

• 本刊专稿 •

磁共振功能成像的一个新技术
——扩散张量成像 Diffusion Tensor Imaging

徐家兴

【中图分类号】R445.2 【文献标识码】B 【文章编号】1000-0313(2002)02-0095-02

在新世纪,影像诊断已由形态学向形态及功能并重甚至融合发展。图像融合(Image fusion)已由软件的图像融合发展到硬件的一体化(如 CT 或多层 CT/PET 一体化)。功能磁共振(fMRI)是起步较早的(包括扩散、灌注和皮层激发),但近 1~2 年来,随着 ≥ 4 层的多层 CT 问世,功能性 CT(例如 CT 灌注)以其高分辨、高速度向 MR 挑战。但由于成像原理各异,MR 以其具有相位重聚及去相位的物理特性在扩散(以下简称 D)成像上占有无法替代的位置。

D 反映水分子的随机运动即布朗运动,只有在高性能梯度系统开发之后才能实际并有效地应用于临床并由脑扩展到其它部位,其脉冲序列也由原先的 SE T_2 WI,加上扩散敏感梯度发展到 SS GRASE、SS FSE、Line Scan(线扫描)DW、Spiral(螺旋)DW 到目前 SS SEPI— T_2 WI 而达到速度快,覆盖大部或全脑的程度。但在脑部(最先也是用的最多的部位)水分子的 D 为方向依赖性(即各向异性,anisotropic),随方向改变而变化,尤其在白质。这种白质的各向异性,首先是由于①轴突方向及髓鞘的影响,也受②轴层流③细胞外主体流动④毛细血管血流及⑤细胞内涌流等的影响。对梯度系统而言,除 D 敏感梯度外,压力梯度,温度梯度及离子作用均影响水分子运动。由于扩散加权成像基本上是 T_2 WI,因此,D 的参数 b 值也很重要,b 值过小,容易受 T_2 加权的影响即所谓 T_2 透射效应(T_2 Shine through),一般至少要达 b 值=1000(现 b 值已可作到 10,000 以上)。

D 的量化,只能用表观扩散系数(Apparent Diffusion Coefficient ADC)来表示,但这仅仅是沿一个 D 梯度方向因而受白质各向异性(以下简称 aniso)的影响,故一般沿 3 个正交梯度测量取其均值,消除了 aniso 的影响,即

$$ADC = ADC_{xx} + ADC_{xy} + ADC_{xz}$$

$$ADC_{yx} + ADC_{yy} + ADC_{yz}$$

$$ADC_{zx} + ADC_{zy} + ADC_{zz}$$

此矩阵取其对角线的数据并合并之即 $ADC_{xx} + ADC_{yy} + ADC_{zz}$ 除以 3 即反映 X、Y、Z 三个方向之间的相互作用,一般三者相乘并取乘积之立方根则获得仅与幅度大小相关而与方向无关的 ADC 值,是为 ADC 的各向同性(Isotropic 简称 Iso),可以用 ADC 图像表示,其信号强度即等于 ADC 值。

但扩散加权图像由于有 T_2 W 的对比成分在内,故实际上扩散加权图像= T_2 WI+ADC 对比,要去除 T_2 W 对比,还要用 b 值=0 的图像矫正即

$$DW \text{ Image/SE、EPI、} T_2 \text{ WI} = \text{指数图像(Exponential Image)}$$

$$(b = 0 \text{ Sec/mm}^2)$$

但是在指数图像或 ADC 图上,灰、白质由于 ADC 值比较接近,其间并不形成对比,即灰白质不能区分开,所以单个梯度方向的 D 为 aniso,三个方向合成一起成为 Iso。因此,要真正区分灰白质,要全面表达 D 性质,除沿 3 个正交方向测量 D 外,还要加上沿四面体的 3 个方向(Tetrahedral)形成综合。梯度编码 b 值也以 4000 为合适也即是扩散张量成像(Diffusion Tensor Imaging,以下简称 DTI),能完全显示 D 特性并区别灰、白质,除以图像显示外,还可获取以下数据:

- ①各向同性 ADC(Isotropic ADC)
- ②相对各向异性(Relative Anisotropy)
- ③部分各向异性(Fractional Anisotropy)
- ②和③均能清楚勾划出白质纤维。
- ④张量的本征值(Eigen value of tensor)(E_0 、 E_1 、 E_2)

作者单位: 100036 北京,中国人民解放军空军总医院放射科
作者简介: 徐家兴(1927~),男,上海人,教授,从事影像诊断工作。

用 DTI 能观察白质束的走向,绕行,交叉以及稀疏推挤、中断、破坏等异常表现,称为白质束成像(Tractography),其三维彩色编码显示对脑干处白质束复杂走行交叉,十分直观,是其它影像学方法无法作到的。白质束成像出现后即在临床上广为应用,在我国正在少数单位进行探索,而在国外已迅速推广,开拓了新的领域。如在急性及亚急性脑缺血时发现在脑白质,扩散下降 46%而在灰质仅为 31%。又如全各向同性(total anisotropy 或 A Sigma)的测量显示,连合白质的 A Sigma 最高,而投射和联系白质纤维的 A Sigma 逐渐减低,这与临床观察到的血管源性水肿蔓延时所遭遇的阻力呈平行关系,提示各向异性对脑白质的组织结构可能是敏感的,DTI 可显示微细的白质介割^[1]。目前作全脑 DTI,用单次激发 SSEPI 仅需 1 分钟,已达到临床实用阶段,又据 Virta A 等报道,用 DTI 对锥体束的扩散各向异性测量结果显示在大脑脚最高,延髓、桥脑次之。这是由于在大脑脚,白质纤维排列更为有序因而具有较高的各向异性。此外,随着年龄的增长,aniso 测值在大脑脚明显降低,但在延髓、桥脑却无变化,说明大脑脚的白质随年龄而发生变化^[2]。Tractography 在外伤中也证明很有帮助。Chiu L 报道外伤时常规 MRI 未发现异常而 tractography 显示白质束有缺失,解释了临床上外伤后记忆丧失的现象^[3]。DTI 在精神疾病例如精神分裂症的研究中也初见成效。Limko 等发现在精神分裂患者,白质显示各向异性降低,虽然白质容积并无异常说明白质束完整性受损。灰质则不然,尽管其容积已减少而各向异性仍无变化。上述的白质各向异性的异常,累及两侧大脑半球的所有脑叶。DTI 的进一步研究可能揭示精神分裂症的微细神经变化^[4]。

除脑部外,在人体其它部位 DTI 也有良好应用前景。Hsu EW 等对猪的椎间盘纤维环进行扩散张量显微技术的研究(Diffusion Tensor Microscopy),观察其显微结构,结果显示,纤维环的扩散为各向异性的,其定向表现为层状排列形态,与光学显微镜所见一致。定向角度与已知的纤维环胶原纤维结构也是一致的。这项研究提示 DT 显微术可用以对椎间盘的纤维环的扩散各向异性和层状结构进行定量无创性的检查^[5]。

扩散成像已成功地应用于脑部以及中枢神经系统以外如肝脏等腹部脏器和乳腺疾病的诊断和鉴别诊断。扩散张量成像是扩散成像的发展和深化,使我们有可能从微观领域对人体作进一步探查。目前主要用于脑部尤其对白质束的观察、追踪,深化了认识,并且也扩展到人体其它领域,说明今后功能和形态成并驾齐驱以至相结合能提供更全面,更丰富的信息。最近,超张量扩散成像(Diffusion Supertensor Imaging),采用更多方向的梯度(65 个以至数百个)已研究成功并开始应用于临床就说明这点,其应用前景是十分宽广的理应值得我们关注。

参考文献

- 1 Shimony JS, McKinstrey RC, Akbudak E, et al. Quantitative diffusion-tensor anisotropy brain MR imaging: normative human data and anatomic analysis[J]. Radiology, 1999, 212(3): 770-784.
- 2 Virta A, Barnett A, Pierpali C. Visualizing and characterizing white matter fiber structure and architecture in the human pyramidal tract using diffusion tensor MRI[J]. Magn Reson Imaging, 1999, 17(8): 1121-1133.
- 3 Chiu L. Lecture on diffusion tensor imaging. 2000, Jan, Beijing.
- 4 Lim Ko, Hedehus M, Moseley M, et al. Compromised white matter tract integrity in schizophrenia inferred from diffusion tensor imaging[J]. Arch Gen Psychiatry, 1999, 56(4): 367-374.
- 5 Hsu EW, Setton LA. Diffusion tensor microscopy of the intervertebral disc anulus fibrosus[J]. Magn Reson Med, 1999, 41(5): 992-999.

(2002-02-01 收稿)

下期要目

MRI 在先天性心脏病检查中的应用

应用 Amplatzer 封堵器治疗先天性心脏病

主动脉弓离断的血流动力学分析及临床表现

主动脉夹层螺旋 CT 血管造影成像的方法与技巧

螺旋 CT 肺动脉造影的临床应用

小儿腹部囊性病变的 CT 与 MR 诊断

腹盆部空腔脏器癌肿术后肿物的螺旋 CT 诊断

人工授精前子宫输卵管造影的临床价值

肾脏肿瘤患者肾动脉血流的彩色多普勒研究

部分脾栓塞在肝癌伴脾亢介入治疗中的应用

CT 导向下经皮肝穿刺活检的临床应用

加膜食管支架的临床应用

区域动脉灌注治疗急性坏死性胰腺炎 CT 分析

下肢深静脉血栓的动脉溶栓治疗

脑胶质肉瘤的 MRI 表现

循证医学影像学:医学影像学的新实践

MRA 技术对外周血管闭塞性疾病评估体外研究

不典型脑膜瘤 CT 诊断的难点和要点

食管癌影像学检查的价值及进展

外伤性弥漫性脑肿胀的 CT 表现