

脊髓型颈椎病颈髓与手术效果间关系的 DTI 研究

蒋雯, 韩晓, 李广祺, 李东航, 王晋超, 于爱红, 郭华, 程晓光

【摘要】 目的:探讨扩散张量成像(DTI)对评价脊髓型颈椎病手术效果和脊髓术后恢复的应用价值。**方法:**纳入 33 例接受颈椎后路椎管扩大成型术治疗的脊髓型颈椎病患者,在术前和术后 3 个月分别进行常规 MRI 和 DTI 扫描,通过计算手术改善率将患者分为改善较好组(19 例)和不好组(14 例),比较两组患者最狭窄层面的术前各向异性分数(FA)、平均扩散率(MD)、轴向扩散率(AD)、纵向扩散率(RD)值的差异,分析术前 DTI 各参数值与改善率的相关性,比较术前与术后 3 个月 DTI 各参数值的变化。**结果:**较之改善不好组,改善较好组最狭窄层面的术前 FA 值较高,MD 和 RD 值较低,差异均有统计学意义(FA 值: $Z=-2.315, P=0.021$;MD 值: $Z=-2.114, P=0.035$;RD 值: $Z=-2.295, P=0.022$)。术前 DTI 各参数值与改善率不存在统计学意义上的相关性(FA、MD、AD、RD 值的 P 值分别为 0.527、0.608、0.082、0.753)。所有患者术后 FA 值较术前显著增高($t=-3.124, P=0.004$),而 MD、AD 和 RD 值的变化则没有统计学意义(P 值分别为 0.331、0.307、0.103)。**结论:**DTI 参数对评价手术预后有一定的应用价值,特别是 FA 值可在术后早期评价颈髓恢复情况。

【关键词】 脊髓型颈椎病; 扩散张量成像; 手术效果; 磁共振成像

【中图分类号】 R681.5; R445.2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2018)09-0893-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2018.09.003

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



The DTI study on the relationship between structure of cervical cord and surgery outcome in cervical spondylotic myelopathy JIANG Wen, HAN Xiao, LI Guang-qi, et al. Department of Radiology, Beijing Jishuitan Hospital, Beijing 100035, China

【Abstract】 Objective: To investigate the application value of diffusion tensor imaging (DTI) in the evaluation of surgery outcome and recovery in cervical spondylotic myelopathy. **Methods:** 33 cervical spondylotic myelopathy (CSM) patients with posterior cervical laminoplasty were included in this study. Conventional MRI and DTI scans and clinical scoring were performed before and 3 months after surgery. Patients were divided into 2 groups (good-recovery and poor-recovery) by calculating the surgical improvement rate. Preoperative and postoperative DTI parameters, FA, MD, AD and RD, at the mostly compressed spot were measured. **Results:** Compared with the poor-recovery group, preoperative FA value in the good-recovery group was significantly higher, and the MD and RD values were significantly lower. But there was no statistical correlation between preoperative DTI metrics and recovery rate. Only the FA value was significantly increased 3 months after surgery. The changes in MD, AD and RD were not statistically significant. **Conclusion:** DTI has certain application value to evaluate surgery prognosis in cervical spondylotic myelopathy. And FA value may be a sensitive indicator for recovery evaluation in early stage after surgery.

【key words】 Cervical spondylotic myelopathy; Diffusion tensor imaging; Surgery outcome; Magnetic resonance imaging

作者单位: 100035 北京, 北京积水潭医院放射科(蒋雯、于爱红、程晓光), 脊柱外科(韩晓、李东航、王晋超); 100084 北京, 清华大学医学院生物医学工程系生物医学影像研究中心(李广祺、郭华)

作者简介: 蒋雯(1984—), 女, 北京人, 硕士研究生, 主治医师, 主要从事颈髓 DTI 研究工作。

通讯作者: 程晓光, E-mail: xiao65@263.net

基金项目: 国家自然科学基金(81271558); 北京市自然科学基金面上项目(7132061); 北京市卫生系统高层次卫生技术人才培养计划项目(2013-3-033, 2009-2-03); 北京市科学技术委员会首都临床特色应用研究与成果推广项目(Z16110000516134)

随着当今社会工作生活方式的改变, 颈椎病的患病率显著增加, 近年来因保守治疗效果不佳而寻求手术改善症状的患者比例亦逐年增高。然而, 颈椎病的手术效果不尽相同, 部分患者术后改善有限, 导致个人经济负担和社会医疗成本的增加。术前颈髓的功能状态对手术效果有关键影响, 因此准确评价颈髓的结构与功能, 探索与手术效果的联系, 最终判断最佳手术时

机,对提高手术效果和提升医疗效率有着重要的临床意义。扩散张量成像(diffusion tensor imaging,DTI)作为可以无创评价颈髓微观结构的影像学技术^[1],能够揭示手术前后颈髓微观结构的变化,从而探讨颈髓结构与手术效果及术后恢复间的关系。

材料与方法

1. 病例资料

本研究纳入 2017 年 1 月—2017 年 9 月间在我院接受手术治疗的脊髓型颈椎病患者 33 例,其中男 20 例,女 13 例,年龄 35~71 岁,平均年龄 57.8 岁,手术术式统一为颈椎后路椎管扩大成型术。术后随访时间为手术后 3 个月。病例纳入标准:①颈椎影像学检查发现椎间盘中央后突、椎体后缘骨赘、增生肥厚或骨化的后纵韧带、黄韧带导致的椎管变窄、脊髓受压;②患者年龄 35~80 岁;③经正规保守治疗无效;④无明确手术禁忌症;⑤对本研究方案知情同意并签署知情同意书。病例排除标准:①合并颈椎外伤性骨折脱位;②合并颈椎感染性病变;③合并颈椎肿瘤;④存在手术禁忌症;⑤手术减压不彻底导致术后病情复发;⑥术后出现新发颈椎管狭窄。本研究方案经北京积水潭医院医学伦理委员会审查批准。

2. 检查方法

所有患者均采用 Philips Ingenia 3.0T MRI 扫描仪及头颈联合线圈行颈椎常规序列和 DTI 序列扫描,于术前及术后 3 个月随访时各扫描一次。每例患者在扫描期间保持仰卧位,平静呼吸,尽量避免大幅度呼吸和吞咽动作。颈椎常规序列包括矢状面 T₂WI、矢状面 T₁WI 和轴面 T₂WI。DTI 序列采用多次激发回波平面成像技术,扩散方向 15,b 值=800 s/mm²,总扫描时间为 6 分 14 秒,扫描范围为 C₂—C₇ 椎体。各序列的主要扫描参数见表 1。

3. 临床评价

临床功能评价采用修正的日本骨科学会(modified Japanese Orthopaedic Association,mJOA)评分,于术前及术后 3 个月随访时各评价一次。手术效果/改善率评价采用 Hirabayashi 方法^[2],即改善率=(术后评分—术前评分)/(17—术前评分)×100%,计算得

到术后 3 个月随访时的改善率。以改善率≥50%为改善好,改善率<50%为改善不好,将患者分为改善较好组(19 例)和改善不好组(14 例)。

4. DTI 数据处理

DTI 原始数据经 Spinal Cord Toolbox 和 FSL 图像处理软件后处理得到 DTI 各参数的轴面图像,包括各向异性分数(fractional anisotropy,FA)、平均扩散率(mean diffusivity,MD)、轴向扩散率(axial diffusivity,AD)及纵向扩散率(radial diffusivity,RD)图像。由 2 位年资 5 年以上的影像科医师共同阅片,根据术前轴面 T₂WI 图像椎管及脊髓受压程度确定每位患者颈椎管狭窄程度最严重的层面。通过 DTI studio 成像软件在最狭窄层面的轴面 MD 图上手动绘制感兴趣区(region of interest,ROI),从而得到术前和术后 3 个月的 DTI 各参数数据。ROI 尽可能覆盖整个颈髓横轴面,同时为避免颈髓周围脑脊液的部分容积效应影响,ROI 应距颈髓边缘至少 1 个体素的距离。

5. 统计学分析

使用 SPSS 17.0 软件进行统计学分析。对改善较好与不好组的术前 DTI 各参数进行两样本比较的秩和检验,对术前 DTI 各参数与改善率间的关系行 Spearman 相关分析,对所有患者术前和术后 3 个月的 DTI 各参数进行配对比较 *t* 检验。以 *P*<0.05 为差异有统计学意义。

结 果

1. 术前颈髓 DTI 各参数与手术改善率的关系

手术改善较好组的术前 FA 值显著高于改善不好组,术前 MD 及 RD 值显著低于改善不好组,差异均有统计学意义(*P* 值均<0.05);术前 AD 值在两组间的差异无统计学意义(*P*>0.05,表 2)。术前 DTI 各参数值与改善率的相关性无统计学意义(*P*>0.05,表 3)。

表 2 两组的术前颈髓 DTI 各参数值比较

参数	平均秩次组		检验统计量	
	改善较好的	改善不好的	Z 值	P 值
FA	13.66	21.54	-2.315	0.021
MD	20.05	12.86	-2.114	0.035
AD	17.34	16.54	-0.237	0.813
RD	20.32	12.50	-2.295	0.022

表 1 各序列的主要扫描参数

参数	矢状面 T ₂ WI	矢状面 T ₁ WI	轴面 T ₂ WI	DTI
层厚(mm)	3	3	4	4
层间距(mm)	0.3	0.3	2	2
TE(ms)	100	6.3	20	88
TR(ms)	3000	474	250	4701
视野(mm ²)	160×250	160×250	200×152	180×180
分辨率(mm ³)	0.8×1.01×3	0.7×0.94×3	0.8×0.8×4	1×1×4

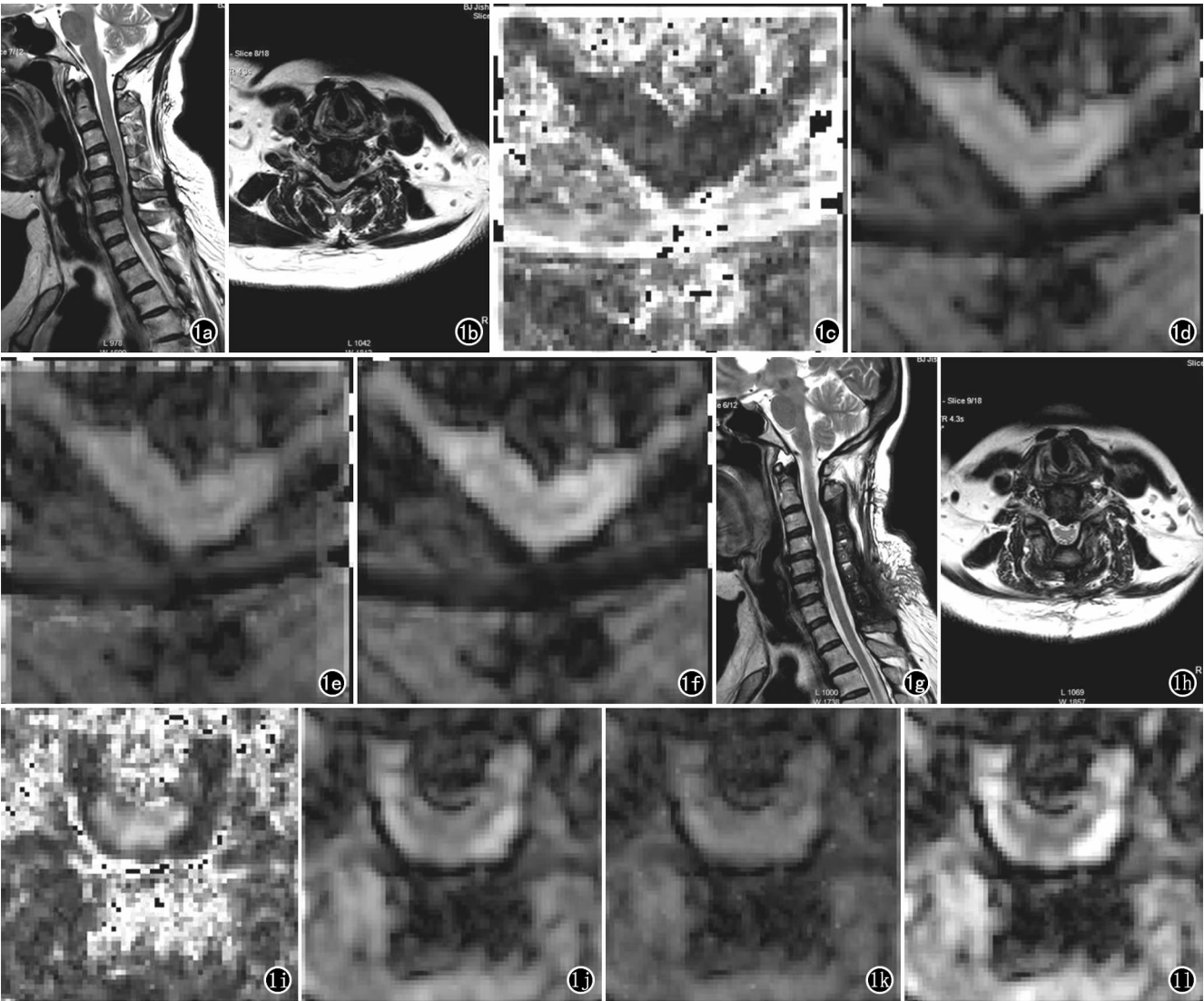


图 1 脊髓型颈椎病患者,女,58 岁,最狭窄层面为 C₅—C₆ 水平,术前及椎管后路扩大成型术后 3 个月的 MR 常规序列及 DTI 图像,轴面图像均为最狭窄层面。a) 术前矢状面 T₂WI 图像示患者存在 C₃₋₄ 至 C₆₋₇ 不同程度的椎间盘膨出或突出,C₅₋₆ 水平为最狭窄节段,并伴后纵韧带骨化;b) 术前轴面 T₂WI 图像示最狭窄节段(C₅₋₆ 水平)椎间盘突出,椎管显著狭窄,脊髓受压变形;c) 最狭窄层面的术前 FA 图像示颈髓信号较低;d) 最狭窄层面的术前 MD 图像示颈髓信号较高;e) 最狭窄层面的术前 AD 图像示颈髓信号较高;f) 最狭窄层面的术前 RD 图像示颈髓信号较高;g) 术后 3 个月的矢状面 T₂WI 图像示手术可以缓解椎管狭窄及脊髓压迫;h) 术后 3 个月的轴面 T₂WI 图像示手术可以缓解最狭窄层面的椎管狭窄及脊髓压迫;i) 最狭窄层面的术后 3 个月 FA 图像示颈髓信号较术前增高;j) 最狭窄层面的术后 3 个月 MD 图像示颈髓信号较术前降低;k) 最狭窄层面的术后 3 个月 AD 图像示颈髓信号较术前有所降低;l) 最狭窄层面的术后 3 个月 RD 图像示颈髓信号较术前降低。

表 3 术前颈髓 DTI 各参数值与改善率的相关性分析

参数	r 值	P 值
FA	0.114	0.527
MD	0.093	0.608
AD	0.307	0.082
RD	0.057	0.753

2. 术后 3 个月颈髓的恢复情况

术后 3 个月颈髓的 FA 值较术前显著增高,差异有统计学意义($P<0.05$);术后 3 个月的 MD 和 RD 值较术前有所减低,但差异没有统计学意义($P>$

0.05);术后 3 个月的 AD 值较术前有所增高,差异亦无统计学意义($P>0.05$,表 4,图 1)。

表 4 手术前后 DTI 各参数值比较

参数	术前均值	术后 3 个月均值	t 值	P 值
FA	0.415±0.111	0.467±0.106	-3.124	0.004
MD*	0.967±0.162	0.939±0.132	0.988	0.331
AD*	1.411±0.167	1.439±0.105	-1.037	0.307
RD*	0.743±0.191	0.686±0.171	1.681	0.103

注:* 单位为 $\times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$ 。

讨 论

DTI 是以扩散加权成像(diffusion-weighted imaging, DWI)为基础发展起来的扩散功能成像技术,基本原理是通过捕捉水分子在组织内的扩散运动造成的磁共振信号衰减而成像^[3],扩散运动越快,信号衰减越多。因此当组织因各种原因导致自由水增多,如血管源性水肿,或限制水自由扩散的屏障减少,如轴索髓鞘脱失或神经元坏死,都将导致成像信号的变化。颈髓特别是颈髓白质是膜性屏障结构高度规律排列的组织^[4],水分子扩散运动的方向也高度一致,存在病变时规律性被打破,水分子扩散方向发生变化,DTI 的图像信号也随之发生显著改变。已有文献证实 DTI 能够反映颈髓病理状态时微观结构的变化^[5-6]。此外 DTI 各参数有定量的特性,能够与颈髓功能评分建立联系,实现结构和功能的共同评价^[7-9]。在对比 DTI 和磁共振常规序列的研究中,DTI 能早于常规序列发现颈髓微观结构的变化,即当常规图像仍表现正常的情况下,DTI 可以区分病变颈髓与正常颈髓,甚至不同病变程度的颈髓^[7,10-11]。基于以上原因,本研究选择 DTI 作为探索颈髓结构变化与手术效果间关系的工具。

本研究结果从手术改善率的角度表明,颈髓结构的损伤程度影响着手术效果。手术效果较差的患者,术前颈髓的 FA 值较低,MD 和 RD 值较高,表明颈髓含水量增加或屏障结构破坏,存在着较严重的水肿或变性坏死^[12];而变性坏死代表着颈髓的不可逆损伤,如神经元死亡和髓鞘脱失。尽管手术能够解除椎管狭窄和颈髓压迫,但丢失的神经元和髓鞘不能再生,故而术后残留颈髓功能障碍,影响手术效果。手术效果较好的患者,术前颈髓的 FA 值较高,MD 和 RD 值较低,颈髓主要病理改变为可逆性水肿^[13],不可逆的损伤较少,通过手术减压后水肿程度减轻,疗效较好。本研究结果与以往文献报道基本一致^[14],在一定程度上提示 DTI 参数可以用于手术预后的评价。本研究未能在改善率与术前 DTI 参数值间建立统计学意义上的相关性,可能与仅选取最狭窄层面而不是所有病变节段有关。接下来我们会扩大样本量,并研究所有病变节段。

本研究也探讨了手术治疗对颈髓结构的影响,结果显示术后三个月颈髓的 DTI 参数值已较术前发生了比较明显的改变,FA 值升高,MD 和 RD 值降低,这表明手术解除压迫,颈髓的水肿减退,甚至纤维瘢痕修复使屏障结构重新出现^[15]。需要注意的是,此时仅 FA 值的变化有统计学意义,这提示 FA 值对发现术后早期颈髓微观结构的改变较 MD 和 RD 值更为敏感,FA 值可能存在早期评估手术疗效的价值。

此外本研究结果显示,AD 值在颈髓结构和手术的相互作用中都没有体现出意义或价值,术后三个月颈髓的 AD 值甚至仍有所增高,可能的原因是 AD 值同时受扩散和各向异性的共同影响,有研究表明两方面的影响可以相互抵消^[9],从而造成 AD 值的作用不明显。

本研究还存在以下不足:①病例数较少,需要继续增加样本量;②没有将颈髓的灰白质分开研究,灰质区较低的各向异性可能抵消白质区的显著改变;③本研究的研究对象是多节段狭窄的脊髓型颈椎病患者,研究中关注的是最狭窄节段,该节段的情况不能解释颈髓的全部功能障碍。

本研究将颈髓结构与恢复同手术治疗联系起来,对研究对象进行了手术前后的 DTI 扫描与评价,证实了颈髓的损伤程度影响手术效果,提示 DTI 参数可用于评价手术预后和时机,同时手术治疗亦能帮助受损的颈髓恢复、改善症状,FA 值可在术后较早期对手术疗效作出评估。总之,DTI 可以评价颈髓结构功能的变化,有着重要的临床应用价值和广泛的应用前景。

参考文献:

- [1] Xiangshui M, Xiangjun C, Xiaoming Z, et al. 3T magnetic resonance diffusion tensor imaging and fibre tracking in cervical myelopathy[J]. Clin Radiol, 2010, 65(6): 465-473.
- [2] Hirabayashi K, Miyakawa J, Satomi K, et al. Operative results and postoperative progression of ossification among patients with ossification of cervical posterior longitudinal ligament[J]. Spine (Phila Pa 1976), 1981, 6(4): 354-364.
- [3] Ellingson BM, Salamon N, Holly LT. Advances in MR imaging for cervical spondylotic myelopathy[J]. Eur Spine J, 2015, 24(2): 197-208.
- [4] Zhang H, Schneider T, Wheeler-Kingshott CA, et al. NODDI: practical in vivo neurite orientation dispersion and density imaging of the human brain[J]. Neuroimage, 2012, 61(4): 1000-1016.
- [5] Banaszek A, Bładowska J, Szweczyk P, et al. Usefulness of diffusion tensor MR imaging in the assessment of intramedullary changes of the cervical spinal cord in different stages of degenerative spine disease[J]. Eur Spine J, 2014, 23(7): 1523-1530.
- [6] Gao SJ, Yuan X, Jiang XY, et al. Correlation study of 3T-MR-DTI measurements and clinical symptoms of cervical spondylotic myelopathy[J]. Euro J Radiol, 2013, 82(11): 1940-1945.
- [7] Wen CY, Cui JL, Liu HS, et al. Is diffusion anisotropy a biomarker for disease severity and surgical prognosis of cervical spondylotic myelopathy? [J]. Radiology, 2014, 270(1): 197-204.
- [8] Jones JG, Cen SY, Lebel RM, et al. Diffusion tensor imaging correlates with the clinical assessment of disease severity in cervical spondylotic myelopathy and predicts outcome following surgery [J]. AJNR, 2013, 34(2): 471-478.
- [9] Ellingson BM, Salamon N, Grinstead JW, et al. Diffusion tensor imaging predicts functional impairment in mild-to-moderate cervical spondylotic myelopathy[J]. Spine J, 2014, 14(11): 2589-2597.

- [10] Ahmadli U, Ulrich NH, Yuqiang Y, et al. Early detection of cervical spondylotic myelopathy using diffusion tensor imaging: experiences in 1.5-tesla magnetic resonance imaging[J]. Neuroradiol J, 2015, 28(5): 508-514.
- [11] Hori M, Fukunaga I, Masutani Y, et al. New diffusion metrics for spondylotic myelopathy at an early clinical stage[J]. Eur Radiol, 2012, 22(8): 1797-1802.
- [12] Cheung MM, Li DT, Hui ES, et al. In vivo diffusion tensor imaging of chronic spinal cord compression in rat model[J]. Conf-Proc IEEE Eng Med Biol Soc, 2009, 2009: 2715-2718.
- [13] 刘艳辉, 高阳, 牛广明. 急性脊髓外伤的 DTI 临床应用[J]. 放射学实践, 2015, 30(8): 826-830.
- [14] Vedantam A, Rao A, Kurpad SN, et al. Diffusion tensor imaging correlates with short-term myelopathy outcome in patients with cervical spondylotic myelopathy[J]. World Neurosurg, 2017, 97(11): 489-494.
- [15] Hansen B, Flint JJ, Heon-Lee C, et al. Diffusion tensor microscopy in human nervous tissue with quantitative correlation based on direct histological comparison[J]. Neuroimage, 2011, 57(4): 1458-1465.

(收稿日期: 2018-03-28 修回日期: 2018-07-15)

本刊网站及远程稿件处理系统投入使用

本刊网站与远程稿件处理系统已开发测试完毕,已于 2008 年 3 月 1 号正式开通投入使用。

作者进行网上投稿及查稿具体步骤如下:请登录《放射学实践》网站(<http://www.fsxsj.net>)点击进入首页 → 点击“作者投稿” → 按提示注册(请务必按系统提示正确填写个人信息,同时记住用户名和密码,以便查询稿件处理进度) → 用新注册的用户名和密码登录 → 点击“作者投稿”进入稿件管理页面 → 点击“我要投稿” → 浏览文件 → 上传文件(浏览文件后请点击后面的“上传”按钮,只有系统提示“稿件上传成功”方可进行下一步录入操作,文章须以 WORD 格式上传,图表粘贴在文章中) → 录入稿件标题、关键词等 → 最后点击“确定”即可完成投稿。投稿后请速寄审稿费(100 元/篇)以使稿件迅速进入审稿处理。

作者自投稿之日起可不定期登录本刊网站查看稿件处理进度,不必打电话或发邮件查询,具体步骤如下:用注册过的用户名和密码登录 → 点击“作者查稿”进入稿件管理页面 → 点击左侧导航栏“我的稿件库” → “稿件状态”显示稿件处理进度 → 点击“查看” → 选择“当前信息”或“全部信息”查看稿件处理过程中的具体信息。稿件退修和催审稿费(版面费)的信息作者亦可在注册时填写的邮箱中看到,作者在邮箱看到相关信息后须进入本系统进行相应处理。

作者如从邮箱和邮局投稿(或网上投稿成功后又从邮箱或邮局再次投稿),本刊须花费大量精力将稿件录入系统中,部分稿件重复多次处理,这给我们的稿件统计及处理工作带来巨大困难。本刊作者需登录本刊网站投稿,如果通过邮箱或邮局投稿,本刊会通知您通过网上投稿。

由于准备时间仓促及经验不足,网站及远程稿件处理系统必然会存在一些缺点和不足之处,希望各位影像同仁不吝赐教,多提宝贵意见,予以指正。

如果您在投稿中遇到什么问题,或者对本系统及网站有好的意见和建议,请及时联系我们。

联系人:石鹤 明桥 联系电话:027-69378385 15926283035