

虚拟手术计划和 3D 打印导板辅助寰椎侧块结合枢椎椎弓根螺钉治疗寰枢椎失稳的疗效与安全性

冷 涛¹,徐仲阳²,吕超亮²,张存鑫²

(1.济宁医学院临床医学院,山东 济宁 272000;

2.济宁市第一人民医院脊柱外科,山东 济宁 272000)

摘要:目的 探讨虚拟手术计划和 3D 打印导板辅助寰椎侧块结合枢椎椎弓根螺钉置入治疗寰枢椎脱位的临床疗效与安全性。方法 回顾分析 2019 年 1 月-2022 年 5 月济宁市第一人民医院收治的 19 例接受寰椎侧块结合枢椎椎弓根螺钉置入内固定治疗的寰枢椎失稳患者,其中 9 例患者采用虚拟手术计划和 3D 打印导板辅助植钉(3D 打印组),10 例患者采用传统手术方式植钉(传统组),比较两组患者的围手术期指标、植钉准确性及临床疗效指标。结果 3D 打印组在手术时间、术中出血量、术中透视次数、置钉优良率低于传统组,差异有统计学意义($P<0.05$)。两组患者术后 7 天 VAS 评分及 JOA 评分比较,差异有统计学意义($P<0.05$);术后并发症及术后 1 年 JOA 评分改善率比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。结论 虚拟手术计划和 3D 打印导板辅助与传统手术方式下寰椎侧块结合枢椎椎弓根螺钉置入内固定治疗寰枢椎失稳均疗效确切,但 3D 打印导航模板辅助下植钉优良率更高,手术时间更短,术中出血量和透视次数都更少,因此具有一定优势。

关键词:虚拟手术计划;3D 打印导航模板;寰枢椎失稳;寰椎侧块螺钉;枢椎椎弓根螺钉

中图分类号:R687.3

文献标识码:A

DOI:10.3969/j.issn.1006-1959.2024.07.013

文章编号:1006-1959(2024)07-0073-05

Efficacy and Safety of Virtual Surgery Plan and 3D Printing Guide Plate Assisted Atlas Lateral Mass Combined with Axis Pedicle Screw in the Treatment of Atlantoaxial Instability

LENG Tao¹,XU Zhong-yang²,LYU Chao-liang²,ZHANG Cun-xin²

(1.College of Clinical Medical,Jining Medical University,Jining 272000,Shandong,China;

2.Department of Spinal Surgery,Jining First People's Hospital,Jining 272000,Shandong,China)

Abstract: Objective To investigate the clinical efficacy and safety of virtual surgery plan and 3D printing guide plate assisted atlas lateral mass combined with axis pedicle screw placement in the treatment of atlantoaxial dislocation.**Methods** A retrospective analysis was performed on 19 patients with atlantoaxial instability who underwent atlantoaxial lateral mass combined with axial pedicle screw placement and internal fixation in Jining First People's Hospital from January 2019 to December 2022. Among them, 9 patients were treated with virtual surgery plan and 3D printing guide plate-assisted screw placement (3D printing group), and 10 patients were treated with traditional surgical screw placement (traditional group). The perioperative indicators, screw placement accuracy and clinical efficacy indicators were compared between the two groups.**Results** The operation time, intraoperative blood loss, intraoperative fluoroscopy times and excellent and good rate of screw placement in the 3D printing group were lower than those in the traditional group, and the differences were statistically significant ($P<0.05$). There were significant differences in VAS score and JOA score between the two groups at 7 days after operation ($P<0.05$). There was no significant difference in postoperative complications and JOA score improvement rate at 1 year after operation ($P>0.05$).**Conclusion** Virtual surgery plan and 3D printing guide plate assisted and traditional surgical methods of atlas lateral mass combined with axis pedicle screw placement and internal fixation are effective in the treatment of atlantoaxial instability, but 3D printing navigation template assisted screw placement has higher excellent and good rate, shorter operation time, less intraoperative blood loss and fewer fluoroscopy times, so it has certain advantages.

Key words: Virtual surgery plan;3D printing navigation template;Atlantoaxial instability;Lateral mass screw of atlas;Pedicle screw of axis

C₁ 侧块联合 C₂ 椎弓根螺钉 (C₁ lateral mass screws-C₂ pedicle screws, C1LM-C2PD) 技术^[1]是一

种较新的手术方式。通过有限元研究发现^[2],寰椎侧块螺钉结合枢椎椎弓根螺钉内固定术具有较强的稳定性和融合率,被广泛应用于治疗寰枢椎不稳患者,并且取得了良好的临床疗效。但是在临床治疗中发现,该手术过程中仍有椎动脉损伤等情况出现^[3,4]。为了验证虚拟手术计划和 3D 打印导航模板对提高寰枢椎手术植钉的准确性与安全性是否有帮助,本研究观察了采用两种不同方式手术的效果,通过术后影像学检查实际螺钉位置,并参照颈椎螺钉分级

基金项目:济宁市重点研发项目(编号:2022YXNS120)

作者简介:冷涛(1995.4-),男,湖北襄阳人,硕士研究生,主要从事脊髓损伤与修复研究

通讯作者:徐仲阳(1984.12-),男,山东兖州人,博士,副主任医师,主要从事脊柱脊髓损伤与修复研究

评估系统^[5,6]对螺钉位置的安全性及疗效进行评价,旨在为该技术在寰枢椎失稳患者的应用提供参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集 2019 年 1 月–2022 年 5 月济宁市第一人民医院 19 例寰枢椎失稳患者临床资料进行了回顾性队列分析,其中寰椎骨折 2 例,枢椎骨折 8 例,枢椎齿状突骨折 6 例,寰椎与枢椎均骨折 1 例,寰枢椎半脱位 2 例。根据手术方法不同分为两组,将使用虚拟手术计划和 3D 打印导板辅助螺钉植入的患者 9 例设为 3D 打印组,以及传统 C 臂透视辅助螺钉植入的患者 10 例设为传统组。3D 打印组和传统组分别使用了 38 枚和 44 枚螺钉。本研究获我院伦理委员会批准,所有患者均已填写同意书。纳入标准:①诊断为寰枢椎失稳;②寰枢椎失稳且采用后路侧块–椎弓根螺钉手术矫形固定者;③身体状况良好,无手术禁忌。排除标准:①椎弓根变异量太大,椎弓根螺钉无法矫正失稳状态;②寰枢椎失稳但未采用侧块–椎弓根螺钉固定者;③随访资料不足。

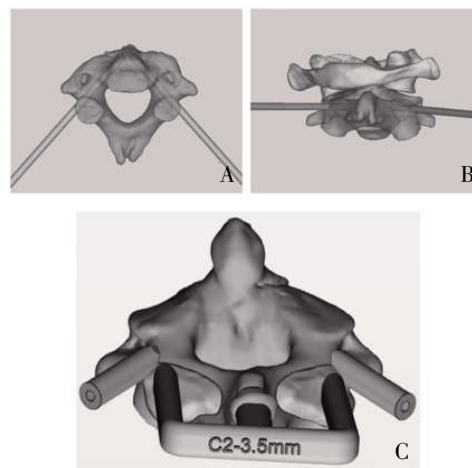
1.2 传统组方法 患者全麻后取俯卧位,调整头颈部位置,透视位置满意后,用颅骨牵引维持头颈的稳定。在患者颈后正中行纵行切口,分离颈后组织,暴露寰枢椎。手术医生根据术中透视情况和既往植钉经验徒手植入螺钉。

1.3 3D 打印组方法

1.3.1 虚拟手术计划和 3D 打印导板的设计 术前,患者接受螺旋 CT 扫描(德国西门子公司)。将患者的 CT 扫描结果数据转换为 DICOM 格式后存储,然后将存储数据传输至 Mimics 17.0 软件(materialise,比利时)进行数字化建模。为了避免虚拟螺钉穿透椎弓根壁的情况发生,首先在 Mimics 虚拟软件中选择目标手术椎体,并提取寰枢椎椎弓根的解剖结构,用来创建虚拟椎弓根螺钉。通过计算机计算,找到最佳的椎弓根螺钉入口点、螺钉通道方向以及螺钉植入的长度。然后创建出合适尺寸的导管便于手术时穿过克氏针进行定位。通常设计的导管内径为 2.0 mm,外径为 8.0 mm,长度为 15~20 mm,见图 1。考虑到寰枢椎椎体后方的解剖特点,通过“布尔计算”软件的拟合最终确定寰枢椎椎弓根螺钉的放置。采用镜像和逆向成形技术并结合寰枢椎的后方解剖结构特征设计了模板。为了检查打印出的模型的保真度,将保存的 STL 数据导入 ideaMaker (中国江苏),保真度得到确认后,将上颈椎模型以 GCODE

格式保存,并且导入 3D 打印机(上海迈迪特公司),选择使用的材料为 PLA,按照 1:1 比例打印模型。采用单层高度 0.25 mm、填充率 10.0%、印刷速度 70.0 mm/s 的印刷参数打印模型底座、内外支撑和上颈椎模型,另外额外打印出 2 个上颈椎模型、10 个导向模板,以方便医生在模型上练习手术操作。

1.3.2 3D 打印导板辅助植钉 根据 3D 打印导航模板辅助术中螺钉的置入。术前在 1:1 打印的模型上进行操作模拟见图 2。手术时,患者行全麻后取俯卧位,调整头颈部至合适的手术位置,C 形臂机透视确定位置满意后,颅骨牵引维持头颈的稳定性。在患者颈后正中行纵行切口,分离颈后组织,暴露寰椎后弓,沿寰椎后弓向其根部剥离,用神经剥离子探查寰椎侧块的内外缘及其中点,并且将 C₂ 神经根和静脉丛向下推开。将寰椎侧块与后弓下面相延续的部位显露出来。根据导航模板与寰枢椎接触的部位,充分暴露放置导航模板所需的骨性结构,然后将导板放置在寰椎或枢椎上。用手先将导板稍作固定,用无菌记号笔在直径为 1.5 mm 的克氏针上标记出与术前模拟操作时记录的螺钉进入长度相同的距离,再将克氏针穿过套管;借助电钻进入到寰枢椎骨质内部,进入深度到达标记处停止,反钻电钻取出克氏针;取下导板后,使用探针检查椎弓根内的 4 个壁,以确保螺钉路径完全位于皮质内。借助 C 臂透视观察,如果孔道位置、角度均合适,就逐渐攻入丝锥,攻入过程中注意丝锥进入的深度,最后选择合适长度的螺钉慢慢拧入。对侧螺钉置入使用方法与上述方法一致。螺钉置入后进行术中透视检查,确定所有螺钉位置均合适时,使用两个连接棒固定。



注:A:下面观;B、C:背面观。

图 1 虚拟手术计划设计枢椎植钉通路及导航模板

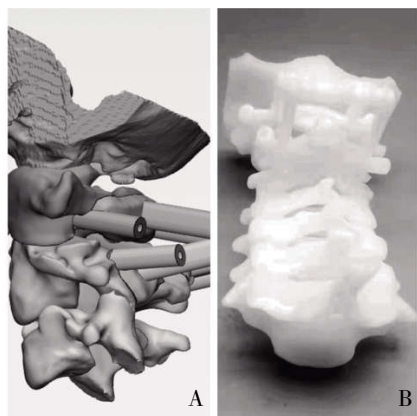


图 2 虚拟手术计划模拟植钉(A)和 3D 打印模型及导航模板(B)

1.4 术后处理及观察指标 ①颈托固定制动,尽量保持颈部处于中立位,防止颈部屈伸幅度过大;②常规抗感染、营养神经、镇痛药物等支持性治疗;③定期更换敷料,严防颈部切口感染;④当引流体积小于 50 ml/d 时拔除引流管;⑤出院后颈托固定 3 个月。并于术后 3、6、12 个月来院复查。比较两组术中出血量、手术时间、术中透视次数、VAS 评分、JOA 评分、JOA 评分改善率、置钉优良率、术后并发症发生率。

1.4.1 VAS 评分^[7] VAS 评分量表评分范围 0~10 分,其中 0~3 分为轻度疼痛、4~6 分为中度疼痛、6 分以上为重度疼痛。

1.4.2 JOA 评分^[8] JOA 评分量表总分 30 分,评分越高腰椎功能越佳。JOA 改善率=(术后总分-术前总分)/(17-术前总分),用于对手术的长期临床疗效进行评价。

1.4.3 植钉优良率 0 级螺钉:完全位于椎弓根壁内。

1 级螺钉:穿透椎弓根壁 2 mm 或更小,无临床后遗症;2 级螺钉:侵犯椎弓根壁 2 mm 或以上,但无临床后遗症;3 级螺钉:有动脉或神经根损伤等临床后遗症。本研究中将 0 级和 1 级螺钉视为优良螺钉。

1.4.4 并发症发生率 包括术后切口感染或愈合不良、脂肪液化、神经损伤、钉棒发生移位等并发症发生率。

1.5 统计学方法 采用 SPSS 22.0 统计软件进行分析。计量资料采用($\bar{x} \pm s$)表示,采用独立样本 t 检验对两组间比较进行分析,计数资料用(%)表示,采用 χ^2 检验进行统计分析, $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

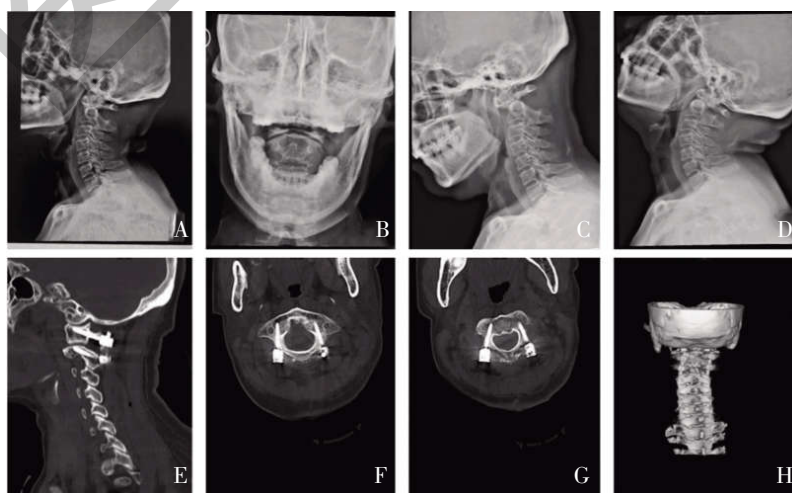
2 结果

2.1 手术前后影像学检查比较 本次研究所涉及的寰枢椎失稳患者。根据术后 X 线和 CT 成像数据,证明螺钉均位于椎弓根内,见图 3。

2.2 两组手术指标相比较 3D 打印组手术时间、术中失血量、术中透视次数低于传统组,差异有统计学意义($P < 0.05$),见表 1。

2.3 两组术后 1 周 VAS、JOA 评分及术后 1 年 VAS 改善率比较 3D 打印组 VAS、JOA 评分低于传统手术组,差异有统计学意义($P < 0.05$);两组术后 1 年 VAS 改善率比较,差异无统计学意义($P > 0.05$),见表 2。

2.4 两组植钉优良率及并发症发生率比较 3D 打印组植钉优良率高于传统组,差异有统计学意义($P < 0.05$)。两组术后并发症发生率比较,差异无统计学意义($P > 0.05$),见表 3。



注:3D 组术前侧位(A)、张口正位片(B)、过伸位(C)、过屈位 D(可见寰枢椎脱位)X 线片;患者术后 CT 颈椎矢状位(E)示螺钉位置良好;术后 CT 寰椎(F)、枢椎(G)水平面,可见螺钉位置良好;H 为患者术后 CT 重建。

图 3 患者手术前后 X 线片

表 1 两组手术时间、术中失血量、术中透视次数($\bar{x}\pm s$)

组别	手术时间(min)	术中出血量(ml)	术中透视次数(次)
3D 组	172.00±42.00	101.00±51.00	7.44±1.33
传统组	194.00±37.00	150.00±74.00	9.50±0.71
<i>t</i>	-2.697	-2.927	-4.263
<i>P</i>	0.015	0.009	0.001

表 2 两组术后 1 周 VAS、JOA 评分,术后 1 年 JOA 改善率比较($\bar{x}\pm s$)

组别	术后 1 周 VAS 评分(分)	术后 1 周 JOA 评分(分)	术后 1 年 JOA 改善率(%)
3D 组	2.67±0.50	8.44±0.88	0.61±0.06
传统组	3.50±0.85	7.60±0.70	0.60±0.08
<i>t</i>	-2.565	2.325	0.098
<i>P</i>	0.020	0.033	0.923

表 3 两组术后并发症发生率、植钉优良率比较(%)

组别	术后并发症发生率	植钉优良率
3D 组	11.11	94.74
传统组	20.00	79.55
χ^2	0.267	4.051
<i>P</i>	0.606	0.044

3 讨论

寰枢椎在解剖位置上与椎动脉、脊髓等重要结构相毗邻^[9]。因此,当寰枢椎发生骨折时,其被破坏的结构可能会导致脊髓或椎动脉损伤,进而使患者出现瘫痪、呼吸衰竭和心血管活动受抑制等并发症^[10]。侧块-椎弓根螺钉技术是一种较新的内固定技术^[11]。该技术因能够提供较优秀的生物力学性能^[12],在恢复上颈椎生物力学稳定性方面具有特殊优势。由于寰枢椎关节没有被螺钉损伤,理论上能够有效保持寰枢椎关节的活动功能,因此成为目前最广泛应用于外科治疗寰枢椎不稳的手术方式之一。与其他手术方式相比,侧块-椎弓根螺钉固定技术在手术时间、术中出血量、融合率上均具有较为明显的优势^[13,14]。由于该手术方式学习曲线较为陡峭,需要术者有丰富的经后路颈椎置钉经验,以及对病变部位解剖关系的深刻理解,才能在术中选择正确的植钉路径;对于年轻医生而言,缺乏亲自植钉的经验成为了能够掌握该手术方式的主要障碍。虚拟手术计划和 3D 打印技术能够根据患者的 CT 和 MRI 结果打印出具有高度复杂性的上颈椎解剖结构^[15],打印出的模型可提供给临床医生,方便医生在术前行模拟手术练习^[16],以达到熟悉手术操作的目的。在虚拟手

术计划和 3D 打印技术的辅助下,椎弓根螺钉置入位置更加准确,降低了重要神经、血管甚至脊髓的损伤风险,实现了椎弓根螺钉置入的高度准确性和安全性^[10,17]。

本研究结果显示,3D 打印组患者术后 1 周 VAS 评分小于传统组、JOA 评分高于传统组($P<0.05$),而两组术后 1 年 JOA 改善率比较,差异无统计学意义($P>0.05$),提示两种手术方式均能达到治疗目的,但是 3D 打印组由于手术时间短,术中操作误差小,可减轻患者术后短期内的疼痛症状。在置钉优良率方面,3D 打印组高于传统组($P<0.05$),传统组术后复查可见少数螺钉侵犯椎弓根壁达 2 mm 及以上,而 3D 打印组螺钉则较好的位于椎弓根内,说明使用虚拟手术计划和 3D 打印导航模板有助于精确置钉。3D 打印组在手术时间、术中出血量、术中透视次数小于传统组($P<0.05$),这可能与术前入路规划、模拟手术操作以熟悉手术流程有关,术中不需要反复透视确定螺钉位置,仅需在进钉前和置钉后透视,减少患者和医护人员暴露于辐射中的危害。两组术后并发症发生率比较,差异无统计学意义($P>0.05$),3D 打印组患者由于术后短期内疼痛症状轻,与传统组比较,患者术后更倾向于翻身活动,伤口红肿湿润

的情况较少,发生切口并发症的可能性也更小。

结合本研究虚拟手术计划和 3D 打印技术辅助经后路寰椎侧块结合枢椎椎弓根螺钉治疗寰枢椎失稳的经验,总结出以下几点术中注意事项:①因为导板是由两侧的引导套管通过弧形结构连接构建为拱桥结构,所以在手术显露过程中应尽量保留棘间韧带和棘上韧带;②为确保 3D 打印导航模板的定位部分能够与骨表面紧密贴合,术中显露时应尽可能去除导板放置位置的软组织;③为防止术中克氏针钻穿椎体前缘,术前在模型上模拟操作时应准确测量克氏针进入深度,术中用无菌标记笔在克氏针上标记出对应长度;④导套的直径应略大于克氏针直径以便于克氏针顺利钻入骨质,为了减少摩擦可在操作过程中向导套内滴入少量石蜡油;⑤为避免高温引起导板变形,建议使用环氧乙烷或低温等离子体对导板进行消毒;⑥寰枢椎后弓外侧 1/3 高度小于 3.5 mm 时,不推荐使用椎弓根螺钉,因为有损伤椎动脉的可能,建议选择使用侧块螺钉。

综上所述,虚拟手术计划结合 3D 打印导板辅助植钉与传统手术方式均匀确切的治疗效果,均可减轻患者临床症状,促进上颈椎功能恢复。但是在手术时间、术中出血量以及术中透视次数、植钉准确率等方面虚拟手术计划结合 3D 打印导板辅助具有一定的优势。

参考文献:

- [1]Ni B,Zhao W,Guo Q.Comparison of Outcomes Between C₁-C₂ Screw-Hook Fixation and C₁-C₂ Screw-Rod Fixation for Treating Reducible Atlantoaxial Dislocation[J].Spine,2017,42(20):1587-1593.
- [2]陈树金,马向阳,杨进城,等.有限元法分析寰-枢椎椎弓根螺钉内固定的生物力学变化[J].中国组织工程研究,2018,22(31):4970-4974.
- [3]Chun DH,Yoon DH,Kim KN,et al.Biomechanical Comparison of Four Different Atlantoaxial Posterior Fixation Constructs in Adults:A Finite Element Study [J].Spine,2018,43 (15):E891-E897.
- [4]Guan Q,Chen L,Long Y.Iatrogenic Vertebral Artery Injury During Anterior Cervical Spine Surgery: A Systematic Review [J].World Neurosurg,2017,106:715-722.
- [5]Wakao N,Takeuchi M,Nishimura M.Risks for Vascular Injury During Anterior Cervical Spine Surgery: Prevalence of a Medial Loop of Vertebral Artery and Internal Carotid Artery[J].Spine,2016,41(4):293-298.
- [6]Habib N,Filardo G,Distefano D.Use of Intraoperative CT Improves Accuracy of Spinal Navigation During Screw Fixation in Cervico-thoracic Region[J].Spine,2021,46(8):530-537.
- [7]苑韬,魏巍,宫云昭,等.超声引导针刀松解联合腰 方颗粒治疗腰椎间盘突出症的临床研究 [J]. 实用药物与临床,2021,24(4):330-333.
- [8]王秋安,袁峰,吴继彬,等.内镜下行单、双侧减压 修复对侧症状型腰椎间盘突出症的优效性比较[J].中国组织工程研究,2020,24(32):5133-5137.
- [9]夏虹,王建华,吴增晖,等.术前判别寰枢椎解剖类型对上颈椎后路置钉策略的意义[J].中国脊柱脊髓杂志,2017,27(1):17-24.
- [10]Sugawara T,Higashiyama N,Kaneyama S.Accurate and Simple Screw Insertion Procedure With Patient-Specific Screw Guide Templates for Posterior C₁-C₂ Fixation[J].Spine,2017,42(6):E340-E346.
- [11]Fiedler N,Spiegel UJA,Jarvers JS.Epidemiology and management of atlas fractures[J].Eur Spine J,2020,29(10):2477-2483.
- [12]Kobayashi Y,Kikuchi S,Konno S.Insertion of lateral mass screw of the atlas via the posterior arch:anatomical study of screw insertion using dry bone samples of the atlas from Japanese cadavers[J].J Orthop Sci,2008,13(5):452-455.
- [13]Zhang L,Wang H.Biomechanical Effects of Lateral Inclination C₁ and C₂ Pedicle Screws on Atlantoaxial Fixation[J].Orthopaedic Surgery,2021,13(7):2027-2033.
- [14]Cadena G,Duong HT,Liu JJ.Atlantoaxial fixation using C₁ posterior arch screws: feasibility study, morphometric data, and biomechanical analysis[J].J Neurosurg Spine,2018,30(3):314-322.
- [15]Liaw CY,Guvendiren M.Current and emerging applications of 3D printing in medicine[J].Biofabrication,2017,9(2):24102.
- [16]王升儒,杜悠,余伟杰,等.3D 打印技术在脊柱畸形椎弓根螺钉置入教学中的应用 [J]. 中华骨与关节外科杂志,2021,14(9):784-787.
- [17]Sugawara T,Kaneyama S,Higashiyama N.Prospective Multi-center Study of a Multistep Screw Insertion Technique Using Patient-Specific Screw Guide Templates for the Cervical and Thoracic Spine[J].Spine,2018,43(23):1685-1694.

收稿日期:2023-07-26;修回日期:2023-08-17

编辑/肖婷婷