

◆ 中枢神经影像学

MRI analysis of spinal cord outlet of skull base on formation of syringomyelia in Chiari I malformation

ZHANG Deqing¹, MA Juan², CHENG Ying¹, JIANG Chunhui², TIAN Shuo³,
HU Yunfang⁴, WAN Zhifang¹, MENG Zhihua^{1*}

(1. Imaging Center, 3. Department of Neurosurgery, 4. Computer Center, Yuebei People's Hospital, Shaoguan 512026, China; 2. Imaging Center, the First Affiliated Hospital, Xinjiang Medical University, Urumqi 830054, China)

[Abstract] **Objective** To investigate the mechanism and effect of the spinal cord outlet of the skull base on Chiari I malformation with syringomyelia. **Methods** The cervical spinal cord stem angle (An_{bc}), slope angle of cervical vertebra (An_{sc}) of Chiari I malformation were measured. In foramen magnum (L_{lf}) and anterior vertebral canal level (L_{af}), spinal canal (A_c), spinal cord (A_s) and inferior hernia area (A_h) were measured. Angle, area and ratio were compared in Chiari I malformation with syringomyelia, Chiari I malformation without syringomyelia and normal control group. **Results** An_{sc} , An_{bc} — An_{sc} had significant differences among control group and Chiari I malformation patients (all $P < 0.001$). In L_{lf} , L_{af} , A_s had significant differences among three groups (all $P < 0.05$), further comparison of the two showed there were significant differences between Chiari I malformation with syringomyelia patients and control group, Chiari I malformation without syringomyelia patients and control group in L_{lf} (all $P < 0.05$). In L_{lf} , L_{af} , A_c in Chiari I malformation with syringomyelia was smaller than control group ($P < 0.05$). A_h in L_{lf} , L_{af} and L_h in L_{lf} had no statistical significant difference between Chiari I malformation with and without syringomyelia patients (all $P > 0.05$). In L_{lf} , L_{af} , A_s/A_c had statistical significant difference among Chiari I malformation with and without syringomyelia patients, control group (all $P < 0.001$), further comparison of the two showed A_s/A_c in L_{lf} had statistical significance difference between Chiari I malformation with syringomyelia patients and control group ($P < 0.05$), A_s/A_c in L_{af} had statistical significance difference between Chiari I malformation with syringomyelia patients and control group, between Chiari I malformation without syringomyelia patients and control group (all $P < 0.05$). **Conclusion** The cervical spinal cord, An_{sc} reducing, narrow vertebral proportion increase are important factors to promote Chiari I malformation syringomyelia.

[Key words] Arnold-Chiari malformation; Syringomyelia; Magnetic resonance imaging

DOI:10.13929/j.1003-3289.201612029

颅底脊髓出口影响 Chiari I 畸形 脊髓空洞形成的 MRI 分析

张德清¹, 马娟², 程英¹, 姜春晖², 田硕³, 胡云方⁴, 万志方¹, 孟志华^{1*}

(1. 粤北人民医院影像中心, 3. 神经外科, 4. 信息中心, 广东 韶关 512026; 2. 新疆医科大学
第一附属医院影像中心, 新疆 乌鲁木齐 830054)

[摘要] **目的** 探讨颅底脊髓出口对 Chiari I 畸形合并脊髓空洞形成的影响。 **方法** 测量 294 例 Chiari I 畸形脑干—颈髓角 (An_{bc})、斜坡—颈椎角 (An_{sc})；在枕骨大孔 (L_{lf})、寰椎前上缘 (L_{af}) 层面测量椎管 (A_c)、脊髓 (A_s)、下疝体面积 (A_h)

[第一作者] 张德清 (1979—), 男, 湖南澧县人, 硕士, 主治医师。研究方向: 脑功能磁共振成像。E-mail: free-rice@qq.com

[通信作者] 孟志华, 粤北人民医院影像中心, 512026。E-mail: zhihua_meng@163.com

[收稿日期] 2016-12-07 **[修回日期]** 2017-02-28

及下疳体长度(L_h);比较 Chiari I 畸形无脊髓空洞(无脊髓空洞组)、合并脊髓空洞(合并脊髓空洞组)及正常对照组的各角度、面积及其比值、差值。**结果** 合并脊髓空洞组、无脊髓空洞组和对对照组 An_{sc} 、 $An_{bc} - An_{sc}$ 值比较总体差异有统计学意义(P 均 < 0.001),两两比较差异均有统计学意义(P 均 < 0.05);3 组 An_{bc} 比较总体差异无统计学意义($P > 0.05$)。在 L_{if} 、 L_{af} 层面上,3 组 A_s 差异有统计学意义(P 均 < 0.05), L_{if} 层面合并脊髓空洞组与对照组、无脊髓空洞组与对照组差异均有统计学意义(P 均 < 0.05)。 L_{af} 层面合并脊髓空洞组 A_c 均小于对照组和无脊髓空洞组(P 均 < 0.05)。 L_{if} 、 L_{af} 层面 A_h 、 L_{if} 层面 L_h 在合并脊髓空洞组与无脊髓空洞组比较差异均无统计学意义(P 均 > 0.05)。 L_{if} 、 L_{af} 层面 3 组 A_s/A_c 比较差异有统计学意义(P 均 < 0.001),两两比较显示, L_{if} 层面合并脊髓空洞组与对照组差异有统计学意义($P < 0.05$); L_{af} 上,合并脊髓空洞组与对照组、无脊髓空洞组与对照组差异有统计学意义(P 均 < 0.05)。**结论** An_{sc} 减小、脊髓出口狭小、脊髓椎管占比增大是促进 Chiari I 畸形脊髓空洞发生的重要因素。

【关键词】 Arnold-Chiari 畸形;脊髓空洞症;磁共振成像

【中图分类号】 R651; R445.2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1003-3289(2017)07-0975-05

脊髓空洞是 Chiari I 畸形最常见的合并症之一,手术能有效改善和缓解临床症状及体征。MR 是目前评价脊髓空洞的主要方法^[1-3]。本研究通过对 Chiari I 畸形患者后颅窝—颅底、脊柱及脊髓结构的 MR 图像进行分析,探讨 Chiari I 畸形合并脊髓空洞的发生机制和影响因素,为手术及预后评价提供依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集 2011 年 9 月—2016 年 2 月在粤北人民医院和新疆医科大学第一附属医院确诊的 Chiari I 畸形患者 294 例,其中男 133 例、女 161 例,年龄 18~59 岁,平均(43.8 ± 9.9)岁,根据合并症情况将患者分为合并脊髓空洞组($n=72$)和无脊髓空洞组($n=122$)。另选同期健康志愿者 307 名为对照组,其中男 153 名、女 154 名,年龄 18~59 岁,平均(42.5 ± 5.9)岁,排除扁平颅底、颅底凹陷、脊柱畸形等。受试者行全脊柱及颅脑 MR 检查。本研究经医院伦理委员会批准。

1.2 仪器与方法 采用 GE Signa HDx 3.0T 及 1.5T 超导型 MR 扫描仪,8 通道相控阵头线圈及 CTL 表面线圈。脊柱扫描采用矢状位、斜轴位,采集 FSE T1WI、FSE T2WI 图像;层厚 3 mm,层间隔 0.3 mm。颅脑扫描采用斜轴位、矢状位,采集 T1 FLAIR、FSE T2WI、T2 FLAIR 图像;层厚 5 mm,层间隔 1.5 mm。

1.3 图像分析和测量 临床资料及 MR 图像由 1 名经验丰富的神经外科医师和 2 名高年资影像医师共同协商评价。MRI 图像分析采用 GE ADW 4.5 后处理工作站,应用面积及角度测量工具在脊柱正中矢状层面 T2WI 序列上测量角度,在斜轴位 T2WI 序列上测量面积;应用 crate handroi 工具在每个测量层面沿脊髓蛛网膜下腔边缘勾画 ROI,每组数据测量 3 次,计算均值。

在枕骨大孔(L_{if} ,斜坡下缘与枕骨大孔后下缘连线)层面、寰椎前上缘(L_{af} ,寰椎前弓上缘与枕骨大孔

后下缘连线)层面分别测量椎管面积(A_c)、脊髓面积(A_s)、下疳体面积(A_h)、下疳体长度(L_h ,下疳体下缘与 L_{if} 垂直距离)及脑干—颈髓角 [An_{bc} ,脑干背侧面平行线与颈段脊髓背侧面(止点平颈 4 椎体后下角)平行线夹角]、斜坡—颈椎角 [An_{sc} ,斜坡背侧面平行线与颈椎后缘(齿状突顶后缘—颈 4 椎体后下角连线)平行线夹角],见图 1、2。计算 A_s/A_c 、 A_h/A_c 、 $(A_c - A_s - A_h)/A_c$ 比值及 $An_{bc} - An_{sc}$ 值。在 L_{if} 、 L_{af} 层面,分别比较 3 组间 A_c 、 A_s 、 A_h 、 A_s/A_c 、 A_h/A_c 、 $(A_c - A_s - A_h)/A_c$ 及 An_{bc} 、 An_{sc} 、 $An_{bc} - An_{sc}$ 值的差异。对照组无下疳体,因此无 A_h 和 L_h 值,在 L_{af} 层面,部分患者下疳体未达到该层面,数值不全而未做统计分析。

1.4 统计学分析 采用 SPSS 17.1 统计分析软件。计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,2 组间均数比较,符合正态分布采用两独立样本 t 检验;不符合正态分布采用 Wilcoxon 秩和检验。多组样本均数比较,方差齐采用单因素方差分析,两两比较采用 Dunnett t 检验;方差不齐采用 Kruskal-Wallis H 秩和检验,组间有差异则采用 Nemenyi 比较。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 颅底脊髓出口角度比较 合并脊髓空洞组、无脊髓空洞组和对对照组 An_{sc} 、 $An_{bc} - An_{sc}$ 值比较总体差异有统计学意义(P 均 < 0.001),两两比较差异均有统计学意义(P 均 < 0.05);3 组 An_{bc} 比较总体差异无统计学意义($P > 0.05$),见表 1。

表 1 3 组颅底脊髓出口角度比较($^{\circ}$, $\bar{x} \pm s$)

组别	An_{sc}	An_{bc}	$An_{bc} - An_{sc}$
合并脊髓空洞组	142.87 ± 8.63	169.13 ± 6.00	26.27 ± 6.93
无脊髓空洞组	146.96 ± 7.99	168.69 ± 7.08	21.73 ± 5.70
对照组	152.44 ± 8.03	169.27 ± 5.50	16.83 ± 5.69
F 值	34.58	0.19	60.00
P 值	< 0.001	> 0.05	< 0.001

2.2 颅底脊髓出口面积及比值比较 在 L_{lf} 、 L_{af} 层面上, 3 组 A_s 总体差异有统计学意义 (P 均 < 0.05), L_{lf} 层面两两比较显示合并脊髓空洞组与对照组、无脊髓空洞组与对照组差异均有统计学意义 (P 均 < 0.05), 合并脊髓空洞组与无脊髓空洞组比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$); L_{af} 层面两两比较显示合并脊髓空洞组与无脊髓空洞组比较差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 余组间比较差异无统计学意义 (P 均 > 0.05)。在 L_{lf} 、 L_{af} 层面上, 3 组 A_c 总体差异有统计学意义 (P 均 < 0.001), 两两比较显示, L_{lf} 层面合并脊髓空洞组与无脊髓空洞组比较差异有统计学意义 ($P < 0.01$), 余组间比较差异无统计学意义 (P 均 > 0.05); L_{af} 层面合并脊髓空洞组与无脊髓空洞组、合并脊髓空洞组与对照组差异有统计学意义 (P 均 < 0.05), 无脊髓空洞组与对照组差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。 L_{lf} 、 L_{af} 层面

A_h 、 L_{lf} 层面 L_h 在合并脊髓空洞组与无脊髓空洞组比较差异均无统计学意义 (P 均 > 0.05)。见表 2。

在 L_{lf} 、 L_{af} 层面上, 3 组 A_s/A_c 比较差异有统计学意义 (P 均 < 0.001), 两两比较显示, L_{lf} 层面合并脊髓空洞组与对照组差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 余组间差异均无统计学意义 (P 均 > 0.05); L_{af} 层面合并脊髓空洞组与对照组、无脊髓空洞组与对照组差异有统计学意义 (P 均 < 0.05), 合并脊髓空洞组与无脊髓空洞组差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。在 L_{lf} 、 L_{af} 层面上, $(A_c - A_s - A_h)/A_c$ 在无脊髓空洞组均大于合并脊髓空洞组 (P 均 < 0.05)。见表 2。

3 讨论

脊髓空洞症是 Chiari I 畸形发展的终末状态, 约

表 2 不同层面 3 组颅底脊髓出口面积、比值及 L_h 比较 ($\bar{x} \pm s$)

层面	A_s (cm ²)	A_h (cm ²)	A_c (cm ²)	A_s/A_c	A_h/A_c	$(A_c - A_s - A_h)/A_c$	L_h (cm)
L_{lf} 层面							
合并脊髓空洞组	1.24 ± 0.43	0.93 ± 0.50	6.80 ± 1.63	0.19 ± 0.05	0.14 ± 0.07	0.68 ± 0.07	0.97 ± 0.39
无脊髓空洞组	1.31 ± 0.38	1.00 ± 0.51	7.72 ± 1.95	0.17 ± 0.04	0.13 ± 0.04	0.70 ± 0.05	0.84 ± 0.38
对照组	1.12 ± 0.31	—	7.24 ± 1.54	0.18 ± 0.10	—	—	—
F/t/ χ^2 值	13.45	0.82	5.49	12.65	0.96	2.00	1.89
P 值	< 0.001	0.41	< 0.001	< 0.001	0.34	0.046	0.06
L_{af} 层面							
合并脊髓空洞组	0.66 ± 0.23	0.62 ± 0.42	4.10 ± 1.26	0.17 ± 0.07	0.15 ± 0.08	0.68 ± 0.07	—
无脊髓空洞组	0.77 ± 0.23	0.60 ± 0.31	4.84 ± 1.45	0.17 ± 0.05	0.12 ± 0.05	0.71 ± 0.05	—
对照组	0.74 ± 0.18	—	5.20 ± 1.21	0.15 ± 0.04	—	—	—
F/t/ χ^2 值	8.97	0.25	18.57	11.57	1.42	2.68	—
P 值	0.01	0.81	< 0.001	< 0.001	0.15	0.01	—

注: —: 未测量

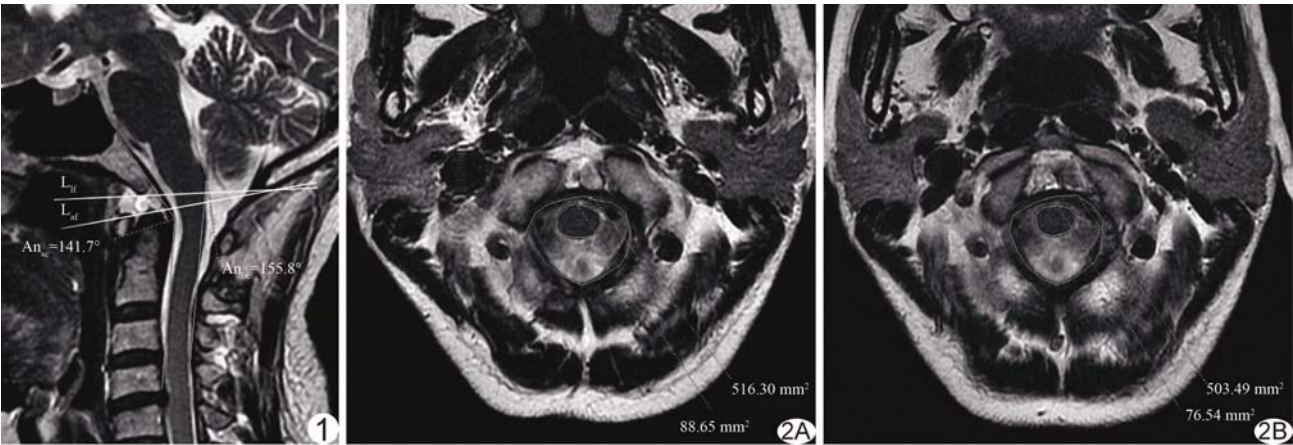


图 1 颅底角度测量及 L_{lf} 、 L_{af} 层面示意图 An_{bc} 为脑干背侧面平行线与颈段脊髓背侧面 (止点平颈 4 椎体后下角) 平行线夹角; An_{sc} 为斜坡背侧面平行线与颈椎后缘 (齿状突顶后缘—颈 4 椎体后下角连线) 平行线夹角 图 2 颅底面积测量示意图 L_{lf} 层面 (A)、 L_{af} 层面 (B) 测量椎管面积 A_c 、脊髓面积 A_s

37%~75% 的 Chiari I 畸形患者伴发脊髓空洞症^[1]。后颅窝重塑、脊髓减压是缓解脊髓空洞、延迟脊髓变性萎缩的主要治疗手段。MRI 能准确诊断 Chiari I 畸形合并脊髓空洞的空洞类型、范围及程度,评价干预效果,为诊疗提供决策信息。既往 MRI 分析多关注后颅窝形态及容积对 Chiari I 畸形发生发展的影响^[4-5],对颅底脊髓出口、上颈椎结构的研究较少。

传统观点^[6-10]认为,后颅窝容积小、小脑和脑干拥挤是 Chiari I 畸形及脊髓空洞形成的主要颅脑结构因素。本研究结果显示,合并脊髓空洞组 An_{sc} 减小, $An_{bc} - An_{sc}$ 增大,斜坡后下部后突明显;而与合并脊髓空洞组比较,无脊髓空洞组及对照组 An_{sc} 较大,斜坡—上颈椎后缘平直、对枕骨大孔脊髓出口影响较小;这与闫煌等^[6]认为 Chiari I 畸形斜坡倾斜角与小脑扁桃体下疝程度之间存在负相关结论一致;王梅云等^[7]认为胚胎枕节发育不良导致后颅窝狭小,是引起 Chiari I 畸形的重要原因。闫煌等^[6-8]认为 Chiari I 畸形后颅窝容积减少并非脊髓空洞的主要致病因素,斜坡短小、后颅窝短平对脊髓空洞的形成和发展也存在重要影响。此外,本研究发现在 L_{lf} 、 L_{af} 层面上,脊髓空洞是否形成与 L_h 、 A_h 均无明确关系。金光玮等^[9]研究认为,Chiari I 畸形患者脊髓空洞症的发生与小脑扁桃体下疝程度、枕骨大孔长度、下疝体疝出枕骨大孔时前后径及其比值无关,而空洞的长度与下疝体疝出枕骨大孔时前后径有关。这可能提示颅底结构、尤其是后颅底前部结构先天发育异常、斜坡后下部后突、与齿状突及后腹膜联合突向枕骨大孔前部,导致脊髓出口狭窄,推压压迫硬膜囊及延髓—颈髓前缘,是导致脊髓空洞发生的重要原因;而枕骨大孔后缘结构对脊髓空洞形成的影响需进一步观察^[1]。

Oldfield 等^[11]综合枕大孔出口水动力学说和颅脊压力分离学说后认为,枕大孔区的不全梗阻、椎管内蛛网膜下腔部分隔离状态、下疝体活塞样压力及下行脑脊液压力波作用,是 Chiari I 畸形合并脊髓空洞发生的主要机制。椎管、脊髓、下疝体是颅底出口相互影响的主要结构。本研究发现 L_{lf} 、 L_{af} 层面上,3 组 A_s/A_c 总体差异有统计学意义;合并脊髓空洞患者脊髓占椎管面积比更大,脊髓及下疝体周围蛛网膜腔较对照组及无空洞组更小。本研究认为,这种狭窄的椎管、较大的脊髓面积占比的颅底异常结构,导致枕骨大孔出口门栓结构及下疝体活塞样运动形成,阻碍了脑脊液的流动,影响脑脊液压力的分布及传递,向上的压力集聚脊髓中央管,促成空洞的形成^[11-16]。裴新龙等^[16]观察

到 Chiari I 畸形合并脊髓空洞患者延脊髓前池及颈椎蛛网膜下腔变窄,影响脑脊液流动,较对照组中脑导水管及枕大孔区足向、头向脑脊液最大流速均明显增大,可能是促进空洞形成的重要因素。另外在近颅底的 L_{lf} 及远颅底的 L_{af} 两个层面上,本研究显示体现下疝体周围间隙差异的 $(A_c - A_s - A_h)/A_c$ 指标,合并脊髓空洞与无脊髓空洞组差异均有统计学意义;同时合并脊髓空洞组与无脊髓空洞组 A_h/A_c 的差值在近颅底 (L_{lf}) 层面小,远颅底 (L_{af}) 层面大;这种脊髓周围空间形态的差异,使脑脊液在蛛网膜下腔及脊髓中央管内容易形成涡流、湍流等异常液体形态、导致压力分布不均衡,可能是形成不同程度、不同类型脊髓空洞的重要因素^[14]。这可能为预测空洞发生发展提供依据^[14-16]。

本研究的局限性:①对影响脊髓空洞形成的其他颅底—脑结构因素未做分析;②颅底脊髓出口与脊髓空洞范围、程度、类型等的关系有待进一步观察;③本研究在参考、分析前人研究的基础之上,设计选取了上述 MRI 影像测量、分析指标,其可行性、可靠性、敏感度均有待分析验证;④Chiari I 畸形合并脊髓空洞症颅颈段 MRI 扫描方案还需规范化,测量方法需标准化;⑤应用 crate handroi 工具勾画 ROI 测量面积时,不同医师间操作差异较大,需要实践改进、减少误差。

总之,颅底脊髓出口、上颈椎的发育异常是 Chiari I 畸形合并脊髓空洞症发生的重要结构因素之一,通过测量分析颅底结构的影像参数,可为 Chiari I 畸形合并脊髓空洞症患者手术治疗提供信息,对尚未发展到脊髓空洞的患者,也可以预判脊髓空洞的发生、发展,为早期及时手术治疗、临床干预提供决策依据。

[参考文献]

- [1] Choi D. Failed foramen magnum decompression for chiari malformation: The challenge of postoperative brainstem shift and cerebellar ptosis. *World Neurosurg*, 2014, 81(5/6):702-705.
- [2] Udani V, Holly LT, Chow D, et al. Posterior fossa reconstruction using Titanium plate for the treatment of cerebellar ptosis after decompression for chiari malformation. *World Neurosurg*, 2014, 81(5/6):836-841.
- [3] 王曲, 高方友, 刘窗溪, 等. Chiari 畸形 I 型并脊髓空洞术后翻修的疗效观察. *中华神经外科杂志*, 2014, 30(8):819-823.
- [4] Zhu Z, Wu T, Zhou S, et al. Prediction of curve progression after posterior fossa decompression in pediatric patients with scoliosis secondary to chiari malformation. *Spine Deform*, 2013, 1(1): 25-32.
- [5] Assina R, Meleis AM, Cohen MA, et al. Titanium mesh-assisted du-

- ral tenting for an expansile suboccipital cranioplasty in the treatment of Chiari 1 malformation. J Clin Neurosci, 2014, 21(9):1641-1646.
- [6] 闫煌, 朱泽章, 吴涛, 等. Chiari 畸形 I 型患者小脑扁桃体下疝程度及脊髓空洞形态与后颅窝容积的相关性. 中国脊柱脊髓杂志, 2012, 22(6):495-499.
- [7] 王梅云, 李树新, 戴建平, 等. Chiari I 型畸形的发病机制探讨及测量方法比较. 临床放射学杂志, 2003, 22(9):727-731.
- [8] 吴涛, 刘臻, 朱泽章, 等. Chiari 畸形 I 型患者后颅窝线性容积的 MRI 测量. 中国脊柱脊髓杂志, 2012, 22(1):44-48.
- [9] 金光玮, 康鹏, 徐应军, 等. Chiari I 型畸形伴脊髓空洞症的可能相关因素分析. 中国临床医学影像杂志, 2004, 15(7):366-369.
- [10] 薛永刚, 祁吉, 牛广明, 等. Chiari I 畸形幕上下面积 MRI 测量. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2006, 4(2):1-3.
- [11] Oldfield EH, Muraszko K, Shawker TH, et al. Pathophysiology of syringomyelia associated with Chiari I malformation of the cerebellar tonsils: Implications for diagnosis and treatment. J Neurosurg, 1994, 80(1):3-15.
- [12] Clarke EC, Fletcher DF, Stoodley MA, et al. Computational fluid dynamics modelling of cerebrospinal fluid pressure in Chiari malformation and syringomyelia. J Biomech, 2013, 46(11):1801-1809.
- [13] 包长顺, 陈明生, 杨福兵, 等. 枕大池成形术对 Chiari 畸形 I 型伴脊髓空洞症患者疗效及脑脊液动力学的影响. 中华神经医学杂志, 2015, 14(7):735-739.
- [14] 孙国柱, 张庆俊, 张更申, 等. 磁共振成像对实验性脊髓空洞症演变动态观察的有用性评价. 中国医学影像技术, 2007, 23(5):655-658.
- [15] Helgeland A, Mardal KA, Haughton V, et al. Numerical simulations of the pulsating flow of cerebrospinal fluid flow in the cervical spinal canal of a Chiari patient. J Biomech, 2014, 47(5):1082-1090.
- [16] 裴新龙, 韩鸿宾, 刘彬, 等. Chiari I 畸形合并脊髓空洞病人脑脊液动力学 MRI 定量研究. 中国医学影像技术, 2004, 20(7):985-988.

《中国医学影像技术》投稿要求(一)

1 总体要求 文稿应具有科学性、先进性、创新性和可读性,力求重点突出,论点明确,资料详实,数据可靠,结构严谨,写作规范,表达准确,文字精炼。文稿撰写应遵照国家标准 GB 7713 科学技术报告、学位论文和学术论文的编写格式,GB 6447 文摘编写规则,GB 7714 文后参考文献著录规则;专家述评 4 000 字左右,研究论著、综述类论文 5 000 字左右,经验交流一般不超过 2 500 字,个案报道不超过 1 000 字。

2 题目 力求高度概括、言简意赅且能反映论文的主题,文题字数一般不超过 20 个汉字,尽量不设副标题,题目中尽量不使用阿拉伯数字开头。

3 作者 作者姓名标注在文题下方,按贡献大小顺序排列,投稿后作者署名及顺序不得随意修改或变更。具备下列条件者可列为作者:①参加选题、研究工作并能解释论文有关问题者;②起草或修改论文中关键性理论或主要内容者;③能对编辑部的修改意见进行核修,并最终同意该文发表者。对研究工作有贡献的其他人可在致谢中列出。通信作者姓名旁应上标加注“*”号,其应对全文内容负责,还应具有对读者提出的质疑进行答辩的能力和义务。如有外籍作者,应征得本人同意,并附有本人签字。

4 单位 在作者的下一行写出单位的全称(具体到科室)、省市和邮政编码。署名作者分别在多个单位者,应分别写出各单位的全称(具体到科室),并用阿拉伯数字在对应的署名作者右上角标注。

5 英文题目 应简明扼要,便于检索,与中文题名内容上应一致,以不超过 10 个实词为宜。除已得到整个科技界或本行业科技人员公认的缩略词语外,不宜使用缩略词语。

6 英文作者 用汉语拼音拼写,姓前名后,姓氏全部大写,名首字母大写,双名首字母大写。例如:王小五,写为:WANG Xiaowu。依据《中国人姓名汉语拼音字母拼写规则》(国家标准编号:GB/28039-2011),姓氏“吕”的汉语拼音应为“LYU”。

7 英文单位 应与中文单位对应,按查阅本单位官方网站或咨询相关职能部门,规范英文单位名称。