

多模态虚拟重建对面神经显微血管减压术的术前指导价值

李美辰 崔 斌 林贵军 郭 辉

摘 要 **目的** 探讨基于三维时间飞跃法血管成像序列(3D-TOF)与三维可变翻转角快速自旋回波序列(3D-SPACE)的多模态虚拟重建图像对显微血管减压术的术前指导意义。**方法** 分析笔者医院连续收治的45例需行显微血管减压术的面肌痉挛患者,术前对其行3D-TOF、3D-SPACE两种序列扫描并应用Neuro Tech软件进行双序列三维重建,将所得图像与术野所见进行对比,进而分析三维重建的优劣性。**结果** 45例手术患者中38例可见面神经出脑干区(root exit zoom, REZ)压迫,7例可见直接接触压迫。三维重建所示责任血管为小脑前下动脉压迫27例、小脑后下动脉压迫12例、两者均有压迫6例;其中存在椎动脉压迫12例。术中所见责任血管为小脑前下动脉26例、小脑后下动脉16例、两者均有压迫3例;其中存在椎动脉压迫12例。对比术中视野与三维重建图像的神经血管相对关系的一致性,两者一致性差异有统计学意义($kappa$ 值 >0.7)。**结论** 通过3D-TOF联合3D-SPACE序列的多模态虚拟重建对于脑内结构显像清楚,特别是可以将面神经和周围血管的解剖关系更加直观的显示。该方法可应用于术前手术难度的评估、个体化手术方案的制定,对患者术后并发症的控制有重要意义。

关键词 显微血管减压术 磁共振成像 责任血管 多模态重建

中图分类号 R745.1

文献标识码 A

DOI 10.11969/j.issn.1673-548X.2018.10.031

Preoperative Guiding Value of Multimodal Virtue Reconstruction for Microvascular Decompression of Facial Nerves. Li Meichen, Cui Bin, Lin Guijun, et al. Peking University Aerospace School of Clinical Medicine, Beijing 100049, China

Abstract Objective To investigate the significance of multimodal reconstruction based on MRI three-dimensional time of flight angiographic sequence (3D-TOF) combined with three-dimensional sampling perfection with application optimized contrast using different flip angle evolutions (3D-SPACE) in directing microvascular decompression (MVD) before operation. **Methods** We continuously admitted 45 hemifacial spasm (HFS) patients who need microvascular decompression. According to the Neuro Tech software, 3D structures were reconstructed by 3D TOF and 3D SPACE sequences and were compared with surgical findings. **Results** The arterial compression or contact on the facial nerve root exit zoom (REZ) was found in 45 patients. The 3D reconstruction images showed that the responsible blood vessels were anterior inferior cerebellar artery in 27, in posterior inferior cerebellar artery in 12, both vessels in 6 and had 12 vertebral artery compression. The surgical findings showed that the responsible blood vessels were anterior inferior cerebellar artery in 26, posterior inferior cerebellar artery in 16, both vessels in 3 and had 12 vertebral artery compression. The consistency between 3D structures and surgical images was statistically significant ($kappa$ value >0.7). **Conclusion** The 3D structure images based on 3D TOF and 3D SPACE sequences can intuitively reveal the anatomic relationship of blood vessels and nerves in brain. This method provide possibility in predicting operation difficulty and developing individualized surgical procedures.

Key words Microvascular decompression; Magnetic resonance imaging; Responsible vascular; Multimodal reconstruction

显微血管减压术(microvascular decompression, MVD)是治疗面肌痉挛、三叉神经痛等功能性神经疾病的首选术式,而手术成功的关键是明确责任血管并进行有效减压^[1]。Hyun等^[2]报道,采用MVD术治疗面肌痉挛疗效较为确切,治愈率可达94.1%,因此术前确定责任血管十分重要。影像学的发展使得三

维稳态构成干预序列(3D-CISS)联合3D-TOF序列、三维稳态进动快速成像序列(3D-FIESTA)联合3D-TOF序列的检查应用于临床中,提高了检出率^[3,4]。传统的二维影像对于术者术中的指导极为有限,因此合理应用双序列(3D-TOF、3D-SPACE)融合重建的三维图像对显微血管减压术有指导作用。

作者单位:100049 北京大学航天临床医学院神经外科

通讯作者:林贵军,主任医师,硕士生导师,电子信箱:ghdoc@163.com;郭辉,副主任医师,电子信箱:ghdoc@163.com

资料与方法

1. 临床资料:本研究资料包含北京大学航天临床

医学院自 2016 年 10 月~2017 年 7 月连续收治的 45 例需行首次显微血管减压术的面肌痉挛患者,检查排除其他不自主面部运动障碍、感觉障碍等病因;术前行 MRI 检查未发现肿瘤、炎症等继发性因素。45 例患者中男性 24 例(53.3%),女性 21 例(46.7%);患者年龄 26~71 岁,平均年龄 50.0 岁,中位年龄 49.0 岁;病程范围 1~14 年,平均病程 5.8 年,中位病程 5.0 年。所有患者均为单侧面肌痉挛,左侧 27 例(60.0%),右侧 18 例(40.0%)。

2. 检查方法:45 例患者术前采用西门子 3.0T 超导磁共振机进行头部 MRI 检查(3D-TOF 和 3D-SPACE 序列),扫描时固定头部,避免微小活动,以减小误差。在矢状面划定扫描区间包括胼胝体至第 4 胸椎,两侧至两耳范围进行薄层扫描。3D-TOF 序列各参数为:TR 21ms,TE 3.43ms,采集时间 363s,厚 0.7mm,层数 44,FoV 位相 90.6%,体素 0.3mm×0.3mm×0.7mm;3D-SPACE 序列各参数为:TR 900ms,TE 15ms,采集 1 次,每容积扫描层数为 224,FOV 210mm,层厚 0.55mm,FoV 位相 78.1%,体素 0.5mm×0.5mm×0.6mm,采集时间为 435s。采集所得 3D-SPACE、3D-TOF 序列数据在后处理工作站,采用 MPR 分别做冠状位及矢状位重建,必要时斜位重建。

3. 图像处理及分析方法:将所得磁共振序列原始 DICOM 数据在计算机第三方软件 Neuro Tech 中打开,以 3D-TOF 序列重建血管、3D-SPACE 序列重建脑干及神经。将两序列自动或手动配准,使得血管、脑内结构互相吻合。在软件上选择 3D-TOF 以 SR(surface rendering)模式重建,调整等面值进行血管切割,保留椎-基底动脉系统,清楚暴露出两侧椎-基底动脉(VA-BA)、小脑前下动脉(AICA)、小脑后下动脉(PICA)、小脑上动脉(SCA)。选择 3D-SPACE 序列以 VR(volume rendering)模式重建,调整窗宽窗位、切割干扰结构,清楚显示面、位听、三叉神经。将两序列融合,使得 TOF 血管像贴合于 SPACE 序列重建出的脑干像上,旋转三维结构观察病侧责任血管与受压神经的关系。由同一名临床经验较为丰富的临床医生及手术医生对三维图像进行观察、判断,确定责任血管及主要受压部位;翻转三维图像至手术角度,观察可能出现的术野解剖关系,了解责任血管走形,评价血管有无呈袢、成角、椎动脉压迫、多根血管压迫等现象出现的可能性,同时进行手术难度预估。

4. 手术方法:患者均由同一位经验丰富的神经外科医生进行手术,且患者均行 MVD 术。采用标准的乙状窦后入路术式:患者取健侧向下侧卧位,保持患侧乳突处于最高位,以耳后发际内乳突根部下方 1cm 为中心做长 4~7cm 直切口,于乳突根部钻孔开直径约 2.5cm 骨窗,上方显露横窦,外侧显露乙状窦缘,切开并悬吊硬脑膜后,缓慢打开小脑延髓外侧池并释放脑脊液,使得术侧小脑半球松弛,进而解剖周围的蛛网膜,在无需过度牵拉的情况下进入手术部位^[5]。术者通过术野所现,根据血管的走形判定责任血管及与三维图像吻合程度,同时将垫棉置于适当位置,探查神经根松解是否完全。

5. 统计学方法:采用 SPSS 20.0 统计学软件进行统计分析,三维图像所得责任血管与金标准(手术录像所见责任血管)进行 kappa 一致性检验,以 kappa 值>0.7 为一致性较高;患侧与健侧神经血管关系的差异比较进行 χ^2 检验,以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 术前三维重建结果:45 例患者中,患侧 38 例(84.44%)存在 REZ 区压迫,7 例(15.56%)存在直接接触压迫。健侧 9 例(20%)存在 REZ 区压迫,5 例(11.11%)存在直接压迫,两者比较,差异有统计学意义($\chi^2=47.29,P<0.01$)。

2. 责任血管数量:观察三维重建结果,单根血管压迫为 27 例(60%),多根血管压迫为 18 例(40%)。单纯 AICA 压迫(含 VA+AICA)为 27 例(60%)、单纯 PICA 压迫(含 VA+PICA)为 12 例(26.67%)、AICA 及 PICA 均有压迫即共干分叉处产生压迫 6 例(13.33%,表 1)。

表 1 45 例面肌痉挛患者三维重建与术中所见的责任血管数量及性质

责任血管	三维重建($n=45$)	术中所见($n=45$)
单根血管		
AICA	23	22
PICA	4	8
多根血管		
VA+AICA	4	4
VA+PICA	8	8
AICA+PICA	6	3

AICA. 小脑前下动脉;PICA. 小脑后下动脉;VA. 椎动脉

3. 三维重建检出责任血管的特异性见表 2。

表2 45例患者的虚拟重建与术中所见责任血管的一致性对比

三维重建	AICA	PICA	VA + AICA	VA + PICA	AICA + PICA
AICA	22	1	0	0	0
PICA	0	4	0	0	0
VA + AICA	0	0	4	0	0
VA + PICA	0	0	0	8	0
AICA + PICA	0	3	0	0	3

比较每例患者三维重建与术中所见责任血管名称,并做 $kappa$ 一致性检验,两者比较差异有统计学意义, $kappa$ 值为 $0.79 > 0.7$, $P < 0.05$

4. 术后疗效: 45例面肌痉挛患者中, 38例

(84.44%) 手术后面部抽搐症状立即消失, 7例(15.56%) 抽动较前明显缓解; 其中缓解的5例患者术后2个月内完全恢复, 2例仍有轻微抽搐; 而术后立即恢复的患者中存在1例术后1个月出现复发。术后听力下降9例, 轻微面瘫6例, 走路不稳及头晕10例, 死亡病例0%。术后6个月随访结果如下: 听力下降9例中, 7例恢复, 1例仍存在但较前好转, 1例听力全无; 轻微面瘫6例中, 4例恢复, 2例无好转; 走路不稳及头晕10例中, 9例恢复正常, 2例无好转。

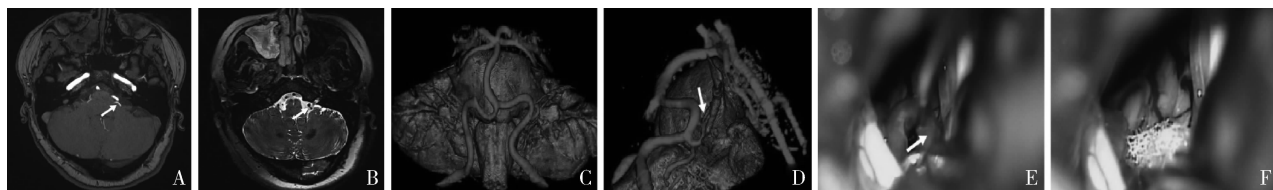


图1 面肌痉挛患者术前检查及手术图像

A. 3D-TOF 序列轴位, 血管压迫位置(箭头所示); B. 3D-CISS 序列轴位, 责任血管(箭头所示); C. 应用 3D-TOF 与 3D-SPACE 多序列重建的三维结构, 可见责任血管呈祥状压迫面神经 REZ 区; D. 旋转至手术体位的面神经(箭头所示); E. 术中所见呈祥的责任血管; F. 术中垫棉垫开血管处

讨 论

面肌痉挛是指一侧面部肌肉间断性不自主阵发性抽动或无痛性强直, 其主要发病原因是面神经出脑干区受脑血管压迫, 导致神经持续放电, 继而引起面神经运动核团功能变化^[6]。术中常见的责任血管包括 PICA、AICA、VA^[7]。近年来, 医学数字影像设备的不断更新及新的传输标准 DICOM 的推出, 建立基于解剖结构的数字化虚拟人及其器官的三维可视化模型研究已经引起越来越广泛的关注^[8]。

1. 3D-TOF、3D-SPACE 序列优缺点分析: 3D-TOF 序列是典型的“白血法”成像, 即高流速的血管在黑色脑脊液的映衬下显现为明亮的白色信号, 因此常通过追踪连续的层面来确定血管的位置及来源。但此序列对于流速较慢的血管评估效果较差, 特别是对责任血管为静脉的图像则无法在该序列中显示^[9]。3D-SPACE 序列是“黑血法”成像, 即血管为黑色低信号, 而脑脊液则显示为明亮的白色高信号, 因此脑脊液与神经、血管反差明显, 可清楚地显示神经的分支、走向。该序列能在后期重建获得完整的血管形态, 有利于血管的定位及定性^[10-12]。

2. 多模态虚拟重建的准确性: 多模态融合技术是指利用计算机技术将多种影像学检查所获得的影像学信息进行数字化综合处理, 多元数据协同应用, 进行空间配准后, 不同模态影像取长补短, 融合成一种

全新的信息, 以达到计算机辅助治疗的效果^[13,14]。医生通过三维重建可视化技术能够精确直观地观察和处理人体病灶及其周围组织器官, 极大地促进了精确诊断、外科手术计划等发展^[15]。虚拟重建图像可三维呈现并各角度旋转, 不仅提高诊断率, 更能给手术医生提供最直观、立体的影像指导。由于本研究重建过程中脑干及神经根结构均由原始图像数据直接生成, 因此图像不会造成结构失真, 更接近于真实结构, 避免人为勾画绘色的干扰。研究中双序列空间配准较为精确, 由于 3D-SPACE 可以很好地呈现血管的流空效应, 清楚显示出血管壁, 血管在图像中呈中空结构; 而 3D-TOF 显示血液流动状态, 因此双序列融合后可见大血管椎-基底动脉的 3D-SPACE 像呈管套式覆盖于 3D-TOF 像的外表面, 显示出配准的准确性, 避免误差^[16]。

3. 多模态虚拟重建图像与术野图像对比: 三维重建结构与术中所见结构对比, 45例患者的图像中 39例术前三维图像与术野所见图像基本一致, 吻合率达 86.67%; 6例患者两图像有所偏差, 偏差均为仅 PICA 为责任血管与 AICA、PICA 共干为责任血管的差异。39例吻合图像中, 三维结构可准确反映脑内神经、血管相对位置结构, 并且图像旋转至手术体位时可与术野所见完全相符, 使得术者在术前提前了解责任血管的走形、多寡以及是否有呈祥, 便于术中精准

分辨血管情况进行有效减压。而 6 例不完全相符的病例中,有如下原因:患者的手术方式虽均为乙状窦后入路,但保持患者侧卧位且乳突处于最高点的条件下,将患者调整体位至合适位置,难免造成体位的轻微差异^[17]。同时由于患者个体化差异,解剖结构的精准位置不能统一,无法使得每例患者术野均为同一位置,因此在旋转三维图像至手术体位观察相对结构时难以完全做到与术中相一致,但 REZ 区及主要神经血管两图像均一致。

4. 三维重建结构判定责任血管:三维重建结构术前特异性判定责任血管的准确率达 93.33%,即 45 例患者中有 3 例判定不准确,存在 3 例患者的责任血管三维重建判定与术中所见判定有所偏差,并且该 3 例患者责任血管均为共干血管,术中仅显示只有 PICA 一支产生压迫,可能与脑内神经血管结构紧密相关,神经、血管漂浮在脑脊液中,开颅手术过程中释放脑脊液时使得神经血管随脑脊液的释放而产生移位。三维重建中显示的 AICA、PICA 共干处骑跨于面神经,而在术中结构相对改变,只观察到 PICA 一分支压迫于面神经 REZ 区;同时由于三维结构图像不存在具体数值,无法准确测量目标血管与面神经根部的距离,且面神经 REZ 区与神经出脑干根部具体距离没有相对统一的结果,导致医师在判定血管压迫 REZ 区时有所偏差。此外,本研究血管命名均根据血管走形,因此小脑前下动脉即从共干处分出向头部走形,供应头部方向的脑组织,而小脑后下动脉即从共干处分出向颈部方向走形供应脑组织。后颅窝入路手术中,牵拉小脑,首先暴露外展神经至面神经间脑组织,因此小脑后下动脉压迫的可能性更大。

5. 虚拟重建对手术的指导意义:研究期间 45 例手术患者,其中有 44 例(97.78%) 在术者进行手术时反映对手术有指导意义,通过锁孔术野看到的解剖关系可以大致了解血管走形、垫棉放置位置。存在 1 例小脑后下动脉压迫的手术不能给予术者直观指导,但对于术者排除其他血管压迫方面提供了很大帮助。本研究的缺陷在样本量较小,随访时间较短,延长随访时间、增加样本量可进一步提高研究的可信度,更好地指导临床工作。虽然现代技术可以初步建立了脑内的三维模型,但由于神经的信息复杂性与个体化差异较大,难以精准抽取和分割,很多仍停留在初始阶段,尚有许多亟待解决的问题,因此神经系统的模拟仍是目前面临的巨大挑战。同时二维图像数据的分割、配准、融合、计算机三维重建在实际应用中也有

许多尚待解决的问题^[18]。

综上所述,基于 3D-TOF、3D-SPACE 序列的多模态虚拟重建结构可任意角度旋转,为术者提供更立体、直观的指导;如实反映脑内神经血管的解剖结构;且检出责任血管特异性较高,使得术者在手术中有的放矢,提高手术疗效、降低并发症发生率。医学图像处理技术、计算机信息化技术的联合应用,为医学的发展带来新的动力,也为神经外科手术提供更广阔的发展前景。

参考文献

- 1 于炎冰,张黎. 经乙状窦后入路显微血管减压术治疗面肌痉挛的手术技巧[J]. 中华神经外科杂志, 2012, 28(3):322-323
- 2 Hyun SJ, Kong DS, Park K. Microvascular decompression for treating hemifacial spasm: lessons learned from a prospective study of 1,174 operations[J]. Neurosurg Rev, 2010, 33(3):325-334
- 3 付晓君,唐红,王建祯,等. 三维时间飞跃 MRI 血管成像在面肌痉挛微血管减压术中价值[J]. 中华实用诊断与治疗杂志, 2016, 30(12):1230-1232
- 4 Angulo MG, Garay FS, Zufiria LO, et al. Study of neurovascular contact in essential hemifacial spasm: an example of CISS sequence and magnetic resonance angiography[J]. Neurología, 2010, 25(5):287-294
- 5 华峰,陈俊杰,奚少东,等. 微血管减压术用于面肌痉挛的临床价值[J]. 实用临床医药杂志, 2017, 21(13):118-120
- 6 Ohtani K, Mashiko T, Oguro K, et al. Preoperative three-dimensional diagnosis of neurovascular relationships at the root exit zones during microvascular decompression for hemifacial spasm[J]. World Neurosurg, 2016, 92:171-178
- 7 Lee SH, Park B J, Shin HS, et al. Prognostic ability of intraoperative electromyographic monitoring during microvascular decompression for hemifacial spasm to predict lateral spread response outcome[J]. J Neurosurg, 2016, 126(2):391-396
- 8 Shimizu M, Imai H, Kagoshima K, et al. Detection of compression vessels in trigeminal neuralgia by surface-rendering three-dimensional reconstruction of 1.5- and 3.0-T magnetic resonance imaging[J]. World Neurosurg, 2013, 80(3-4):378-385
- 9 吴国庆,王蕾,尹卫宁,等. 面神经 3D-TOF-MRA 及 3D-FIESTA 扫描对原发性面肌痉挛手术的指导价值[J]. 中华医学杂志, 2013, 93(45):3614-3616
- 10 吴文佼,张威. 三叉神经痛及面肌痉挛的影像学诊断进展[J]. 实用医学杂志, 2017, 33(11):1894-1896
- 11 王萍,董杰. 磁共振 3D-SPACE 序列对原发性面肌痉挛的诊断价值[J]. 实用医药杂志, 2017, 34(6):526-527
- 12 Watanabe Y, Makidono A, Nakamura M, et al. 3D MR cisternography to identify distal dural rings: comparison of 3D-CISS and 3D-SPACE sequences[J]. 2011, 10(1):29-32
- 13 Oyama R, Jakab M, Kikuchi A, et al. Towards improved ultrasound-based analysis and 3D visualization of the fetal brain using the 3D Slicer[J]. Ultrasound Obstet Gynecol, 2013, 42(5):609

(转第 106 页)

的一个风险因子。尽管目前仍不清楚其机制如何,或许其参与免疫系统或肾素血管紧张素醛固酮系统的激活。

此外,笔者还发现,患者的血肌酐、尿素氮、尿酸明显升高,血清 $\beta 1$ 球蛋白与血肌酐和尿酸分别具有显著的相关性,而高血肌酐和高尿酸是评价肾功能的生物学标志物,该现象在肾衰竭患者中普遍存在。近期的研究显示,高尿酸是急性肾损伤的一个风险因子^[9,10]。以上数据显示,CHF 患者可能由于低灌注和血清免疫球蛋白的聚集而存在肾功能不全的情况。CHF 患者血流动力学紊乱导致肾灌注减少,静脉压升高是上述肾损伤的始动因素,即所谓的心肾综合征。心排出量减少引起的肾灌注减少不仅损伤肾小球滤过率,也将使部分肾组织因缺氧受损,交感神经系统或肾素血管紧张素醛固酮系统也将会参与这一过程的调节^[11]。

关于血清 $\beta 1$ 球蛋白与以上肾功能指标具有显著的相关性可能还与急性期反应有关。既往研究发现,IL-6 转基因小鼠能够激活急性期反应的基因,促进 $\alpha 2$ 和 β 球蛋白的表达,并导致高 γ 球蛋白血症,这些都会导致肾脏疾病的进一步进展。由最初的膜肾小球肾炎发展为阶段性肾小球硬化,最终导致广泛的肾小管损伤。该免疫激活过程也发生于血友病、特发性血小板减少性紫癜 (ITP) 和局灶性阶段性肾小球硬化使用大剂量免疫球蛋白治疗的患者^[12]。以上研究显示,炎性因子或许导致了肾小球膜细胞的损伤并导致了肾衰竭。

本研究分析了 CHF 患者 SPEP 的特点,并评价了其在 CHF 患者预后中的价值和探索了其原因。虽然研究有病例数较少和相关性评价较为简洁等局限性,但结果与此前的研究基本一致,并能被此前的理论所解释。因此,本研究为 SPEP 在 CHF 患者的诊断和预后评价上提供了一个新的思路。

参考文献

- Armin P, Nina G, Peter K, *et al.* Quantitation of serum free light chains in combination with protein electrophoresis and clinical information for diagnosing multiple myeloma in a general hospital population[J]. Clin Chem J, 2008, 54(11): 1823 – 1830
- Murry F, William B, William DP, *et al.* Electrophoretic studies in liver disease. I. comparison of serum and plasma electrophoretic patterns in liver disease, with special reference to fibrinogen and gamma globulin patterns[J]. J Clin Invest, 1951, 30(7): 718 – 728
- Nystrom LM, Buckwalter JA, Syrbu S, *et al.* Serum protein electrophoresis in the evaluation of lytic bone lesions[J]. Iowa Orthop J, 2013, 33(2): 114 – 118
- Rainer TH, Lam NY, Man CY, *et al.* Plasma b – globin DNA as a prognostic marker in chest pain patients[J]. Clin Chim Acta, 2006, 368(2): 110 – 113
- Sandrine L, Richard WJ. When are pro – inflammatory cytokines SAFE in heart failure[J]. Eur Heart J, 2011, 32(6): 680 – 685
- Douglas LM. Inflammatory mediators and the failing heart past, present, and the foreseeable future[J]. Circ Res, 2002, 91(11): 988 – 998
- Stephane H, Emilio H, Stefan DA, *et al.* Inflammation as a therapeutic target in heart failure? A scientific statement from the Translational Research Committee of the Heart Failure Association of the European Society of Cardiology[J]. Euro J Heart Fail, 2009, 11(2): 119 – 129
- Mihai G, Joseph S, Rossi MD, *et al.* Characterization and prognostic value of persistent hyponatremia in patients with severe heart failure in the ESCAPE trial[J]. Congest Heart Fail, 2008, 14(1): 46 – 46
- Diana IL, Michel C, Wei Chen, *et al.* Uric acid as a target of therapy in CKD[J]. Am J Kidney Dis, 2013, 61(1): 134 – 146
- Vijay L, Richard JJ, Bhagwan D, *et al.* Elevated uric acid increases the risk for acute kidney injury[J]. Am J Med, 2012, 125(3): 9 – 17
- Kevin D, Adriaan A, Voorsa, *et al.* The cardiorenal syndrome in heart failure[J]. Prog Cardiovasc Dis, 2011, 54(2): 144 – 153
- Laidlow R, Baiton J, Wilke M, *et al.* Acute renal failure in acquired haemophilia following the use of high dose intravenous immunoglobulin [J]. Haemophilia, 1999, 5(4): 270 – 272
- (收稿日期: 2017 – 12 – 20)
- (修回日期: 2018 – 01 – 17)
- (接第 117 页)
- Egger J, Kapur T, Fedorov A, *et al.* GBM volumetry using the 3D Slicer medical image computing platform[J]. Sci Rep, 2013, 3(3): 1364
- Pommert A, Höhne KH, Burmester E, *et al.* Computer – based anatomy a prerequisite for computer – assisted radiology and surgery[J]. Acad Radiol, 2006, 13(1): 104 – 112
- 胡昊, 吴飞云, 许晓泉, 等. 磁共振 3D – SPACE 序列对血管压迫性面肌痉挛的诊断价值[J]. 实用放射学杂志, 2014, 30(2): 203 – 206
- Ishikawa M, Tanaka Y, Watanabe E. Microvascular decompression under neuroendoscopic view in hemifacial spasm: rostral – type compression and perforator – type compression [J]. Acta Neurochirurg, 2015, 157(2): 329 – 332
- Imelińska C, Downes MS, Yuan W. Semi – automated color segmentation of anatomical tissue[J]. Comput Med Imag Graph, 2000, 24(3): 173
- (收稿日期: 2017 – 12 – 13)
- (修回日期: 2018 – 01 – 03)