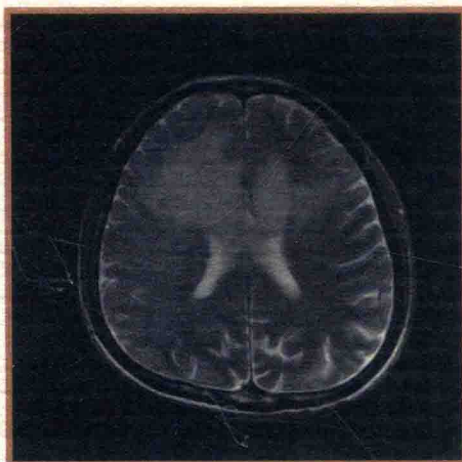
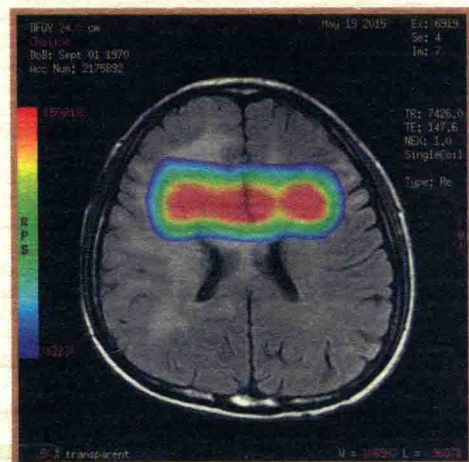
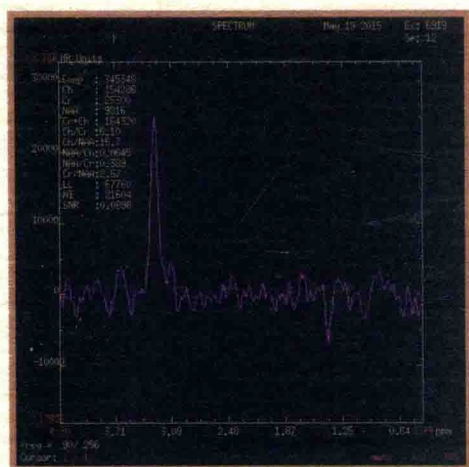




中枢神经系统 磁共振波谱诊断学

主 编 张 明
副主编 李 敏 周俊林 金晨望
王 渊 闵志刚



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

中枢神经系统 磁共振波谱诊断学

主 编 张 明

副主编 李 敏 周俊林 金晨望 王 渊 闵志刚

秘 书 张秋丽

编 委 (按姓氏笔画排序)

丁 墩	马鸣岳	王 涛	王红梅	牛 晨
毛翠平	代 勤	包发秀	朱亚男	全亚洲
刘 宏	刘光耀	闫 斌	闫新成	孙亲利
李 康	李文菲	李咏梅	李海燕	李晨霞
宋建勋	张 艳	张 婧	张 莉	张 燕
张华文	张宇辰	张秋丽	张晓娜	范好欣
赵 君	秦峰刚	徐 敏	徐田勇	郭丽萍
郭晨光	常 荣	银小辉	麻少辉	蒋 健
韩 博				



西安交通大学出版社

XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

中枢神经系统磁共振波谱诊断学/张明主编. —西安:
西安交通大学出版社, 2015. 7
ISBN 978-7-5605-7463-9

I. ①中… II. ①张… III. ①中枢神经系统疾病—
磁共振—诊断学 IV. ①R741.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 129187 号

书 名 中枢神经系统磁共振波谱诊断学
主 编 张 明
责任编辑 吴 杰

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)
网 址 <http://www.xjtupress.com>
电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)
(029)82668315(总编办)
传 真 (029)82668280
印 刷 中煤地西安地图制印有限公司

开 本 889mm×1194mm 1/16 印张 35 字数 923 千字
版次印次 2015 年 11 月第 1 版 2015 年 11 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5605-7463-9/R·893
定 价 286.00 元

读者购书、书店添货,或发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。
订购热线:(029)82665248 (029)82665249
投稿热线:(029)82665546

版权所有 侵权必究

前言

Preface

磁共振波谱 (magnetic resonance spectroscopy, MRS) 是目前唯一能够直接测定人体组织内化合物含量, 且在活体上观察细胞代谢变化的一种无创伤性技术。与传统的磁共振成像 (magnetic resonance imaging, MRI) 以图像对比显示人体断面结构不同, MRS以化合物含量或单质的化学位移分布曲线来显示检测结果。自1995年MRS被获准运用于临床以来, 随着MRI技术的不断发展和MRS相关技术的不断成熟, 其在临床诊断上的应用范围越来越广泛, 尤其在中枢神经系统中。

在中枢神经系统疾病的影像学诊断中, 判别病灶位于脑内还是脑外, 是肿瘤性的还是非肿瘤性的, 以及单发环形强化病灶的类别等具有非常重要的临床意义, 而基于常规影像学检查常难以做出准确判断, MRS技术的应用可使上述问题迎刃而解。因此, MRS作为常规MRI检查基础之上的一种有力信息补充, 可以更为全面地揭示病变特性, 以达到准确诊断。然而, 目前MRS技术在我国多数医院内开展较少甚至未开展。其中原因多样, 比如缺乏高场强MRI设备, 对MRS的临床应用价值存在疑问, 对MRS的扫描和谱线解读掌握得不够深入等。但在近5年, 我国各级医院高场强MRI设备已相当普及, 甚至部分乡镇级医院也已安装, 均可开展MRS的临床应用。而相对于机器设备的普及, 国内尚缺乏综合性讲解MRS的专业书籍, 部分诊断或技术类图书中虽涉及到MRS, 但阐述得均不够深入, 从而阻碍了MRS技术的传播和临床应用。

本书由国内三十余位专家、学者和研究生参加编写, 共9章。第1章介绍了MRS的基础知识和技术, 掌握这部分内容是做出有诊断价值谱线的前提。由于种种原因, 此次只介绍了采用GE公司和Philips公司磁共振设备进行MRS扫描和数据后处理的方法, 今后将补充其他公司机型的相关内容。第2~8章分别介绍了MRS在中枢神经系统各类疾病的诊断和鉴别诊断中的应用, 如肿瘤性、代谢性、感染性病变等, 除了突出MRS表现, 还对病变的其他影像

前言

Preface

学表现加以阐述，以便于整体把握MRS在疾病中的具体应用。此外，还针对不同疾病阐述了MRS的技术要点，这样有利于做出更有诊断价值的谱线。第9章总结了常见代谢物异常的鉴别诊断，适合于在临床工作中进行查阅。在本书各小节的后部，我们均附有相关内容最新的和经典的参考文献，供读者参考和查阅。鉴于此，我们经过2年多的准备编写此书。

本书中部分图片得到 American Journal of Neuroradiology, American Journal of Roentgenology, Neurosurgical Review, Neuroimaging Clinics of North America, Magnetic Resonance Imaging, Pediatric Radiology, Neuropediatrics, Clinical Imaging, Molecular Genetics and Metabolism, Neurological Sciences, Neuromuscular Disorders, Epilepsia, Neuroradiology, 《中华放射学杂志》，《中国医学影像技术》，《临床放射学杂志》，《实用放射学杂志》等期刊社，以及吴仁华教授、杨忠现主治医师、孙松林医师等专家学者的授权使用，在此表示诚挚的感谢！

衷心感谢国家科学技术学术著作出版基金对本书出版的资助！

对于各个疾病的附图，我们努力做到能涉及到各种机型，让采用不同机型的读者都能看到熟悉样式的谱线。然而，各编者所在单位只有某一家公司的MRI设备，因此，书中各小节所附图片样式上不够丰富。

囿于作者的知识结构和临床经验，本书中一定还存在错误和不足之处，真诚希望各位专家、学者批评和指正，并请来信至zhangming01@xjtu.edu.cn提出您的宝贵建议，以便我们再版时进一步完善。

张明

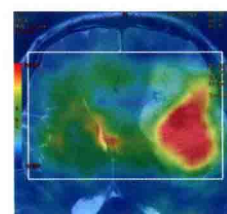
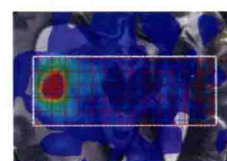
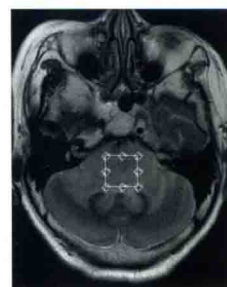
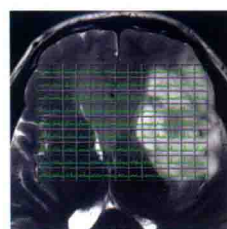
2015年9月10日

目录 Contents

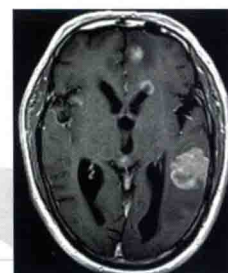
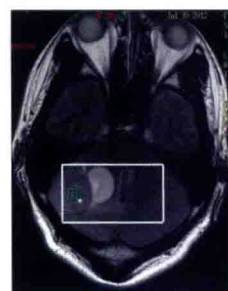
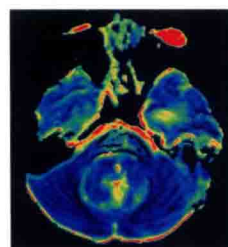
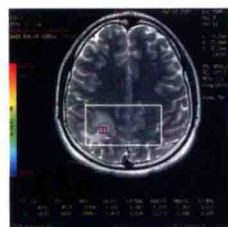
第1章 概述

- 1.1 简介
- 1.2 成像原理
 - 1.2.1 原子核
 - 1.2.2 化学位移现象
 - 1.2.3 J -耦合
- 1.3 成像技术
 - 1.3.1 定位方法
 - 1.3.2 数据采集
 - 1.3.3 数据处理
 - 1.3.4 MRS伪影
- 1.4 谱线分析
 - 1.4.1 谱线
 - 1.4.2 代谢化合物
 - 1.4.3 代谢物随年龄的变化
 - 1.4.4 不同场强的比较
 - 1.4.5 不同TE对谱线的影响
- 1.5 GE MRS扫描及后处理
 - 1.5.1 MRS扫描
 - 1.5.2 MRS后处理
- 1.6 飞利浦MRS扫描及后处理
 - 1.6.1 MRS扫描
 - 1.6.2 MRS后处理

002
004
004
005
006
007
007
011
012
012
017
017
018
021
022
022
024
024
028
036
036
038



目录 Contents



050
050
054
060
061
072
080
090
097
103
108
114
114
122
126
126
135
137
140
141
144
145
148
148
155
161
168
168
170

第2章 颅内肿瘤

2.1 概述

2.1.1 成像技术

2.1.2 谱线解读

2.2 星形细胞肿瘤

2.2.1 弥漫性星形细胞瘤

2.2.2 间变性星形细胞瘤

2.2.3 胶质母细胞瘤

2.2.4 毛细胞型星形细胞瘤

2.2.5 大脑胶质瘤病

2.2.6 多形性黄色星形细胞瘤

2.2.7 室管膜下巨细胞型星形细胞瘤

2.3 少突胶质细胞肿瘤

2.3.1 少突胶质细胞瘤

2.3.2 间变性少突胶质细胞瘤

2.4 室管膜肿瘤

2.4.1 室管膜瘤

2.4.2 间变性室管膜瘤

2.4.3 室管膜下瘤

2.5 脉络丛肿瘤

2.5.1 脉络丛乳头状瘤

2.5.2 非典型性脉络丛乳头状瘤

2.5.3 脉络丛癌

2.6 神经元和混合神经元-神经胶质肿瘤

2.6.1 节细胞胶质瘤

2.6.2 中枢神经细胞瘤

2.6.3 胚胎发育不良性神经上皮瘤

2.7 松果体肿瘤

2.7.1 松果体细胞瘤

2.7.2 松果体母细胞瘤

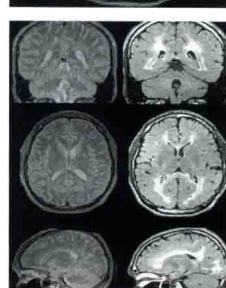
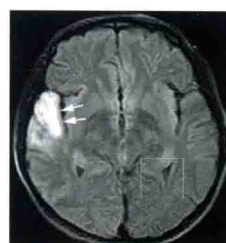
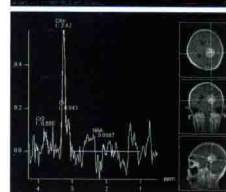
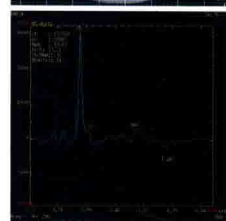
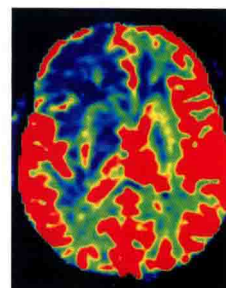
目录 Contents

- 2.8 胚胎性肿瘤
 - 2.8.1 髓母细胞瘤
 - 2.8.2 原始神经外胚层肿瘤
 - 2.8.3 非典型畸胎瘤样/横纹肌样瘤
- 2.9 脑膜肿瘤
 - 2.9.1 脑膜瘤
 - 2.9.2 血管外皮细胞瘤
- 2.10 生殖细胞肿瘤
 - 2.10.1 生殖细胞瘤
 - 2.10.2 畸胎瘤
- 2.11 淋巴瘤
- 2.12 脑转移瘤
- 2.13 MRS在脑肿瘤诊疗中的应用
 - 2.13.1 肿瘤和非肿瘤性病变的鉴别
 - 2.13.2 原发肿瘤和转移瘤的鉴别
 - 2.13.3 肿瘤分级的评估
 - 2.13.4 肿瘤浸润的评价
 - 2.13.5 肿瘤进展的评价
 - 2.13.6 肿瘤治疗的评价

第3章 代谢性/变性疾病

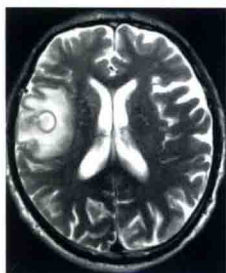
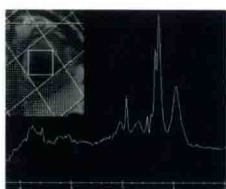
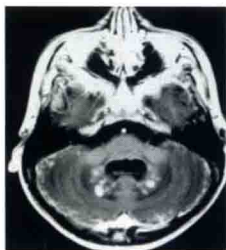
- 3.1 线粒体脑肌病
- 3.2 肝豆状核变性
- 3.3 肝性脑病
- 3.4 肾上腺脑白质营养不良
- 3.5 海绵状脑白质营养不良
- 3.6 亚历山大病
- 3.7 溶酶体贮积症
- 3.8 异染性脑白质营养不良
- 3.9 球状细胞脑白质营养不良

- 172
- 173
- 183
- 192
- 202
- 202
- 215
- 224
- 224
- 232
- 239
- 250
- 267
- 267
- 276
- 282
- 290
- 297
- 301



- 314
- 317
- 319
- 323
- 327
- 330
- 334
- 338
- 341

目录 Contents



343
347
350
352
356
358
361
365
369

373
373
378
387
387
390
391
391
394
394
395
396
399
399
400
400
404
405

- 3.10 半乳糖血症
- 3.11 苯丙酮尿症
- 3.12 甲基丙二酸血症
- 3.13 钴胺素C缺乏症
- 3.14 溶血性尿毒症综合征
- 3.15 佩-梅病
- 3.16 中心性脑桥髓鞘溶解症
- 3.17 糖尿病酮症酸中毒
- 3.18 肌酸缺乏综合征

第4章 感染性疾病

- 4.1 细菌性感染
 - 4.1.1 化脓性脑脓肿
 - 4.1.2 脑结核
- 4.2 病毒性感染
 - 4.2.1 单纯疱疹病毒性脑炎
 - 4.2.2 丙型肝炎病毒感染后脑炎
 - 4.2.3 人类疱疹病毒感染后脑炎
 - 4.2.4 人类免疫缺陷病毒感染后脑炎
- 4.3 真菌性感染
 - 4.3.1 曲霉菌病
 - 4.3.2 新型隐球菌病
 - 4.3.3 毛霉菌病
 - 4.3.4 念珠菌病
 - 4.3.5 真菌性感染的MRS表现及鉴别诊断
- 4.4 寄生虫感染
 - 4.4.1 脑囊虫病
 - 4.4.2 脑包虫病
 - 4.4.3 脑弓形虫病

目录 Contents

第5章 缺血缺氧性疾病

- 5.1 动脉性脑梗死
- 5.2 静脉性脑梗死
 - 5.2.1 成年人静脉性脑梗死
 - 5.2.2 足月新生儿和早产儿的静脉性脑梗死
- 5.3 新生儿缺氧缺血性脑病

第6章 脱髓鞘性病变

- 6.1 多发性硬化
- 6.2 进行性多灶性白质脑病
- 6.3 弥漫性硬化
- 6.4 亚急性硬化性全脑炎
- 6.5 急性播散性脑脊髓炎
- 6.6 假瘤型脱髓鞘病

第7章 退行性疾病

- 7.1 痴呆
 - 7.1.1 阿尔茨海默病
 - 7.1.2 额颞叶痴呆
 - 7.1.3 血管性痴呆
- 7.2 锥体外系运动障碍性疾病
 - 7.2.1 帕金森病
 - 7.2.2 亨廷顿病
- 7.3 小脑、脑干和脊髓退行性疾病
 - 7.3.1 橄榄脑桥小脑退行性疾病
 - 7.3.2 Down综合征
- 7.4 运动神经元疾病

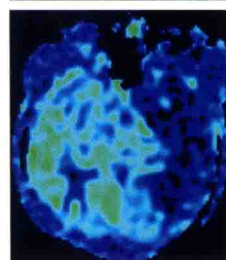
412

423

423

429

431



440

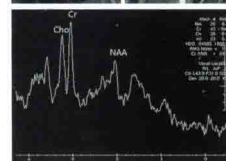
451

454

457

461

466



472

472

479

482

485

486

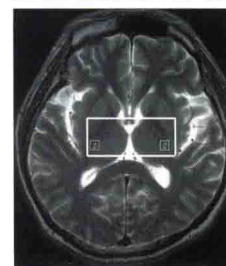
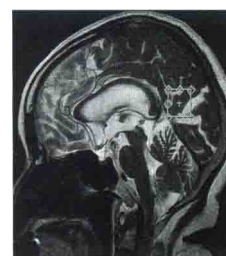
490

492

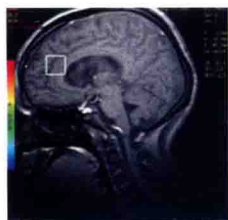
492

497

498



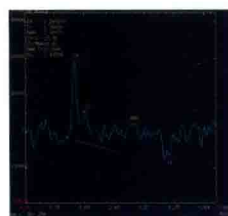
目录 Contents



507



512



525

526



527

528

529



529

530

531



532

532

533

533

534

543

547

第8章 癫痫

8.1 颞叶癫痫

8.2 特发性全身性癫痫

代谢物异常 第9章 鉴别诊断

9.1 NAA峰

9.2 Chol峰

9.3 Lac峰

9.4 Lip峰

9.5 Cr峰

9.6 ml峰

9.7 Glx峰

9.8 Ala峰

9.9 AAs峰

9.10 Ac峰

9.11 Suc峰

9.12 Tau峰

9.13 Cit峰

中文索引

英文索引

第1章

概述

磁共振波谱（magnetic resonance spectroscopy, MRS）是目前唯一能够直接测定人体组织内化合物含量、观察细胞代谢变化的无创伤性技术。经过近30年的发展，该技术在临床已得到广泛应用。在学习MRS临床应用之前，需对其原理、代谢物意义等基础知识有所掌握。

- 1.1 简介
- 1.2 成像原理
- 1.3 成像技术
- 1.4 谱线分析
- 1.5 GE MRS扫描及后处理
- 1.6 飞利浦MRS扫描及后处理

磁共振波谱(magnetic resonance spectroscopy, MRS)是目前唯一能够直接测定人体组织内化合物含量、观察细胞代谢变化的无创伤性技术。经过近 30 年的发展,该技术在临床已得到广泛应用。在学习 MRS 临床应用之前,需对其原理、代谢物意义等基础知识有所掌握。

1.1 简介

磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)是利用核磁共振原理检测原子核在磁场内所产生的电磁波,经数字化重建后绘制组织结构内部信息的成像技术,是继 CT 诞生之后医学影像学的又一次革命。1946 年,斯坦福大学 F. Block 博士(图 1-1-1)采用感应法^[1]和哈佛大学 E. M. Purcell 博士(图 1-1-2)采用吸收法^[2]分别独立地发现了核磁共振(nuclear magnetic resonance, NMR)现象,即静磁场中某些原子核可以吸收一定频率的射频电磁能量并产生共振,为现代的 MRI 技术建立了理论基础,并于 1952 年被授予诺贝尔物理学奖,以表彰他们发现了精密测量核磁共振信号的新方法。NMR 发展最初阶段的应用局限于物理学领域,主要用于测定原子核的磁矩等物理常数。1950 年, W. G. Proctor^[3]和 W. C. Dickinson^[4]发现处于不同化学环境的同种原子核具有不同的共振频率(化学位移现象),从而实现了 NMR 的频谱分析,并以连续波的形式记录,用于研究有机物质的分子结构和反应过程,这开拓了 NMR 在化学领域的应用,也为 MRS 在临床的应用奠定了基础。直到 1966 年,物理化学家 R. R. Ernst 和 W. A. Anderson 实现了脉冲傅里叶变换 NMR^[5],取得了 NMR 革命性的进步。由于对 NMR 波谱方法、傅里叶变换、二维谱技术的杰出贡献,1991 年 R. R. Ernst(图 1-1-3)被授予诺贝尔化学奖。1974 年, D. I. Hoult 等发表了完整分离的大鼠后肢³¹P 波谱^[6],这也是第一个组织内波谱结果。



图 1-1-1 Felix Block

费利克斯·布洛赫(1905-10-23—1983-12-10),瑞士物理学家

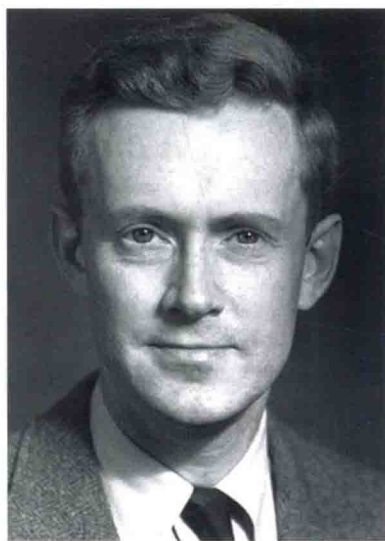


图 1-1-2 Edward M. Purcell

爱德华·米尔斯·珀塞尔(1912-08-30—1997-03-07),美国物理学家

1973 年,化学家 P. C. Lauterbur 在主磁场内引进梯度磁场进行空间定位,从而获得物质内部结构的二维图像^[7]。物理学家 P. Mansfield 进一步验证和改进了在稳定磁场中使用附加梯度场的理论,推动了其实际应用^[8]。引入梯度场和改进信号数学分析方法为 MRI 进入临床应用打下了坚实的基础。1980 年第一台用于临床的 MRI 扫描仪诞生于 R. Damadian 成立的 Fonar 公司,1984 年美国食品和药品管理局(FDA)批准了核磁共振成像技术的临床应用,从此揭开了人类临床医学领域应用核磁共振成像的新篇章。由于对 MRI 技术领域的突破性贡献, P. C. Lauterbur

(图 1-1-4)和 P. Mansfield(图 1-1-5)共同获得了 2003 年度的诺贝尔生理学或医学奖。

1985 年,在体氢质子 MRS(^1H -MRS)结果发表^[9],之后 10 年期间主要是技术上的发展,并于 1995 年实现了自动 MRS 检查流程,称为脑质子检查(proton brain examination, PROBE)^[10],不久 FDA 批准了 MRS 的临床应用。经过 20 年的临床应用, ^1H -MRS 在中枢神经系统(center nervous system, CNS)疾病中的诊断和鉴别诊断价值已得到很好的认识,尤其是在脑肿瘤、感染以及代谢疾病中的应用^[11]。本书介绍 ^1H -MRS 在中枢神经系统中的应用。^①

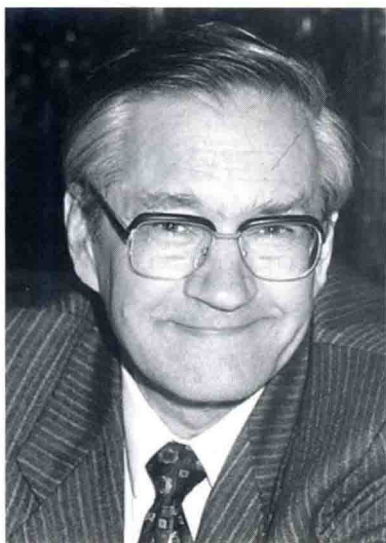


图 1-1-3 Richard R. Ernst
理查德·罗伯特·恩斯特(1933-08-14—),瑞士物理化学家



图 1-1-4 Paul C. Lauterbur
保罗·克里斯琴·劳特伯(1929-05-06—2007-03-27),美国化学家



图 1-1-5 Peter Mansfield
彼得·曼斯菲尔德(1933-10-09—),英国物理学家

参考文献

- [1] Bloch F, Hansen W W, Packard M E. Nuclear induction[J]. Phys Rev, 1946, 69(1-

^① 本书未作特殊说明处, MRS 即表示 ^1H -MRS。

2): 127.

[2] Purcell E M, Torrey H C, Pound R V. Resonance absorption by nuclear magnetic moments in a solid[J]. Phys Rev, 1946, 69(1-2): 37-38.

[3] Proctor W G, Yu F C. The dependence of a nuclear magnetic resonance frequency upon chemical compound[J]. Phys Rev, 1950, 77(5): 717.

[4] Dickinson W C. Dependence of the F^{19} nuclear resonance position on chemical compound[J]. Phys Rev, 1950, 77(5): 736-737.

[5] Ernst R R, Anderson W A. Applications of Fourier transform spectroscopy to magnetic resonance [J]. Rev Sci Instrum, 1966, 37(1): 93-102.

[6] Hoult D I, Busby S J, Gadian D G, et al. Observation of tissue metabolites using ^{31}P nuclear magnetic resonance[J]. Nature, 1974, 252(5481): 285-287.

[7] Lauterbur P C. Image formation by induced local interactions: examples employing nuclear magnetic resonance[J]. Nature, 1973, 242(5394): 190-191.

[8] Mansfield P, Grannell P K. NMR 'diffraction' in solids? [J]. J Phys C: Solid State Phys, 1973, 6(22): L422-L427.

[9] Bottomley P A, Edelstein W A, Foster T H, et al. In vivo solvent-suppressed localized hydrogen nuclear magnetic resonance spectroscopy: a window to metabolism? [J]. Proc Natl Acad Sci U S A, 1985, 82(7): 2148-2152.

[10] Moats R A, Watson L, Shonk T, et al. Added value of automated clinical proton MR spectroscopy of the brain[J]. J Comput Assist Tomogr, 1995, 19(3): 480-491.

[11] Oz G, Alger J R, Barker P B, et al. Clinical proton MR spectroscopy in central nervous system disorders[J]. Radiology, 2014, 270(3): 658-679.

1.2 成像原理

MRS 成像原理复杂,从临床应用角度来说,需了解其中的三个方面:①为什么常采用 1H 进行 MRS 成像;②化学位移现象;③ J -耦合。

1.2.1 原子核

尽管波谱成像已经历数十年的发展,但在临床上最常采用的还是 1H -MRS,这主要与 1H 的某些特性和成像设备有关。首先,与其他原子核相比, 1H 在人体组织内含量最为丰富、磁旋比最大(表 1-2-1),因此产生的信号最强。其次, 1H -MRS 成像所需信号的激发、空间定位、采集与常规 MRI 类似,在临床用 MR 扫描仪上即可实现。最后, 1H -MRS 所能显示的化合物种类更为广泛,更能适合对不同病变的诊断和鉴别诊断。当然,除 1H 外,人体内还有多种原子核也可被用于 MRS 成像,如 ^{31}P 、 ^{13}C 、 ^{17}O 、 ^{23}Na 等^[1-6]。要实现这些原子核的 MRS 成像,需特殊 MR 硬件支撑,成像时间也明显长于 1H -MRS,因此只在少数教学医院或研究中心能实现。

表 1-2-1 组织内原子核特性

核	磁旋比($\times 10^6 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{T}^{-1}$)	自旋量子数	自然丰度(%)
氢(1H)	267.513	1/2	99.98
磷(^{31}P)	108.291	1/2	100.00

续表 1-2-1

核	磁旋比($\times 10^6 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{T}^{-1}$)	自旋量子数	自然丰度(%)
钠(^{23}Na)	70.761	3/2	100.00
碳(^{13}C)	67.262	1/2	1.10
氧(^{17}O)	-36.264	5/2	0.04
氟(^{19}F)	251.662	1/2	100.00
锂(^7Li)	103.962	3/2	92.50

1.2.2 化学位移现象

在外加静磁场的作用下,原子核在自旋的同时还绕着静磁场轴进行旋转摆动,我们将这种旋转摆动称为进动(图 1-2-1)。

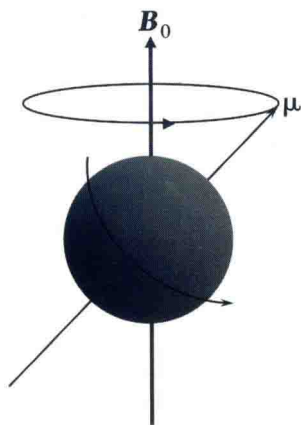


图 1-2-1 进动

原子核自旋的同时围绕静磁场(B_0)轴作旋转摆动。

进动的频率可由 Larmor 方程计算为:

$$\omega_0 = \gamma B_0 \quad (1-2-1)$$

或

$$\nu_0 = \frac{\gamma}{2\pi} B_0 \quad (1-2-2)$$

式中: ω_0 为进动频率, $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$; ν_0 为进动频率, Hz ; γ 为磁旋比, $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{T}^{-1}$,对于某一种磁性原子核来说是个常数,如 ^1H 的 γ 为 $267.513 \times 10^6 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{T}^{-1}$, $\gamma/2\pi$ 则为 $42.58 \text{ MHz} \cdot \text{T}^{-1}$; B_0 为外加静磁场的场强, T 。对于具体某一原子核,根据 Larmor 方程所计算得出的进动频率是一种理想化的频率,即完全裸露的原子核处于均匀的静磁场中。在实际环境中,原子核周围的电子还形成感应磁场,具有对抗外加静磁场的作用(图 1-2-2A),即屏蔽效应(shielding effect),使原子核受到的实际磁场强度小于外加磁场的强度,为 $(1-\sigma)B_0$ 。因此,在屏蔽效应作用下,原子核实际进动频率应为:

$$\nu = (1-\sigma) \frac{\gamma}{2\pi} B_0 \quad (1-2-3)$$

式中: ν 为实际进动频率, Hz ; σ 为屏蔽系数,表示屏蔽效应的大小,与核的自身特性和化学环境有关; γ 为磁旋比, $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{T}^{-1}$; B_0 为外加静磁场的场强, T 。核的化学环境指核所在的分子结

构。同一种核处在不同的分子中,或同一分子的不同位置,甚至不同的基团中,它周围的电子数和电子的分布将有所不同,受到相应的屏蔽程度 σ 也不同,因而表现出不同的进动频率。我们将这种在屏蔽效应的作用下不同化学环境引起同一原子核进动频率出现差异的现象称为化学位移(chemical shift)^[7]。

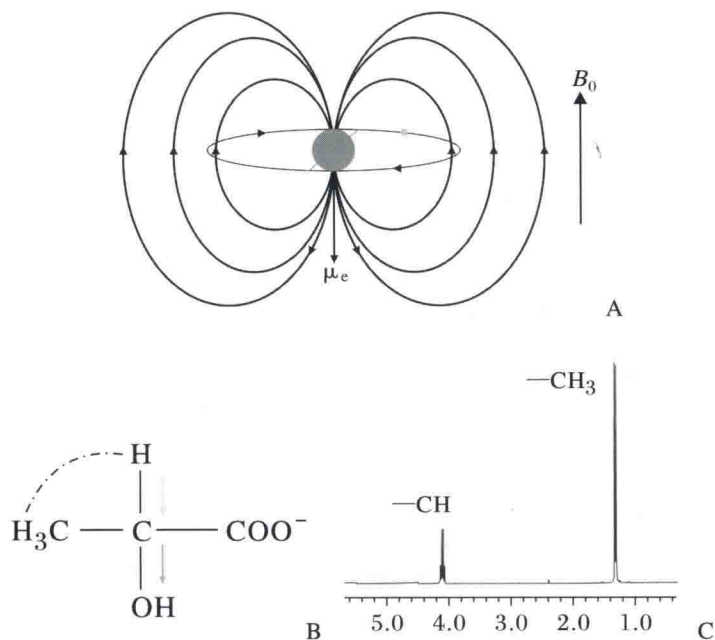


图 1-2-2 化学位移

原子核周围电子产生与 B_0 方向相反的感应磁场(A),减弱原子核所感受的磁场强度;乳酸分子中(B),电负性氧原子吸引电子,使 CH 上 ^1H 的屏蔽效应减弱更明显,比 CH_3 中 ^1H 具有更高的进动频率,这就可被 NMR 所检测并以谱线形式表现出来(C)。

化学位移是 MRS 成像的基础,正是由于不同化合物内 ^1H 之间存在着进动频率差异,表现出不同的共振吸收峰,MRS 才得以将不同化合物分辨开来(图 1-2-2B、C)。从公式 1-2-3 可以看出,化学位移与静磁场强度呈正比。场强越高,化学位移越明显,化合物越容易被区分。因此,临床上进行 MRS 成像必须在 1.0T 以上场强 MR 上完成,才能保证对不同化合物有足够的区分度和成像信噪比(signal noise ratio, SNR)。

由于不同化合物之间绝对的频率差难以记忆,且因静磁场场强不同而不同,实际意义并不直观,因此我们以相对值——百万分之几(parts per million, ppm)来表示这种差异(公式 1-2-4),那么化合物之间的频率差是恒定的,与静磁场场强无关。

$$\delta = \frac{\nu_i - \nu_{\text{ref}}}{\nu_{\text{ref}}} \times 10^6 \quad (1-2-4)$$

式中: δ 为化学位移,ppm; ν_i 为某个被测定化合物的频率,Hz; ν_{ref} 为参考化合物(内标)的频率,Hz。在 ^1H 和 ^{13}C 的 NMR 研究中通常以四甲基硅烷(tetramethylsilane, TMS)作为内标,并将其 δ 值设定为 0。脑组织内不含有 TMS,因此一般采用水或 N-乙酰基天门冬氨酸作为内标。

1.2.3 J-耦合

原子核自旋磁矩之间的相互作用称为 J-耦合(J coupling)^[8],也称为自旋-自旋耦合(spin-