorf WH. N-acetyl-L-aspartic acid: a literature review of a compound prominent in H-NMR spectroscopic studies of brain[J]. Neurosci Biobehav Rev, 1989, 13(1): 23-31.
- [12] Vink R, Noble LJ, Knobloch SM, et al. Metabolic changes in rabbit spinal cord after trauma: magnetic resonance spectroscopy studies[J]. Ann Neurol, 1989, 25(1): 26-31.
- [13] 贾宁阳, 王晨光, 肖湘生. 急性脊髓损伤 MRS[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2001, 7(6): 370-374.
- [14] Locke GE, Yashon D, Feldman RA. Ischemia in primate spinal cord injury[J]. J Neurosurg, 1971, 34(5): 614-617.
- [15] Steven RL, Helsen JA, Welch KM, et al. Human focal cerebral ischemia: evaluation of brain pH and energy metabolism with P NMR Spectroscopy[J]. Radiology, 1992, 185(2): 537-544.
- [16] O'Donnell JM, Akino M, Zhu H, et al. Phosphorus-31 nuclear magnetic resonance spectroscopy of the spinal cord in the pig, rat, and rabbit[J]. Invest Radiol, 1996, 31(3): 121-125.
- [17] Akino M, O'Donnell JM, Robitaille PM, et al. Phosphorus-31 magnetic resonance spectroscopy studies of pig spinal cord injury: Myelin changes, intracellular pH, and bioenergetics[J]. Invest Radiol, 1997, 32(7): 382-388.

(2002-10-21 收稿 2003-01-17 修回)

《放射学实践》编辑的《第三届全国放射学术会议论文汇编》共收录论文近 300 篇,其中含 13 篇专家讲座,包括《MRI of human carotid atherosclerosis》(Chun Yuan)、《弥散加权成像原理及临床应用》(冯晓源)、《肺内微小结节和 GGO 灶的 MSCT 检查》(肖湘生)、《脑梗死前期脑局部微循环障碍的 CT 灌注成像:实验研究和临床研究》(高培毅)、《甲状腺功能亢进的介入治疗》(杨建勇)、《胰腺癌的多层螺旋 CT 检查》(陈克敏)、《肺内多发小结节病变的 HRCT 诊断》(马大庆)、《多层螺旋 CT 在心血管疾病诊断的应用》(梁长虹)、《肝脏结节性病变的影像学和相关病理学表现》(宋彬)、《颈部间隙疾病的影像诊断》(徐坚民)和《磁共振成像在腹部器官移植的应用》(夏黎明)。本汇编资料翔实,装帧精美(彩色封面,铜版纸印刷,336 页)。定价:60 元/册(含邮资)。

另:我部装订了少量 2002 年合订本,如有需要者可按定价 58 元(含邮资)向我部邮购。2002 年各期杂志,定价 8 元/期。欢迎订购!