

Quantitative diffusion imaging in normal human brains

SONG Jian-xun, HE Ning*, LIU Jian-li

(Department of Radiology, Second Hospital of Lanzhou University, Lanzhou 730030, China)

[Abstract] **Objective** To establish standard reference values of the ADC in various regions of the normal human brains, and to determine whether the mean ADC values were different in various regions and hemisphere. **Methods** Thirty healthy men and 30 healthy women underwent MR imaging, including conventional and EPI diffusion-weighted imaging with b values of 0 and 1000 s/mm². Bilateral ADC_{AV} values were determined in 34 regions of interest encompassing the entire brain. **Results** ADC_{AV} values were the highest in the cortical gray matter $(0.80 \pm 0.05) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, then in the white matter $(0.77 \pm 0.05) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, thalamic $(0.75 \pm 0.07) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, and the lowest in the basal ganglia $(0.73 \pm 0.06) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$. A paired-samples T test was applied to study the ADC values in the identical regions of the bilateral hemispheres. The ADC AV values were significantly different between lateral ventricles ($P < 0.05$), but no statistically significant difference was observed between other identical regions of the bilateral hemispheres ($P > 0.05$). **Conclusion** The ADC_{AV} values in normal human brains can be used for reference and instruction in future clinical studies.

[Key words] Brain; Magnetic resonance imaging; Apparent diffusion coefficient

正常人脑弥散定量研究

宋建勋,何 宁*,刘建莉

(兰州大学第二医院放射科,甘肃 兰州 730030)

[摘要] **目的** 确立标准化的正常人脑各部位 ADC 参考值,探讨 ADC 值与脑内不同结构部位的关系。**方法** 选择健康男女各 30 名,所有对象进行 MR 检查,包括常规 MRI 和 EPI 弥散加权成像,弥散敏感系数分别为 $b=0, b=1000 \text{ s/mm}^2$;测定双侧半球的 34 个感兴趣区的平均 ADC 值。**结果** 灰质的平均 ADC_{AV} 最高 $(0.80 \pm 0.05) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$,其次是白质的平均 ADC_{AV} $(0.77 \pm 0.05) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$,丘脑的平均 ADC_{AV} $(0.75 \pm 0.07) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$,基底节的平均 ADC_{AV} 最低 $(0.73 \pm 0.06) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 。双侧半球相同部位之间经配对 t 检验,双侧脑室间平均 ADC_{AV} 存在差异 ($P < 0.05$),其余结构之间差异无显著性意义 ($P > 0.05$)。**结论** 正常人脑各部位 ADC 值的定量研究为弥散成像的临床应用提供了依据和指导。

[关键词] 脑;磁共振成像;表观扩散系数

[中图分类号] R322.81; R445.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2005)06-0850-03

目前国内外关于人脑弥散定量的研究多局限在缺血性卒中病变部位与对侧正常脑组织的弥散定量和少量正常人的对照研究^[1-3]以及在不同弥散敏感系数下正常人脑表观扩散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)值的测定^[4,5]。本研究通过正常人脑双侧半球不同部位间的弥散定量研究,期望建立标准化的正常人脑各部位 ADC 参考值,为弥散成像的进一步临床应用及研究提供参考依据。

1 资料和方法

[作者简介] 宋建勋(1974—),男,甘肃甘谷人,硕士,主治医师。研究方向:中枢神经系统 MRI。E-mail: songjianxun@126.com

[通讯作者] 何宁,兰州大学第二医院放射科,730030。

E-mail: hening365@126.com

[收稿日期] 2005-03-07 **[修回日期]** 2005-03-30

1.1 一般资料 选择无神经系统疾病及系统性疾病的健康成年男女各 30 名,年龄 20~63 岁,平均 (41.4 ± 12.2) 岁;男 20~63 岁,平均 (41.9 ± 11.6) 岁;女 20~61 岁,平均 (40.9 ± 12.9) 岁。

1.2 方法 采用 SIEMENS Harmony 1.0 T 超导型磁共振成像系统进行 MR 常规扫描,包括横断面 SE 序列 T1WI;TR 550 ms,TE 14 ms,层厚 5 mm,层距因子 0.3,FOV 173 mm×230 mm,矩阵 144×256;横断面 TSE 序列 T2WI;TR 4000 ms,TE 96 ms,层厚 5 mm,层距因子 0.3,FOV 173 mm×230 mm,矩阵 189×256,以上检查主要为排除肉眼可见的脑部疾病。弥散加权成像采用单次发射 EPI 序列行横轴面扫描:TR 6100 ms,TE 135 ms,FOV 196 mm×261 mm,矩阵 80×128,层厚 4 mm,层距因子 0.1,共 4 次成像,其中一幅弥散敏感系数 $b=0$,另外 3 幅在读出、相位编码、层面选择三个方向

上施加弥散梯度场, $b=1000\text{ s/mm}^2$ 。

1.3 ADC 值的测定 分别在 $b=0$ 及 $b=1000\text{ s/mm}^2$ 的读出、相位编码、层面选择三个梯度所获得的 4 幅图像中的同一层面上的相同位置选择感兴趣区(ROI)。本研究分别在双侧大脑半球选定 34 个 ROI, 双侧额、顶、枕、颞叶及小脑的灰质、白质, 丘脑, 尾状核头部, 桥脑, 壳核, 侧脑室脑脊液的前、中、后部。在 ROI 区利用磁共振仪所带的后处理工具测得 $b=0$ 及 $b=1000\text{ s/mm}^2$ 时 3 个梯度方向上的信号强度(SI)(为避免 ROI 的直径和面积带来的误差, 一般在双侧脑组织的对称部位选择相似直径和面积的 ROI)。此外, 在测量信号强度时, 注意避开脑沟, 脑表部位, 以减少脑脊液(CSF)部分容积效应的影响。根据公式

$$ADC = -\ln(S_2/S_1)/(b_1 - b_2)$$

及 ROI 区的信号值分别计算读出(r)、相位编码(p)、层面选择(s)三个方向的 ADC 值, 其中 S_1 和 S_2 是 b 值分别为 0 和 1000 s/mm^2 的信号强度。然后根据

$$ADC_{AV} = (ADC_X + ADC_Y + ADC_Z)/3$$

得到不同部位三个方向的平均 ADC 值。最后通过相同结构不同部位间的平均获得灰质、白质、基底节、丘脑及侧脑室的 ADC_{AV} 。

1.4 数据分析 统计应用 SPSS 8.0 软件分析。双侧半球相同结构之间对 ADC_{AV} 的影响应用配对 t 检验, 脑组织不同部位间对 ADC_{AV} 的影响用单因素方差分析。

2 结果

本组脑灰质平均 $ADC_{AV} (0.80 \pm 0.06) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, 白质平均 $ADC_{AV} (0.77 \pm 0.05) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, 基底节 $(0.73 \pm 0.06) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, 丘脑 $(0.75 \pm 0.07) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, 侧脑室 $(2.96 \pm 0.25) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 。左右半球不同结构的平均 ADC_{AV} 见表 1、2。

表 1 人脑 34 个 ROIs 的 $ADC_{AV} (\bar{x} \pm s)$

ROI	$ADC_{AV} (\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s})$	
	右侧	左侧
额叶灰质	0.79±0.13	0.78±0.13
顶叶灰质	0.80±0.09	0.79±0.10
枕叶灰质	0.79±0.09	0.77±0.10
颞叶灰质	0.73±0.10	0.75±0.14
小脑灰质	0.90±0.13	0.88±0.13
额叶白质	0.77±0.08	0.77±0.07
顶叶白质	0.81±0.11	0.82±0.11
枕叶白质	0.78±0.11	0.78±0.13
颞叶白质	0.80±0.12	0.80±0.11
小脑白质	0.69±0.10	0.69±0.10
丘脑	0.75±0.08	0.75±0.08
尾状核	0.73±0.10	0.71±0.12
豆状核	0.73±0.10	0.74±0.11
脑桥	0.73±0.10	0.73±0.11
侧脑室前部	2.88±0.35	2.97±0.20
侧脑室中部	2.75±0.59	2.77±0.54
侧脑室后部	3.13±0.25	3.24±0.29

表 2 大脑灰质、白质、基底节、丘脑、侧脑室的平均 $ADC_{AV} (\bar{x} \pm s)$

ROI	$ADC_{AV} (\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s})$		
	右侧	左侧	平均值
灰质	0.80±0.06	0.79±0.06	0.80±0.05
白质	0.77±0.06	0.77±0.05	0.77±0.05
基底节	0.74±0.06	0.72±0.08	0.73±0.06
丘脑	0.74±0.10	0.75±0.08	0.75±0.07
侧脑室	2.92±0.30	3.00±0.25	2.96±0.25

双侧半球相同部位间(如双额叶灰质间)经配对 t 检验, 双侧脑室间 $P<0.05$, 其余结构之间 $P>0.05$, 因而在双侧半球相同部位间, 侧脑室 CSF 间平均 ADC_{AV} 有显著性差异外, 其余的结构间均无显著性差异。

脑灰质、白质、丘脑及基底节间经单因素方差分析, $F=14.48, P<0.01$, 因而在脑内不同解剖部位之间, 平均 ADC_{AV} 的差别有统计学意义; 总体上看, 灰质的平均 ADC_{AV} 最高, 其次是白质的平均 ADC_{AV} , 丘脑的平均 ADC_{AV} , 基底节的平均 ADC_{AV} 最低, 这也在 SPSS 检验所获得的脑灰质、白质、丘脑及基底节的平均 ADC_{AV} 的二维图(图 1)中反映出来, 表现为线形下降趋势。均数间多重比较, 脑灰质的平均 ADC_{AV} 与白质、丘脑和基底节的平均 ADC_{AV} 都存在显著性差异, 白质和基底节的平均 ADC_{AV} 也存在差异。

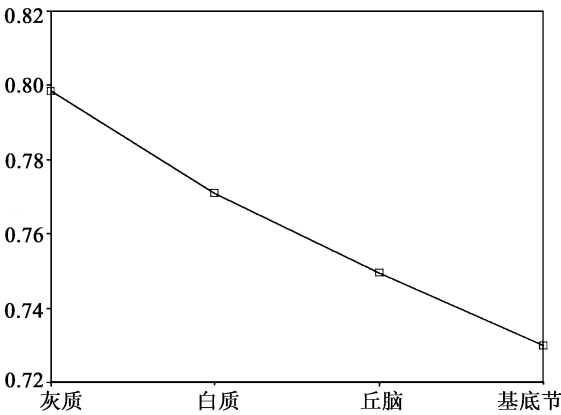


图 1 脑内不同结构间平均 ADC_{AV} 的变化关系

3 讨论

ADC 值反映水分子在组织内的弥散能力, ADC 值越大, 水分子的弥散运动越强。在生物组织中, 由于存在阻碍分子弥散的细胞膜、细胞器等结构, 组织大分子物质的存在增加了分子质量和作用程度, 也减慢了分子移动, 因而可用 ADC 值来描述在活体弥散像上所观察到的表观作用^[6]。

既往关于正常脑组织 ADC 值测定的共同特点是测定的对象少, 年龄范围较窄(卒中患者以老年人居多), 测定的部位较少, 因而测定的结果往往有偏差。并且对于缺血性卒中患者正常脑组织的测定, 尽管是在健侧脑组织内, 但由于缺血性卒中复杂的病理生理变化^[7,8], 可能存在超早期的一些病理损害, 肉眼难于观测的细微变化, 因而也会影响测量结果的准

确性。本项研究在一个年龄范围较大、男女均等的健康人群中进行,测定部位基本上包括了人脑的主要结构部位。双侧额、顶、枕、颞叶及小脑灰、白质和豆状核及壳核经平均所获得的灰质、白质、基底节的平均 ADC_{AV} 值及其范围,双侧脑室各部位所获得的平均 ADC_{AV} 值及其范围,以及丘脑的平均 ADC_{AV} 值和范围,与文献报道的结果相似^[1,2,5,9-12]。此外,在既往缺血型卒中的研究中,卒中部位的平均 ADC 值一般小于 $0.62 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$ ^[12,13],本组获得的灰质、白质、丘脑和基底节的平均 ADC 值与其存在显著差别,这也支持了缺血型卒中时 ADC 值的发现。本组部分位置测定数值较小的现象,如左额叶灰质最小 $0.44 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$ 、右小脑白质 $0.39 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$ 、左尾状核 $0.32 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$,可能是在测定信号强度时受到脑脊液容积效应的影响,此外也可能是与测定过程中的 ROI 划定有关。从最后获得的平均 ADC_{AV} 值看,标准差较小,并未对结果造成影响。

关于双侧半球相同部位 ADC 值的对比研究,本研究发现现在双侧脑室间脑脊液有差异,在其他部位没有差异。这一方面是由于部分实验对象侧脑室左右不对称造成的,另一方面可能是脑脊液受呼吸,心脏搏动的影响所致。

本组关于灰质平均 ADC_{AV} 值较白质为高的研究结果与既往一些研究结果^[9,10,14]相符,这与灰质含有大量神经元细胞、血液供应较白质丰富、新陈代谢率高直接相关^[10],也说明灰质和白质结构和功能的不同。本组丘脑和基底节平均 ADC_{AV} 值低于白质,与既往的一些研究结果有异^[11,14],可能与丘脑和基底节本身的血液供应较为特殊有关:丘脑和基底节由多支较细小的豆纹动脉供血,其解剖和病理上特点使之易于发生血供减低。

[参考文献]

[1] Wang XH, Huang L, Liu SR, et al. Study of diffusion-weighted-imaging with different diffusion gradient directions in human brain [J]. Chin J Med Imaging Technol, 2002, 18(1): 82-84.
王秀河, 黄力, 刘斯润, 等. 人脑不同弥散梯度方向弥散加权像的研究 [J]. 中国医学影像技术, 2002, 18(1): 82-84.

[2] Lu J, Li KC. Preliminary quantitative study of diffusion in normal human brains [J]. Chin J Med Imaging Technol, 2003, 19(8): 975-977.
卢洁, 李坤成. 正常成人脑组织弥散的定量研究 [J]. 中国医学影像

技术, 2003, 19(8): 975-977.

[3] Tanner SF, Ramenghi LA, Ridgway JP, et al. Quantitative comparison of intrabrain diffusion in adults and preterm and term neonates and infants [J]. Am J Roentgenol, 2000, 174(6): 1643-1649.

[4] DeLano MC, Cooper TG, Siebert JE, et al. High-b-value diffusion-weighted MR imaging of adult brain: image contrast and apparent diffusion coefficient map features [J]. Am J Neuroradiol, 2000, 21(10): 1830-1836.

[5] Burdette JH, Durden DD, Elster AD, et al. High b-value diffusion-weighted MRI of normal brain [J]. J Comput Assist Tomogr, 2001, 25(4): 515-519.

[6] Tom A, Rick M, Lookeren M, et al. Dynamic change in water ADC, energy metabolism, extracellular space volume, and tortuosity in neonatal rat brain during global ischemia [J]. MRM, 1996, 36(1): 52-60.

[7] Kamal AK, Segal AZ, Ulug AM. Quantitative diffusion-weighted MR imaging in transient ischemic attacks [J]. Am J Neuroradiol, 2002, 23(9): 1533-1538.

[8] Schaefer PW, Grant PE, Gonzalez RG. Diffusion-weighted MR imaging of the brain [J]. Radiology, 2000, 217(2): 331-345.

[9] Ulug AM, Beauchamp N, Bryan RN, et al. Absolute quantitation of diffusion constants in human stroke [J]. Stroke, 1997, 28(3): 483-490.

[10] Le Bihan D, Turner R, Douek P, et al. Diffusion MR imaging: clinical applications [J]. Am J Roentgenol, 1992, 159(3): 591-599.

[11] Engelter ST, Provenzale JM, Petrella JR, et al. The effect of aging on the apparent diffusion coefficient of normal-appearing white matter [J]. Am J Roentgenol, 2000, 175(2): 425-430.

[12] Zhou JL, Shen TZ, Chen XR. Application of MR diffusion-weighted imaging in the diagnosis of hyperacute cerebral infarction [J]. Chin J Radiol, 2002, 36(3): 215-218.
周江林, 沈天真, 陈星荣. 磁共振弥散加权成像在超急性期脑梗死诊断中的应用 [J]. 中华放射学杂志, 2002, 36(3): 215-218.

[13] Sorensen AG, Wu O, Copen WA, et al. Human acute cerebral ischemia: detection of changes in water diffusion anisotropy by using MR imaging [J]. Radiology, 1999, 212(3): 785-792.

[14] Hong XN, Shen TZ, Chen XR. Diffusion MR imaging in the evaluation of meningioma [J]. Chin Comput Med Imaging, 2003, 9(3): 212-219.
洪汛宁, 沈天真, 陈星荣. 磁共振弥散成像在脑膜瘤诊断中的应用 [J]. 中国医学计算机成像杂志, 2003, 9(3): 212-219.