

磁共振弥散加权及融合图像

——在肿瘤诊治中的应用

MR Diffusion-weighted and Infusion Imaging

——*Tumor Diagnosis and Treatment*

李志海 陈燕萍 杜端明 主编

世界图书出版公司

磁共振弥散加权及融合图像

——在肿瘤诊治中的应用

MR Diffusion-weighted and Infusion Imaging

——*Tumor Diagnosis and Treatment*

李忠海 陈燕萍 杜端明 主编

世界图书出版公司

上海·西安·北京·广州

主 编 李忠海 陈燕萍 杜端明

编 委 (按姓氏笔画排序)

邓白茹	广东省清远市人民医院
王 横	暨南大学附属广州复大肿瘤医院
卢晓丹	南方医科大学南方医院
朱记超	深圳市龙岗中心医院
李忠海	暨南大学附属广州复大肿瘤医院
张方璟	深圳市妇幼保健院
张 利	乌兰浩特市人民医院
张灵艳	南方医科大学第三附属医院
吴俊铠	南方医科大学南方医院
陈梓晴	暨南大学附属广州复大肿瘤医院
陈燕萍	南方医科大学南方医院
杜端明	深圳大学附属第一医院
周序琬	暨南大学附属广州复大肿瘤医院
杨振中	暨南大学附属广州复大肿瘤医院
杨 意	暨南大学附属广州复大肿瘤医院
唐姗姗	佛山市第一人民医院
徐 嫵	广州中医药大学第一附属医院
黄玉罡	暨南大学附属广州复大肿瘤医院
谭建儿	南方医科大学南方医院

序 一

我有幸先睹了李忠海医师等主编的书稿《磁共振弥散加权及融合图像——在肿瘤诊治中的应用》，心中一亮：这是一本十分贴合临床实际应用的影像学之作；更让我欣慰的是本书专门介绍并论述了磁共振 DWI 及融合图像在全身性肿瘤诊治中的应用，尚少见。

磁共振弥散加权成像（Diffusion weighted imaging, DWI）通过检测活体组织中水分子弥散运动受限的方向及其程度来反映病变组织功能的代谢情况，属于分子影像学范畴。由于在 DWI 图像上肌肉、血管等组织均呈低信号，而淋巴结、肿瘤等病变呈明显高信号易于辨认，故也称背景抑制磁共振弥散加权成像，或类 PET 成像；将背景信号明显抑制的 DWI 图像融合磁共振结构图像则形成同时显示解剖结构与功能代谢的融合图像，进一步提高磁共振的诊断效用。

随着 MRI 软硬件技术的发展，DWI 及融合图像已从最初仅应用于脑部病变发展到对全身病变的诊断。实践证明这种新技术既可以敏感地显示病灶，又可提供解剖定位信息，现已

广泛应用于肿瘤的诊断、分期、疗效评估以及对肿瘤复发的监测等，并具有价格低廉、无电离辐射、无需注射对比剂，全身快速扫描等多种优势。

本书分别从头颈部、呼吸、消化、泌尿生殖、骨肌系统，结合病例全面介绍了DWI及融合图像在肿瘤诊断与疗效观察中的应用，涉及病种多达47种，80个病例，802幅插图（手术病例大多配了病理图）。这些临床病例资料翔实可靠，令人欣喜。

当前像本书以病例为主线的“对病入图”的专著并不多见，所谓临床，就是临证、实践在患者之侧。本书作者均来自临床一线，在繁忙的日常工作之余，他们收集了如此多的影像学精美图片，又结合文献，进行了贴切的诠释，为广大临床医师的诊疗工作提供了最为简便的临证参考，这是十分难得的。

感谢并祝贺本书主编与各位编写者，他们为我国肿瘤放射学诊断做了一件十分有意义的工作。

我乐于向广大同道推荐，欣然作序。



解放军总医院放射科

2018/6/12 于北京

序 二

作为临床医生，我一直主张在诊疗工作中，要遵循“ABC”原则：A，有效的（Available）、B，简单的（Brief）、C，便宜的（Costless）。我赞赏磁共振弥散加权成像（DWI），就是因为它基本符合这个原则。

作为一种功能磁共振成像技术，DWI可反映水分子的扩散运动，能在分子水平对生物体的组织结构和功能状态进行评价，是当今唯一无辐射、无创伤性检测人体组织水分子扩散运动的影像检查方法。

DWI最早应用于神经系统的研究，随着医学物理学，尤其影像学的发展，又相继应用于全身各脏器病变，尤其肿瘤，并取得了日趋成熟的经验。根据我院应用于近万例肿瘤诊治的资料和经验，DWI至少具有下列优点——

★ 协助肿瘤诊断，包括定位，良、恶性肿瘤鉴别与TNM分期。DWI是利用水分子的弥散运动特性进行成像的，DWI使MRI对人体的研究深入到细胞水平的微观世界，反映着人体组织的微观几何结构以及细胞内外水

分子的转运等变化。因此，该项检测技术有助于恶性肿瘤的诊断。

★ 有助于治疗靶区的精确勾画：
手术、放射治疗和各种微创消融治疗，都需要明确治疗靶区。治疗前确定的靶区太小，会导致部分肿瘤组织遗漏；靶区太大，会加重对正常组织的损伤。因此，精确的靶区勾画是保证治疗质量的关键。DWI能清晰显示病灶的水分子运动受限的区域，从而能相当精准地确定恶性肿瘤的范围及其边界。

★ DWI能在形态学发生变化之前发现肿瘤内部的功能性改变。存活的肿瘤细胞胞膜完好，可以阻止水分子的扩散运动；细胞凋亡后，胞膜破裂，无法阻止水分子扩散运动，此时水分子自由无阻，以致坏死区肿瘤组织信号强度较存活肿瘤组织区明显降低。因此，DWI可用于评价疗效、预测复发、判断预后，有助于制定进一步治疗-康复策略和（或）方案。

★与PET/CT及CT不同，DWI没有放射损伤，这可能是DWI的优势所在。

临床工作面对的是人，不同的诊断技术各有所长所短，关键是按照病情恰当地选择和应用。在临床上，我常选择DWI，有时甚至有些偏爱。李忠海医师和他的团队，多

年来认真收集、保存和分析资料，以临床实践的图像（包括病理图像）为中心，与陈燕萍教授及其团队收集整理的诸多相关病历和文献资料，共同编著成《磁共振弥散加权及融合图像——在肿瘤诊治中的应用》，这无疑对肿瘤临床是一重大贡献。

除了本书各位作者的努力，资深编辑蔡平女士对文稿的归类、整合，对图、文的精心编排修改以及专家的认真审读功不可没，是他们的精心工作，才使本书以独树一帜的风貌面世。

感谢各位同事、同道以及支持本书出版的朋友。



暨南大学附属广州复大肿瘤医院

2018年6月于广州

前 言

磁共振弥散加权成像 (Diffusion weighted imaging, DWI) 是通过无创检测活体组织中水分子弥散运动受限的方向及其程度, 从而反映病变组织功能的代谢情况, 属于分子影像学范畴; 近年来, DWI 已广泛应用于临床。

在 DWI 图像上, 脂肪、肌肉及血管等组织均呈低信号, 而淋巴结、肿瘤等病变呈明显高信号, 因此 DWI 也称背景抑制磁共振扩散加权成像, 或类 PET 成像。

目前 DWI 已广泛应用于肿瘤的临床诊断与分期、疗效评估以及监测肿瘤复发……恶性肿瘤细胞繁殖旺盛, 水分子扩散明显受限, ADC (表现弥散系数) 值降低, DWI 呈高信号; 细胞繁殖越旺盛使得细胞密度越高, ADC 值降低越明显, 因此, DWI 有助于良、恶性肿瘤的鉴别。

DWI 对转移性淋巴结的检出率及诊断准确率均高于常规 MRI, 其还能监测疗效有助于及时完善或更改治疗方案。

将背景信号明显抑制的 DWI 图像与 MR 结构图像融合, 形成的融合图像, 既可以敏感地显示病灶, 又能提供一定

的解剖定位信息，进而为临床医师提供直观的肿瘤图像。DWI 及融合图像具有价格低廉，无电离辐射、无需注射对比剂，全身快速扫描等多种优势，故有较好的临床应用价值。

本书内容共分六章：首章简介了磁共振弥散加权成像及融合图像的原理、成像方法以及在肿瘤诊断与疗效评估中的作用；二至六章分别从头颈部、呼吸、消化、泌尿生殖、骨肌系统阐述了弥散加权成像及融合图像在各类肿瘤诊、疗中的应用。撰写内容以病例为纲，涉及 47 个病种，80 个病例，802 幅图像（大部分手术病例还配备了相应的病理图）。

本书收集的基本上都是肿瘤病例，且部分为肿瘤晚期病例，病情较复杂。将这些病例的 DWI 图像进行诠释，是一项艰苦的工作，对我们来说，是一次尝试。对于编写中存在的疏漏或不足，恳请广大读者指正，以便再版时完善。

目前，在 DWI 及融合图像在肿瘤诊断与治疗中的应用上，尚未见类似的专著发表，希望此书的出版，能对广大从事影像及相关科别的临床医师了解 DWI 及融合图像在肿瘤诊断与治疗中的作用有所助益。

李忠田 陈其华 杨明

2018 年 6 月

目 录

1	磁共振弥散加权及融合图像简介·····	001
1.1	弥散加权成像的基本原理·····	001
1.2	弥散加权成像在肿瘤诊断及疗效评估中的作用·····	003
1.3	弥散加权成像扫描方法及其参数·····	004
1.3.1	颌面、口咽、颈部·····	004
1.3.2	胸、腹、盆腔·····	004
1.3.3	乳腺·····	005
1.3.4	四肢·····	005
1.4	ADC 值测量及 DWI 融合图像后处理方法·····	005
1.4.1	ADC 值测量方法·····	005
1.4.2	DWI 融合图像·····	006
2	头颈部·····	008
2.1	鼻咽癌·····	008
2.1.1	鼻咽癌·····	008
2.1.2	鼻咽癌治疗后疗效观察·····	013
2.2	上颌窦癌·····	016
2.3	鼻窦淋巴上皮癌术后复发·····	019
2.4	口底癌·····	021
2.4.1	口底癌·····	021
2.4.2	口底癌治疗后复发·····	024
2.5	舌癌·····	028
2.6	扁桃体淋巴瘤·····	030
2.7	下咽癌（梨状窝癌）·····	033
2.8	喉癌放疗后复发·····	036

2.9	腮腺混合瘤	039
2.10	腮腺及颈部淋巴结转移性鳞癌	041
2.11	腮腺黏液表皮样癌治疗后复发	044
2.12	腮腺淋巴上皮癌	048
2.13	颅面骨多发淋巴瘤	051

3 呼吸系统 056

3.1	肺癌并肾上腺转移	056
3.2	肺癌治疗后	059

4 消化系统 062

4.1	食管癌	062
4.2	胃底贲门癌	064
4.3	直肠癌	067
4.3.1	直肠癌	067
4.3.2	直肠癌化疗后	070
4.4	肛管癌	073
4.5	肛周恶性肿瘤治疗后复发	075
4.6	间质瘤	077
4.6.1	胃肠道间质瘤（直肠）	077
4.6.2	胃肠道外间质瘤（腹腔）	080
4.7	原发性肝细胞癌	083
4.7.1	原发性肝细胞癌（结节型）	083
4.7.2	原发性肝细胞癌（巨块型）	086
4.7.3	肝癌肝移植术后肝内多发转移瘤	091
4.7.4	原发性肝细胞癌治疗后	093
4.8	肝胆管细胞癌	095
4.8.1	肝胆管细胞癌	095
4.8.2	肝门部胆管癌治疗后复发	099
4.9	肝脏转移瘤	102

4.10	肝脓肿	104
4.11	胰腺癌	106
4.11.1	胰腺癌并肝转移	106
4.11.2	胰腺癌	111
4.11.3	胰腺癌治疗后	117
4.12	胰腺实性假乳头状瘤治疗后	119
4.13	胰腺神经内分泌肿瘤治疗后	121
4.14	腹腔及腹膜后脂肪肉瘤治疗后复发	123
4.15	腹膜后肉瘤治疗后复发	126
4.16	腹膜后神经母细胞瘤治疗后复发	128
4.17	腹膜后促纤维组织增生性小圆细胞肿瘤治疗后复发	131
4.18	腹膜后淋巴瘤治疗后复发	133

5	泌尿生殖系统	139
5.1	肾细胞癌	139
5.2	肾盂癌	141
5.3	膀胱癌	144
5.4	前列腺癌	146
5.4.1	前列腺癌	146
5.4.2	前列腺癌术后复发	149
5.5	宫颈癌	153
5.5.1	宫颈癌	153
5.5.2	宫颈癌治疗后复发	157
5.6	卵巢癌	159
5.6.1	卵巢癌	159
5.6.2	卵巢癌治疗后复发	162
5.7	乳腺癌	165
5.7.1	乳腺癌	165
5.7.2	乳腺癌治疗后	174

6	骨骼及软组织·····	179
6.1	骨肉瘤治疗后·····	179
6.2	软骨肉瘤治疗后·····	184
6.3	脊索瘤术后复发·····	188
6.4	滑膜肉瘤治疗后·····	191
6.5	脂肪肉瘤术后复发·····	196
6.6	硬纤维瘤术后复发·····	199
6.7	横纹肌肉瘤·····	201

恶性肿瘤是导致人类死亡的主要原因，严重威胁着人类的生命健康。至 2012 年，全球每年约有 1410 万新发恶性肿瘤病例，预计在未来的 20 年内，这一数据将上升至 2200 万 / 年；而因恶性肿瘤死亡的人数预计将从 820 万 / 年上升至 1300 万 / 年^[1]。

恶性肿瘤是一种进展性疾病，肿瘤分期对临床治疗计划的制定及其预后的评估甚为重要；目前影像学检查在肿瘤分期、疗效评估以及肿瘤复发的监测等方面具有十分重要的作用。

常规的 CT 与 MRI 检查方法能很好地反映肿瘤组织内部结构及其与周围组织的关系等；然而，肿瘤早期仅表现为功能性或代谢性的改变，尚未见结构上的变化，此时常规 CT 与 MRI 检查的作用有限。

磁共振弥散加权成像（diffusion weighted imaging, DWI）通过无创检测活体组织中水分子弥散运动受限制的方向及程度，反映病变组织的功能代谢情况，属于分子影像学范畴。目前 DWI 已广泛应用于肿瘤诊断、疗效评估以及肿瘤复发的监测等方面。

1.1 弥散加权成像的基本原理

弥散（Diffusion）又称扩散，是指分子在内部热能的驱动下发生的一连串的随机碰撞及位移现象，也可称布朗运动（Brownian movement）。弥散是生物体内许多生理功能活动的一种重要物理过程，也是多种物质在体内转运的重要方式；生物组织内水分子的弥散主要包括细胞外弥散、细胞内弥散和跨膜弥散。病变过程中，所有改变细胞内、外空间的体积比，或改变细胞内、外空间物质的物理性质，或改变细胞膜本身性质的因素，均能影响水分子的弥散运动^[2,3]。DWI 即利用成像层面内各组织结构水分子弥散运动自由度的不同，形成具有不同对比度的图像，是目前唯一能无创探测活体内水分子弥散情况的影像学检查方法。

Stejskal 等^[4]（1965 年）将基于水分子弥散运动产生的磁共振信号转

换成可测量的磁共振成像技术。目前常用的成像技术是在 T_2 加权自旋回波序列 (spin echo sequence, SE 序列) 中某个方向上于 180° 射频脉冲的两侧加入两个对称的弥散敏感梯度场, 分别造成质子失相位和复相位。在该方向上固定 (没有位移) 的水分子, 两次弥散敏感梯度场造成的质子相位变化相互抵消, 不能引起磁共振信号的衰减; 在该方向上移动的质子因两次梯度场引起的相位变化不能相互抵消而导致失相位, 引起磁共振信号的衰减^[5]。

弥散加权图像的组织信号取决于相应 T_2 WI 信号强度和自由弥散引起的信号丢失程度, 其计算公式如下:

$$SI = SI_0 \times \exp(-b \times D) \quad (1-1)$$

SI 为施加弥散敏感梯度场后的组织信号强度; SI_0 为施加弥散敏感梯度场前的 T_2 WI 信号强度; D 为弥散系数, 代表的是一个水分子在单位时间内随机运动的平均范围, 单位: mm^2/s ; b 为弥散敏感系数, 单位: s/mm^2 , 代表的是弥散加权的程度, 获得 b 值, 即可计算组织的弥散系数 D。然而, 弥散加权成像还受到毛细血管灌注的影响, 其可产生类似的弥散效应^[6,7], 这种弥散加权图像很难测出真正的弥散系数 D, 因此, 通常将测量出的弥散系数称为表观弥散系数 (apparent diffusion coefficient, ADC)。

根据组织 ADC 值的不同而重建出来的图像称为 ADC 图。当水分子弥散运动受限时, ADC 值小, ADC 图呈低信号; 反之, 当水分子弥散运动增快时, ADC 值大, ADC 图呈高信号。而弥散加权图像 (DWI) 不仅具有因组织 ADC 值不同而形成的图像对比, 还包含因组织 T_2 弛豫时间不同所产生的 T_2 加权图像对比, 后者称为 T_2 透过效应 (T_2 shine through)。如: T_2 WI 高信号的病变, 若弥散明显受限, 因 T_2 透过效应, 病变在 DWI 图上的信号更高; 若弥散仅轻度受限, 此时很难判断 DWI 图上信号的升高是由于弥散受限还是 T_2 透过效应引起; 若弥散不受限, 有时 T_2 WI 高信号可与弥散不受限引起的低信号相抵消, 病变在 DWI 图上表现为等信号, 但 T_2 透过效应很明显时, 病变在 DWI 图上可表现为高信号。这几种情况仅依靠 DWI 图均难以判断病变的弥散真实情况, 因此, 对病变进行诊断时, 需要同时分析 T_2 WI、DWI 及 ADC 图。

DWI 成像质量与 b 值的选择密切相关; b 值越高, 对水分子弥散运动的检测越敏感, 但同时会降低图像的信噪比 (signal-to-noise ratio,

SNR), 且使用太高的 b 值会刺激受检者的周围神经; 低 b 值图像的 SNR 较高, 但对水分子弥散运动的检测不敏感, 且易受到局部组织微循环灌注的影响。另一方面, b 值的大小与 T_2 透过效应也有直接关系, b 值为 0 时, 弥散加权图像实际为 T_2 加权图像; b 值较低时, 回波时间 (time of echo, TE) 短, T_2 透过效应明显; b 值较高时, TE 长, T_2 透过效应小。弥散加权成像应根据不同的成像部位、成像序列和成像目的来选择合适的 b 值。

1.2 弥散加权成像在肿瘤诊断及疗效评估中的作用

在生物组织中, 细胞内空间存在膜结构、细胞器、大分子物质等天然阻碍, 导致细胞内空间水分子弥散运动受到的限制比细胞外空间水分子大得多, 因此细胞外水分子弥散运动对磁共振信号的改变起主导作用。正常组织细胞外空间大, 水分子弥散不受限; 肿瘤组织由于细胞密度增加, 细胞外空间缩小, 水分子弥散则受限; 此外, 肿瘤组织核质比较正常组织高, 细胞内空间缩小, 水分子弥散也受限。

在弥散加权成像中, 水分子弥散运动的存在会使磁矩发生改变, 导致 ADC 值升高, 磁共振信号降低; 反之, 水分子弥散运动受限, 则导致 ADC 值降低, 磁共振信号升高。肿瘤发生发展过程中, 当细胞密度增加, 但形态学尚未发生明显改变时, 常规磁共振无法检测出病灶; 而弥散加权成像则能灵敏地探测出细胞密度的改变, 对肿瘤的早期诊断具有重要价值。

弥散加权成像能灵敏地探测与诊断转移性淋巴结, 有助于临床治疗方案的制定。常规 CT 和 MRI 难以区分良性或转移性的淋巴结肿大, 也无法判断小淋巴结的良、恶性。多项研究^[8~10]表明, 转移性淋巴结的 ADC 值比良性淋巴结的 ADC 值低; 且 DWI 对转移性淋巴结的检出率及诊断的准确率均高于常规 MRI。

此外, 弥散加权成像在肿瘤疗效评估中也发挥着重要作用^[11]。有效的治疗手段, 如放疗、化疗或射频/冷冻消融以及不可逆性电穿孔等治疗方法, 能使肿瘤细胞坏死、数量减少、细胞膜通透性改变等, 可降低水分子弥散受限的程度, 使 ADC 值升高; 肿瘤残留或复发时相应区域细胞密度较大、细胞外间隙较小, 从而限制了水分子的弥散运动, 致 ADC 值降低。治疗后肿瘤细胞密度的改变往往早于肿瘤体积的变化, 在治疗期间通过弥散加权成像监测对肿瘤的疗效, 有助于及时完善或更改治疗方案。