

## · 临床研究 ·

3D 打印导航模板在圆孔外口三叉神经第二支  
射频治疗中的应用

韩影 王然 钮红祥 陆丽娟

**【摘要】** 目的 评估 3D 打印导航模板在圆孔入路三叉神经第二支射频热凝治疗中的有效性和准确性。方法 选择原发性三叉神经第二支疼痛患者 43 例,男 27 例,女 16 例,年龄 45~85 岁,ASA I 或 II 级,按照随机数字表法分为观察组(A 组,  $n=21$ )和对照组(B 组,  $n=22$ )。所有患者术前均行头颅 CT 三维重建,模拟穿刺并确定最佳穿刺方案。A 组采用 3D 打印导板辅助经皮穿刺,B 组在 CT 引导下常规穿刺,术中均经 3D-CT 影像及电刺激试验确认针尖位置后再行射频热凝治疗。记录患者一次穿刺成功例数、术中 CT 扫描次数、术中 CT 辐射量、手术时间、术后即刻疼痛 NRS 评分以及感觉减退、面部肿胀、角膜反射减弱、脑脊液漏等并发症发生情况。结果 A 组一次性穿刺成功率明显高于 B 组(90.4% vs. 22.7%),CT 扫描次数明显少于 B 组[(1.1±0.3)次 vs. (2.8±1.3)次],CT 辐射量明显小于 B 组[(323.1±108.7)mGy\*cm vs. (787.8±355.7)mGy\*cm],手术时间明显短于 B 组[(15.3±5.5)min vs. (28.5±6.5)min]( $P<0.05$ )。与术前比较,术后两组患者 NRS 评分明显降低[A 组:(3.1±1.7)分 vs. (8.5±0.7)分;B 组:(3.1±1.5)分 vs. (8.5±0.7)分]( $P<0.05$ );两组患者 NRS 评分组间差异无统计学意义。所有患者均未发生严重并发症。结论 在充分术前路径规划的基础上,3D 打印导航模板能够明显提高圆孔穿刺精准性、安全性,提高三叉神经第二支射频治疗的效率与质量。

**【关键词】** 三叉神经痛;3D 打印;三维重建;计算机辅助设计;圆孔

**Application of 3D printing navigational template in puncturing of foramen rotundum for radiofrequency thermocoagulation to treat primary trigeminal neuralgia (V2)** HAN Ying, WANG Ran, NIU Hongxiang, LU Lijuan. Department of Pain Medicine, Nanjing Drum Tower Hospital, The Affiliated Hospital of Nanjing University Medical School, Nanjing 210008, China  
Corresponding author: LU Lijuan, Email: 932200932@qq.com

**【Abstract】** **Objective** To explore the effectiveness and precision of 3D printing navigational template in puncturing of foramen rotundum for radiofrequency thermocoagulation to treat primary trigeminal neuralgia (V2). **Methods** Forty-three patients (27 males, 16 females, aged 45-85 years, ASA grade I or II) with primary trigeminal neuralgia (V2) were included and randomly divided into experimental group (group A,  $n=21$ ) and control group (group B,  $n=22$ ). After taking a CT scan and 3D reconstruction of each patient's skull, puncture simulations were carried out, then the final puncture schemes were decided. In group A, puncture was performed under guidance of navigational template but was conducted empirically in group B. In both groups, 3D-CT image and electrical stimulation were used in all the procedures to confirm the location of point of needle before radiofrequency thermocoagulation. The cases of successful puncture in one-time, times of CT scanning, radiant quantity, operation time during the operation in both groups were recorded. Furthermore, NRS scores and complications including hypoesthesia, motor function degeneration, hematoma, absence of corneal reflex, cerebrospinal fluid leakage were recorded after procedure. **Results** The rate of successful puncture in one-time of group A was superior than that of group B (90.4% vs. 22.7%). Compared with group B, CT scan times [(1.1±0.3) times vs. (2.8±1.3) times], radiant quantity [(323.1±108.7) mGy\*cm vs. (787.8±355.7) mGy\*cm], operation time [(15.3±5.5) min vs. (28.5±6.5) min] in group A were significantly reduced ( $P<0.05$ ). NRS scores of both two groups were obviously reduced after surgery [group A: (3.1±1.7) scores vs. (8.5±0.7) scores; group B: (3.1±1.5) scores vs. (8.5±0.7) scores] ( $P<0.05$ ), but the effectiveness in group A was not superior

基金项目:南京市医学科技发展项目(ZKX15015)

作者单位:210008 南京大学医学院附属鼓楼医院疼痛科(韩影、陆丽娟);徐州医科大学研究生学院(王然);苏州市吴中区角直人民医院(钮红祥)

通信作者:陆丽娟,Email: 932200932@qq.com

than group B. No serious complications occurred in all patients. **Conclusion** On the basis of sufficient preoperative planning of puncture approach, 3D printing template can significantly enhance the effectiveness and precision of puncture of foramen rotundum, improving the efficiency and quality of radio-frequency treatment of primary trigeminal neuralgia (V2).

**【Key words】** Trigeminal neuralgia; 3D printing; 3D reconstruction; Computer aided design; Foramen rotundum

三叉神经痛是较常见的脑神经疾病,严重影响患者的生活质量,经皮射频热凝治疗因操作简便、有效率高、并发症少、可重复治疗等优点,被认为是治疗三叉神经痛最为有效的方法之一,在国内外得到广泛应用<sup>[1~3]</sup>。目前,对于三叉神经第二支疼痛,经皮圆孔穿刺行射频热凝术由于治疗精准,已成为较卵圆孔穿刺的优选治疗方案<sup>[4~6]</sup>,但圆孔穿刺难度较大,对操作者操作经验要求较高。本课题组最近研究显示,圆孔外口颧突下入路可作为三叉神经第二支治疗的优选穿刺入路<sup>[7]</sup>,而前期研究已将 3D 打印导航模板应用于三叉神经半月节射频治疗<sup>[8]</sup>,本研究将此技术用于圆孔外口三叉神经第二支射频治疗,现报道如下。

### 资料与方法

**一般资料** 本研究经医院伦理委员会批准,术前与患者签署知情同意书。选择 2015 年 7 月至 2016 年 10 月在本院住院的三叉神经第二支疼痛患者,性别不限,年龄 45~85 岁,ASA I 或 II 级。纳入标准:符合国际头面痛学会分类委员会确定的原发性三叉神经痛的诊断标准<sup>[9]</sup>,疼痛部位为三叉神经第二支分布区;经药物治疗后失败或不能耐受药物的不良反应;同意参与研究随访。排除标准:有未治疗或未控制的高血压、糖尿病;严重的心、肝、肺、肾疾病;穿刺部位感染;出凝血功能障碍;精神障碍、配合欠佳。按照随机数字表法将患者分为观察组(A 组)和对照组(B 组)。

**方法** 三维重建及穿刺路径评估:所有患者术前行头颅 CT 薄层扫描,扫描层厚为 0.8 mm,以 Dicom 格式导入 MIMICS 医学建模软件,重建头颅骨骼三维立体模型;观察圆孔形态与空间位置,首先建立由颧突下进针,经翼腭窝穿刺圆孔外口的针道,调整其进针点及穿刺方向,使其避开骨性结构及重要组织,得到最佳穿刺路径;根据针道与其周围结构的相对空间位置评估实际穿刺的难易程度及相关风险。

确定穿刺方案并制作导航模板:根据评估结果确定最佳穿刺方案,包括进针点、穿刺角度及穿刺

深度。导航模板制作过程:将薄层 CT 扫描数据以 Dicom 格式导入 MIMICS 软件,利用其计算机辅助设计(computer aided design, CAD)功能建立与其牙齿完全贴合的牙套,并以此设计穿刺通道,生成个性化导航模板;将数字化导航模板切片并导入激光快速成型机,生成实物导航模板。术前嘱患者试戴导航模板,调整咬合方式使牙齿与牙槽紧密贴合,即为最佳位置。试戴后将导航模板消毒,后交于临床使用。

**治疗过程**:所有患者手术均在 CT 室进行,入室后患者仰卧于扫描床,开放静脉通道,监测 SpO<sub>2</sub> 和 ECG,静脉注射咪达唑仑 0.02 mg/kg,采用加拿大 Baylis 射频疼痛治疗仪进行治疗。穿刺步骤:A 组常规消毒面部皮肤,嘱患者正确咬合导航模板,确定稳固,以 1%利多卡因进行面部穿刺点浸润麻醉后,以前端裸露 0.5 cm 的 10 cm 射频针沿穿刺柱穿刺至预定深度,患者常会出现支配区的原有剧痛或麻木放电感,CT 薄层扫描并三维重建,确认针尖位于圆孔外口正确位置。B 组常规消毒面部皮肤,根据术前规划的进针点、穿刺方向进行穿刺,穿刺过程以 CT 三维重建影像提供立体定位参考,调整方向及深度直至针尖进入圆孔外口或卵圆孔内正确位置。测试及射频热凝:在 CT 扫描确定针尖到达靶点后,两组患者进行如下操作过程。取出穿刺针芯,连接射频电极,先以高频 50 Hz,再以低频 2 Hz 进行感觉和运动神经测试,进一步确定穿刺部位正确无误,即行射频热凝治疗,分别以 60、65、70℃ 的温度各进行三次治疗,每次 60 s。为减少患者痛苦、降低心血管反应,两组患者在进行射频热凝时均给予瑞芬太尼 0.5~1.0 μg/kg 单次静脉推注,同时观察患者呼吸及脉氧变化,必要时吸入氧气。治疗后以针及棉签测试面部皮肤的痛觉及触觉变化,可出现痛觉消失、触觉迟钝、扳机点刺激无疼痛发作。术后治疗:予以口服消炎、镇痛、消肿药物,继续口服小剂量卡马西平或加巴喷丁,并在 1 周内逐渐减量至停药。

**观察指标** 记录患者一次穿刺成功例数(第一次进针后即到达靶点)、术中 CT 扫描次数、术中 CT

辐射量、手术时间(经皮局部麻醉开始至手术结束拔出射频针,包括局部麻醉、射频针穿刺及调整时间、射频运动和感觉测试时间、标准射频时间)以及术后即刻疼痛 NRS 评分。记录面部肿胀、脑脊液渗漏、角膜反射减弱、咀嚼无力、感觉减退、皮肤麻木感等并发症发生情况。

**统计分析** 采用 SPSS 17.0 统计软件进行数据分析。正态分布的计量资料以均数±标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,组间比较采用独立样本 *t* 检验;计数资料比较采用  $\chi^2$  检验。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

### 结 果

本研究共纳入 43 例患者。观察组 21 例患者中 19 例一次穿刺到达圆孔外口,未一次穿刺成功的 2 例均经调整头颈后伸角度后再次穿刺到达靶点,到达靶点后 15 例诱发出三叉神经第二支分布区异感,其余 6 例进行了针尖调整,其中 3 例仍未能诱发出异感;对照组 22 例患者中 5 例一次穿刺到达圆孔外口,其余 17 例经反复调整到达靶点,其中 5 例未能诱发出异感,所有患者均按计划完成射频治疗。

两组患者性别、年龄、ASA 分级和病程差异无统计学意义(表 1)。

表 1 两组患者一般情况的比较

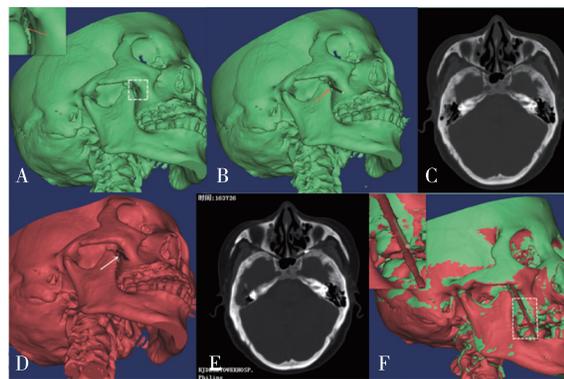
组别	例数	男/女 (例)	年龄 (岁)	ASA I/II 级 (例)	病程 (年)
A 组	21	12/9	68.1±10.1	4/17	6.3±3.8
B 组	22	14/8	68.6±11.1	3/19	5.9±3.6

3D 打印导航模板引导下穿刺路线与术前规划基本吻合(图 1)。

A 组一次性穿刺成功率明显高于,CT 扫描次数明显少于,CT 辐射量明显小于,手术时间明显短于 B 组( $P < 0.05$ )(表 2)。

与术前比较,术后两组患者 NRS 评分明显降低[A 组:(3.1±1.7)分 vs. (8.5±0.7)分;B 组:(3.1±1.5)分 vs. (8.5±0.7)分]( $P < 0.05$ );两组患者 NRS 评分组间差异无统计学意义。

43 例患者中术后有 38 例出现三叉神经第二支配区感觉减退及皮肤麻木感,均可以耐受。A 组出现 1 例面部肿胀;B 组出现 8 例( $P < 0.05$ ),均经按压及冰敷后肿胀减退,所有患者均未发生脑脊液渗漏、角膜反射减弱、咀嚼无力等严重并发症。



注:A:3D 头颅重建图像;B、C:3D 头颅重建图像及颅底冠状位 CT 影像,模拟穿刺针针尖穿刺至圆孔外口;D、E:3D 头颅重建图像及颅底冠状位 CT 影像,显示实际穿刺针针尖位于圆孔外口;F:术前模拟与术中头颅 3D 重建模型配准,可见真实穿刺针于术前规划模拟针位置基本重合,提示 3D 打印导航模板导航精准性高。

图 1 3D 打印导航模板导航精准性评估

表 2 两组患者手术疗效及术中情况的比较

组别	例数	一次穿刺 成功率 (%)	CT 扫描次数 (次)	辐射量 (mGy * cm)	手术时间 (min)
A 组	21	19(90.5) <sup>a</sup>	1.1±0.3 <sup>a</sup>	323.1±108.7 <sup>a</sup>	15.3±5.5 <sup>a</sup>
B 组	22	5(22.7)	2.8±1.3	787.8±355.7	28.5±6.5

注:与 B 组比较,<sup>a</sup> $P < 0.05$

### 讨 论

原发性三叉神经痛是一种面部发作性剧烈疼痛,疼痛区域多分布在额颞部、鼻部、面颊、上下口唇、上下牙等部位,呈单侧性、阵发性。三叉神经痛疼痛剧烈,严重影响患者的生活质量,甚至增加脑卒中的风险<sup>[1]</sup>。Sweet 等<sup>[2]</sup>首先将射频热凝术用于三叉神经痛治疗,其治疗机制为射频电流将传导痛觉的无髓鞘纤维加热至 70℃ 左右时发生蛋白质凝固变性,而传导触觉的有髓鞘纤维则能耐受较高温度,保留触觉达到止痛目的<sup>[10~12]</sup>。该技术具有疗效好、创伤小、风险低、可重复治疗等优点,故常被用于药物治疗无效的三叉神经痛的治疗,尤其是不能耐受或不愿手术的年老体弱患者<sup>[3]</sup>。

三叉神经第二支疼痛临床治疗较为困难,常采用 Hartel 前入路卵圆孔穿刺半月神经节射频热凝术,以病侧口角外侧 2.5~3.0 cm 处作为穿刺进针点,CT 扫描辅助针尖方向及深度调整以到达卵圆孔<sup>[13]</sup>。但由于半月神经节内的解剖结构复杂,三叉神经的三个分支在半月节处纤维密集接触,很难预

先精准界定第二支在半月节的分布<sup>[14]</sup>,因此针尖到达卵圆孔后还需要通过神经刺激诱发第二支目标位置的疼痛以确定治疗范围。治疗中此过程常需反复多次才能完成,甚至部分患者无法选择性诱发单纯上颌神经分布区疼痛,此时如盲目行射频热凝术可能部分毁损第一支或第三支。研究表明经卵圆孔穿刺射频热凝治疗三叉神经第二支疼痛可影响眼神经及下颌神经功能,导致严重并发症<sup>[15]</sup>。此外,反复穿刺、测试,耗时费力,也大大增加患者心血管风险,还会引起面部血肿、颅内出血、脑脊液外漏、神经损伤等严重并发症。

为解决此临床问题,Huang 等<sup>[4]</sup>提出 CT 引导圆孔穿刺行三叉神经第二支阻滞的方法,结果表明,与卵圆孔半月神经节射频热凝术比较,圆孔穿刺行上颌神经射频热凝治疗具有相似的短期和长期疗效,而且耗时更少,并且咀嚼无力、角膜穿孔等并发症也大大减少。李顺等<sup>[5]</sup>提出穿刺到达圆孔外口行射频热凝治疗可精准干预到上颌神经,达到满意疗效。陶高见等<sup>[6]</sup>提出从眶外下缘进针,经过眶下裂穿刺圆孔的技术,发现由此入路进针更易进入圆孔,精准性更高,可得到满意治疗效果。尽管圆孔穿刺较卵圆孔穿刺行射频热凝治疗有上述诸多优势,但由于颅底圆孔的直径明显小于卵圆孔,患者体表尚无明显的解剖结构用以指导进针,亦无明显的解剖标志可以为术者提供到达靶点的触感,单纯经验性穿刺难度高、风险大。

目前,有条件的疼痛专科采用 3D-CT 影像引导术中穿刺<sup>[16, 17]</sup>。与单纯 CT 引导比较,3D-CT 能够显示直观的空间解剖结构,提高术者穿刺效率,但实际操作中进针点与进针方向需要人为控制,故仍需要多次调整才能到达靶点。本课题组在术前三维重建、客观评估穿刺路径的基础上,将 3D 导航技术应用于引导圆孔外口穿刺。与对照组比较,观察组的一次穿刺成功率、CT 扫描次数、CT 辐射量、手术时间均具明显优势。但研究也显示,两组患者中均有部分患者即使到达圆孔外口,依然未能诱发上颌支分布区异感,而这也是导致部分患者疗效不佳的直接原因,增加射频针工作段长度(如由 5 mm 增加至 10 mm)、使用双极射频、弯针、圆孔内入路等可能是解决此问题的有益尝试,本课题组也将做进一步的研究。

数字化技术在临床诊疗中的广泛应用,已悄然改变着现代医学的基本面貌。以“个性化治疗”为基础的精准医学一直以来都是临床工作者的追求

之一,数字医学的进步是精准医疗最直接的动力,3D 打印技术的不断提高更是开辟了个性化精准医学的新篇章。我国的数字医学虽然还处于萌芽阶段,但其突飞猛进之势,正推动着以“精准化、个性化、微创化、远程化”为主要特征的现代医学的快速发展。

微创介入治疗作为疼痛科的核心技术,在疼痛诊疗中起着举足轻重的作用,而精准靶点穿刺是微创介入治疗成功的关键,精准手术的概念与慢性疼痛的介入治疗理念高度贴合,应当在疼痛科得到广泛推广。完善的术前规划及 3D 打印导航系统的引导能够明显提高微创介入手术的准确性,使得原本复杂的手术过程变得简洁,降低手术风险的同时保证了手术安全,使年轻医师也能安全完成传统意义的疑难手术,对人才队伍匮乏的疼痛学科建设是强有力的支持。尽管 3D 打印导航模板在疼痛微创介入手术中的应用还处于开发和研究阶段,但是前景广阔,不久的将来,个性化的 3D 术前评估及 3D 打印导航模板引导穿刺必将成为三叉神经痛等疼痛微创治疗的重要组成部分。

综上所述,在充分术前路径规划的基础上,3D 打印导航模板能够明显提高圆孔穿刺精准性、安全性,提高三叉神经第二支射频治疗的效率与质量。

#### 参 考 文 献

- [1] Spatz AL, Zakrzewska JM, Kay EJ. Decision analysis of medical and surgical treatments for trigeminal neuralgia: how patient evaluations of benefits and risks affect the utility of treatment decisions. *Pain*, 2007, 131(3): 302-310.
- [2] Sweet WH, Wepsic JG. Controlled thermocoagulation of trigeminal ganglion and rootlets for differential destruction of pain fibers. *J Neurosurg*, 1974, 40(2): 143-156.
- [3] Kanpolat Y, Savas A, Bekar A, et al. Percutaneous controlled radiofrequency trigeminal rhizotomy for the treatment of idiopathic trigeminal neuralgia: 25-year experience with 1,600 patients. *Neurosurgery*, 2001, 48(3): 524-534.
- [4] Huang B, Yao M, Feng Z, et al. CT-guided percutaneous infrazygomatic radiofrequency neurolysis through foramen rotundum to treat V2 trigeminal neuralgia. *Pain Med*, 2014, 15(8): 1418-1428.
- [5] 李顺, 廖丽君, 胡馨, 等. 薄层 CT 引导下经皮穿刺圆孔外口射频热凝治疗三叉神经痛. *中华神经外科杂志*, 2013, 29(3): 284-286.
- [6] 陶高见, 林建, 朱彤. CT 引导下经眶——圆孔入路射频热凝治疗第 2 支三叉神经痛. *中国疼痛医学杂志*, 2012, 18(5): 264-268.
- [7] 陆丽娟, 韩影, 槐洪波, 等. 3D 打印经皮穿刺导航系统在半

- 月神经节射频热凝术中的应用. 中国疼痛医学杂志, 2015, 21(12): 914-918.
- [8] 韩影, 王然, 陆丽娟. 3D 重建在三叉神经第二支射频治疗穿刺路径选择中的应用. 中国疼痛医学杂志, 2016, 22(12): 903-907.
- [9] Stepien A. New international classification of headache disorders by the International Headache Society. *Neurol Neurochir Pol*, 2004, 38(4): 255-256.
- [10] Yang Y, Shao Y, Wang H, et al. Neuronavigation-assisted percutaneous radiofrequency thermocoagulation therapy in trigeminal neuralgia. *Clin J Pain*, 2007, 23(2): 159-164.
- [11] Koizuka S, Saito S, Kubo K, et al. Percutaneous radio-frequency mandibular nerve rhizotomy guided by CT fluoroscopy. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2006, 27(8): 1647-1648.
- [12] Li X, Ni J, Yang L, et al. A prospective study of Gasserian ganglion pulsed radiofrequency combined with continuous radiofrequency for the treatment of trigeminal neuralgia. *J Clin Neurosci*, 2012, 19(6): 824-828.
- [13] Wang JY, Bender MT, Bettgowda Ch. Percutaneous Procedures for the Treatment of Trigeminal Neuralgia. *Neurosurg Clin N Am*, 2016, 27(3): 277-295.
- [14] 韩兴军, 杜英林, 肖建国, 等. 三叉神经根、Meckel 腔内半月神经节及其分支与断层标本对比的解剖学研究. *医学影像学杂志*, 2008, 18(7): 712-716.
- [15] Zhang WC, Zhong WX, Li ST, et al. Neuronavigator-guided percutaneous radiofrequency thermocoagulation in the treatment of trigeminal neuralgia. *Ir J Med Sci*, 2012, 181(1): 7-13.
- [16] Xue T, Yang W, Guo Y, et al. 3D image-guided percutaneous radiofrequency thermocoagulation of the maxillary branch of the trigeminal nerve through foramen rotundum for the treatment of trigeminal neuralgia. *Medicine (Baltimore)*, 2015, 94(45): e1954.
- [17] Yang JT, Lin M, Lee MH, et al. Percutaneous trigeminal nerve radiofrequency rhizotomy guided by computerized tomography with three-dimensional image reconstruction. *Chang Gung Med J*, 2010, 33(6): 679-683.

(收稿日期: 2016-10-19)

【编者按】在国家大力提倡创新的今天, 面对“可视化、微创化、智能化”波涛的冲击, 麻醉科应向何处去, 麻醉医生应如何面对, 《3D 打印导航模板在圆孔外口三叉神经第二支射频治疗中的应用》一文给了我们深刻的启示。

回顾不远的过去, 我们还在强调“技术技术, 手上的艺术”。麻醉或镇痛有关的穿刺技术几乎都是盲目的, 仅以体表或骨性标志作为引导。曾几何时, 二维超声引导下的外周神经阻滞技术掀起了可视化的大潮, 而如今三维的“3D 打印导航板辅助”的神经阻滞更准确、更便捷地将药物或治疗媒介引导到靶部位。

3D 打印技术在麻醉和疼痛治疗领域使用刚刚开始, 还存在费时、费钱的缺憾, 但十余年前谁能想到我们手捧砖块大小的“大哥大”会发展成今天这样多功能、便捷甚至改变了人们生活的手机呢! “学习, 交流, 甚至跨界!” 用我们的知识跨界, 更要吸收新的知识丰富我们的专业内容。时间不允许我们按部就班地把如何骑马的大纲搬进我们的专业, 不允许我们先学好“上马、起步、停顿、转弯…”等再“骑行”, 我们应看准目标, 边学边干, 飞马上鞍, 跃起前进!

## · 消息 ·

### 《中国科技期刊引证报告(核心版)》2016 年版发布

2016 年 10 月 12 日, 中国科学技术信息研究所在北京国际会议中心发布了 2016 年版《中国科技期刊引证报告(核心版)》。共有 1985 种期刊入选本年度中国科技核心期刊。本刊核心总被引频次 3236, 核心影响因子 1.364, 在外科学综合类期刊中分别排在第 3 和第 2 位, 在所有核心期刊中分别排在第 157 和第 107 位。会上, 同时公布了 2016 年度领跑者 5000—中国精品科技期刊顶尖论文(F5000)。据统计, 2011~2015 年累积被引用次数达到其所在学科领域和发表年度基准线以上的论文有近 2 万篇。其中通过定量分析方式获得精品期刊顶尖论文提名的论文共有 2 225 篇。本刊有 20 篇论文入选。