

## . 论 著 .

Mimics 软件三维重建技术行钛网形态优化设计在  
颅骨成形术中的应用

刘先波 赖 丹 李 洛 胡 斌 毛云飞 彭成福

**【摘要】目的** 探讨应用 Mimics 软件三维重建技术进行钛网形态优化设计在颅骨成形术中的应用效果。**方法** 2017 年 5 月至 2022 年 5 月前瞻性进行颅骨成形术 60 例,其中 30 例应用 Mimics 软件三维重建技术进行钛网形态优化设计(优化组),30 例应用常规设计的钛网(对照组)。**结果** 与对照组比较,优化组手术切口供血良好率明显增高(80.0% vs. 53.3%; $P=0.028$ ),术后切口甲级愈合率明显增高(70.0% vs. 40.0%; $P=0.020$ ),术后拆线时间明显缩短[(7.07±0.95)d vs. (7.83±1.12)d; $P=0.006$ ],术后大量硬膜外积液发生率明显降低(10.0% vs. 36.7%; $P=0.015$ )。优化组术后无颅内出血、钛网外露情况。**结论** 应用 Mimics 软件三维重建技术对钛网形态进行优化设计,可有效降低颅骨成形术中切口缝合的张力,术后切口供血和愈合更佳,缩短术后拆线时间,降低大量硬膜外积液的发生率,有效减少颅内出血和钛网外露。

**【关键词】** 颅骨缺损;颅骨成形术;钛网形态;优化设计;Mimics 软件;三维重建技术

**【文章编号】** 1009-153X(2024)04-0222-05 **【文献标志码】** A **【中国图书资料分类号】** R 651.1<sup>†</sup>

**Application of Mimics software to 3D reconstruction in the optimization design of titanium mesh for cranioplasty**

LIU Xian-bo, LAI Dan, LI Luo, HU Bin, MAO Yun-fei, PENG Cheng-fu. Department of Neurosurgery, Pingxiang People's Hospital, Pingxiang 337055, China

**【Abstract】 Objective** To investigate the application efficacy of the three-dimensional (3D) reconstruction of Mimics software for the shape optimization design of titanium meshes in cranioplasty. **Methods** A total of 60 cases undergoing cranioplasty were prospectively conducted from May 2017 to May 2022. Among them, 30 cases underwent the shape optimization design of titanium meshes using the 3D reconstruction of Mimics software (optimization group), while 30 cases were treated with conventionally designed titanium meshes (control group). **Results** In comparison with the control group, the rate of satisfactory blood supply to the surgical incision in the optimization group was significantly elevated (80.0% vs. 53.3%; $P=0.028$ ), the rate of grade A healing of the postoperative incision was significantly augmented (70.0% vs. 40.0%; $P=0.020$ ), the postoperative suture removal time was significantly shortened [(7.07±0.95) d vs. (7.83±1.12) d; $P=0.006$ ], and the incidence of substantial epidural effusion after the surgery was significantly reduced (10.0% vs. 36.7%; $P=0.015$ ). No intracranial hemorrhage or titanium mesh exposure was observed in the optimization group after the operation. **Conclusions** The application of the 3D reconstruction of Mimics software for the shape optimization design of titanium meshes can effectively alleviate the tension of incision suture during cranioplasty, enhance the blood supply and healing of the incision after operation, shorten the postoperative suture removal time, decrease the incidence of significant epidural effusion, and effectively minimize the occurrence of intracranial hemorrhage and titanium mesh exposure.

**【Key words】** Skull defect; Cranioplasty; Titanium Mesh shape; Optimized design; Mimics software; 3D reconstruction

去骨瓣减压术是缓解恶性颅内压增高的有效方法,术后会遗留颅骨缺损。目前认为,早期颅骨成形术可恢复原有颅腔形态,促进病人康复<sup>[1-3]</sup>。临床发现,部分病人在颅骨成形术后会出现各种并发症,如

切口缝合困难、切口愈合不佳、颅内出血、长期大量硬膜外积液、钛网外露等<sup>[4,5]</sup>。针对这些问题,我们以缺损颅骨 CT 影像数据为基础,参照病人既往完整颅骨 CT 影像数据,对钛网形态进行优化设计,观察发现可减少颅骨成形术后并发症,现报道如下。

## 1 资料与方法

**1.1 研究对象** 2017 年 5 月至 2022 年 5 月前瞻性开展颅骨成形术 60 例,其中 30 例应用优化设计的钛网(优化组),30 例应用常规设计的钛网(对照组)。两组基线资料无统计学差异( $P>0.05$ ;表 1)。

doi:10.13798/j.issn.1009-153X.2024.04.007

基金项目:江西省卫生健康委科技计划项目(202311690);萍乡市卫生健康委科技计划项目(2021PY055)

作者单位:337055 江西,萍乡市人民医院神经外科(刘先波、赖 丹、李 洛、胡 斌、毛云飞、彭成福)

通信作者:赖 丹,Email:liusy-xb@126.com

1.2 钛网制作方法

1.2.1 优化组 ①皮瓣面积测量:将缺损颅骨 CT 的 Dicom 格式数据导入 Mimics 软件,分别构建颅骨和软组织 3D 模型;应用切割工具沿骨窗边缘切割软组织,切割深度贯穿皮瓣软组织全层,选择软组织 3D 模型进入 3-matic 设计程序读取皮瓣的面积数据(图 1A),构建的缺损颅骨 3D 模型并以.stl 格式导出,用于后续钛网形态设计。②钛网形态设计:将完整颅骨 CT 的 Dicom 格式数据导入 Mimics 软件,构建完整颅骨 3D 模型;导入缺损颅骨 3D 模型,将两颅骨模型进行融合并导入 3-matic 设计程序中(图 1B),在 3-matic 中依据骨窗轮廓描绘骨窗轮廓线(图 2B),在骨窗最大间距部位构建剖切平面(图 2A),在剖切平面中依据骨窗范围内完整颅骨的形态绘制模型引导线,模型引导线靠近颅骨内板侧(图 2C);以骨窗轮廓线和模型引导线为参照,通过创建假体命令创建钛网模型(图 2D)。读取钛网模型表面积数据,对比皮瓣面积大小调整模型引导线的位置,修正模型形态直至模型的面积与头皮面积相适配。设计好的钛网模型数据经导出指导钛网制作。

1.2.2 对照组 以缺损颅骨 CT 的 Dicom 格式数据为

基础,采用对称性原理,参照缺损对侧正常颅骨形态进行钛网形态设计,指导钛网制作。

1.3 颅骨成形术 全麻下,经原切口入路分离皮瓣,充分暴露骨窗边缘。将钛网安放对应位置后钛钉固定,悬吊硬膜于钛网上,钛网外留置引流管。将肌肉固定在钛网上,逐层缝合头皮。术后常规复查头颅 CT,给予预防感染、控制血糖、切口换药等。

1.4 观察指标 记录两组手术时间、使用钛钉个数、术后切口供血(切口出现皮肤发黑、坏死则考虑为缺血)、切口拆线时间、切口愈合等级;术后 7 d 内颅内出血;术后 6 个月内大量硬膜外积液(拔除引流管后出现大量硬膜外积液,需反复穿刺抽吸治疗)、钛网外露。

1.5 统计学分析 采用 SPSS 22.0 软件分析;计量资料用 $\bar{x}\pm s$ 表示,用  $t$  检验;计数资料用 $\chi^2$ 检验或 Fisher 精确概率法; $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 钛网形态优化情况 优化组利用 Mimics 软件构建钛网 3D 模型并指导钛网制作,构建的钛网模型与原始完整颅骨相比在整体形态上无明显的改变(图

表 1 两组钛网颅骨成形术病人的基线资料  
Table 1 Baseline data of patients undergoing cranioplasty using titanium mesh

基线特征	优化组(n=30)	对照组(n=30)	统计值	P 值
年龄(岁)	45.93±10.25	45.23±9.68	$t=0.201$	0.842
男性(例)	21(70%)	21(70%)	$\chi^2<0.001$	>0.999
颅骨缺损面积(mm <sup>2</sup> )	5908.87±1603.47	6279.20±1639.42	$t=-0.885$	0.380
合并糖尿病(例)	6(20%)	4(13.3%)	$\chi^2=0.480$	0.488

注. 对照组. 以头颅 CT 的 Dicom 格式数据为基础进行钛网形态设计;优化组. 将头颅 CT 的 Dicom 格式数据导入 Mimics 软件,构建 3D 模型优化钛网形态设计

表 2 两组钛网颅骨成形术病人的手术效果  
Table 2 Surgical outcomes of patients undergoing cranioplasty using titanium mesh

评估指标	优化组(n=30)	对照组(n=30)	统计值	P 值
手术时间(min)	122.17±27.38	118.83±23.44	$t=0.507$	0.614
钛钉数(个)	20.43±3.97	19.70±1.88	$t=0.914$	0.364
术后切口供血良好(例)	24(80.0%)	16(53.3%)	$\chi^2=4.800$	0.028
切口拆线时间(d)	7.07±0.95	7.83±1.12	$t=-2.871$	0.006
切口甲级愈合(例)	21(70.0%)	12(40.0%)	$\chi^2=5.455$	0.020
颅内出血(例)	0(0)	1(3.3%)	Fisher test	>0.999
大量硬膜外积液(例)	3(10%)	11(36.7%)	$\chi^2=5.963$	0.015
钛网外露(例)	0(0)	1(3.3%)	Fisher test	>0.999

注. 对照组. 以头颅 CT 的 Dicom 格式数据为基础进行钛网形态设计;优化组. 将头颅 CT 的 Dicom 格式数据导入 Mimics 软件,构建 3D 模型优化钛网形态设计

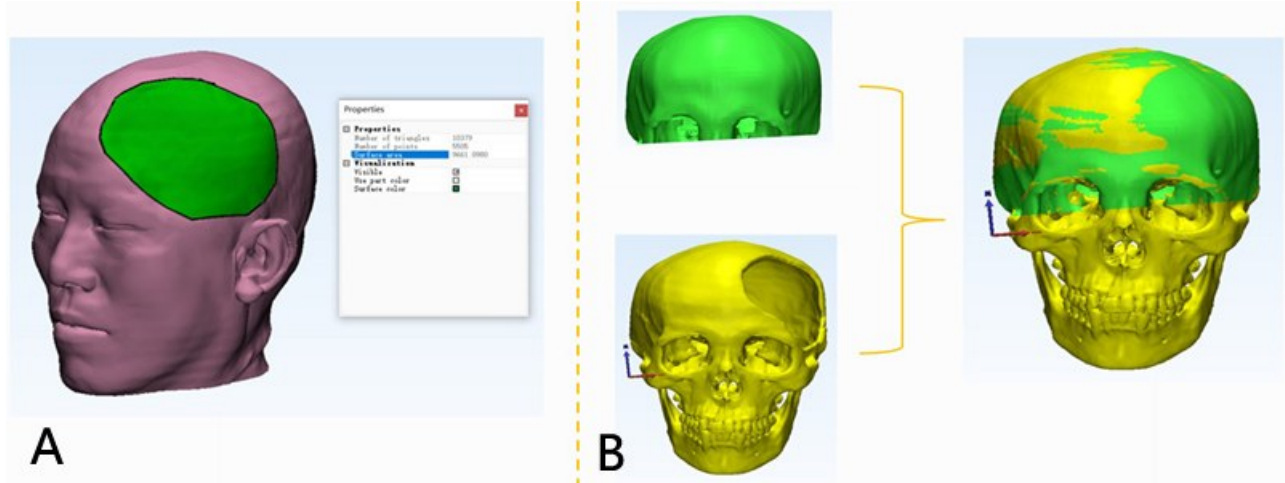


图1 根据颅骨CT数据应用Mimics软件三维重建技术测量颅骨缺损部位的头皮面积并构建颅骨模型  
A. 颅骨缺损部位头皮面积的测量;B. 三维重建完整颅骨(绿色)和缺损颅骨(黄色),并将二者融合

**Figure 1 Utilizing three-dimensional reconstruction of Mimics software to measure the scalp area over the cranial defect site and construct two cranial models based on cranial CT data**

A: Measurement of the area of scalp overlying the skull defect. B: Three-dimensional reconstruction of the intact skull (green) and the defective skull (yellow), followed by their fusion.

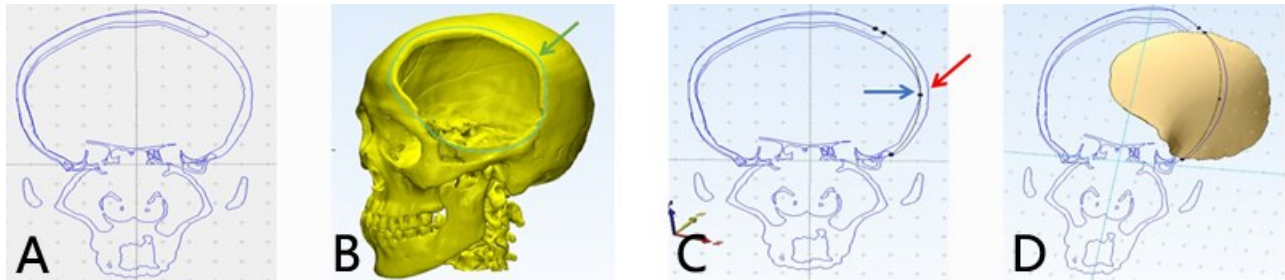


图2 应用Mimics软件三维重建技术对钛网形态进行优化设计

A. 融合模型在骨窗最大间距部位的剖切平面;B. 绘制的骨窗轮廓线(绿色↑指实线);C. 在剖切平面上依据骨窗范围内完整颅骨的形态绘制模型引导线,靠近颅骨内板侧(蓝色↑指实线,为模型引导线,红色↑指颅骨外板剖面轮廓线);D. 参照骨窗轮廓线和模型引导线构建的钛网模型

**Figure 2 Optimization of titanium mesh shape by 3D reconstruction of Mimics software**

A: Cross-sectional plane of the fused model at the maximum interval between bone windows. B: Outline of the bone window (solid line indicated by green arrow). C: Model guide lines drawn on the cross-sectional plane based on the complete cranial bone shape within the bone window range, near the inner plate of the cranial bone (solid line indicated by blue arrow representing model guide lines, while red arrow indicating contour of outer plate of cranial bone). D: Titanium mesh model constructed based on the outline of the bone window and model guide lines.

3A),但钛网模型的表面曲率较原始完整颅骨的表面曲率减小(图2C、图3B),有效地减小了钛网的表面积,更容易被皮瓣完全覆盖。

**2.2 两组手术效果比较** 两组手术时间和钛钉使用数量无统计学差异( $P>0.05$ ;表2)。优化组术后切口血运良好,拆线时间缩短,切口愈合更佳( $P<0.05$ ;表2)。优化组大量硬膜外积液发生率明显降低( $P<0.05$ ;表2)。优化组未出现颅内出血、钛网外露情况(表2)。

**3 讨论**

大面积颅骨缺损的最佳治疗方式为颅骨成形术,对有手术指征的病人,均建议及早手术,以期最大获益<sup>[1]</sup>。目前,修复材料多为数字化成形钛网,以缺损颅骨影像数据为基础,多参照对侧正常颅骨形态进行设计,使钛网与骨窗边缘能接近无应力安置,避免钛网变形、翘起,减少并发症<sup>[6,7]</sup>。但临床上常规设计的数字化成形钛网仍时有并发症发生,如切口愈合不良、皮瓣坏死、钛网外露、颅内出血、长期大量硬膜外积液等<sup>[8,9]</sup>;轻者可保守治疗,但对于皮肤坏死和钛网外露等并发症,临床上多通过裁剪钛网、植皮

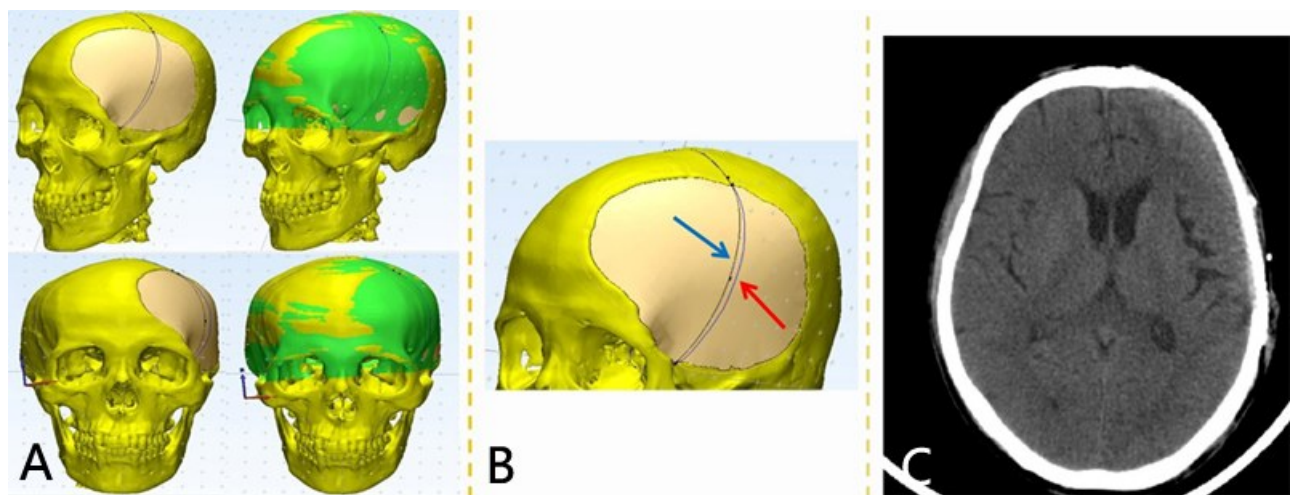


图3 应用 Mimics 软件三维重建技术优化设计的钛网进行颅骨成形术的效果  
A. 应用 Mimics 软件三维重建技术构建的钛网模型与融合模型的外观对比;B. 应用 Mimics 软件三维重建技术构建的钛网模型效果图(蓝色↑指模型引导线,即钛网模型的剖面轮廓线,红色↑指颅骨外板剖面轮廓线);C. 术后复查头颅CT显示钛网与硬膜之间的间隙基本消失

**Figure 3 Effectiveness of cranioplasty using titanium mesh optimized by 3D reconstruction of Mimics software**  
A: Comparison of the appearance between the titanium mesh model constructed by 3D reconstruction of Mimics software and the fused model. B: The titanium mesh model constructed by 3D reconstruction of Mimics software (blue arrow ↑ indicating the guide line of the model, that is, the cross-sectional contour line of the titanium mesh model; red arrow ↑ indicating the cross-sectional contour line of the skull outer plate). C: Postoperative head CT demonstrates substantial reduction in gap between titanium mesh and dura mater.

等措施补救,部分病人需再次手术取出钛网,待皮肤条件允许后再行手术,病人需历经多次手术风险、手术失败的心理创伤和经济损失<sup>[10,11]</sup>。

临床观察发现,多数有并发症的病人在颅骨成形手术中需较大张力缝合切口。用力缝扎易使切口血供变差,影响切口正常愈合。切口带张力缝合后,钛网从内侧压迫头皮,使皮瓣张力增高,影响皮瓣的血供,长时间高张力可使头皮变薄,易致皮瓣坏死、钛网外露等。在出现切口缝合张力大的情况下,往往伴随着硬膜与钛网间的间隙变大,硬膜悬吊困难,在钛网和硬膜之间形成难以闭合的死腔,导致长期硬膜外积液。如过度用力拉扯悬吊,可能撕裂硬膜形成脑脊液漏,甚至有颅内出血的风险。

我们认为,出现上述问题的主要原因在于钛网形态和骨窗局部解剖形态不适配。骨窗局部解剖形态在去骨瓣减压术后会发生变化,头皮切口愈合过程中瘢痕会收缩,去骨瓣后的头皮无颅骨支持,尤其在上颞线和顶结节处的缺损,在无颅内压增高的情况下,骨窗范围内头皮可存在不同程度的萎缩<sup>[12,13]</sup>。钛网形态设计方面,钛网边缘的形态以骨窗边缘的原始形态数据为基础设计,吻合一般都良好,但钛网中间的形态却依据头颅对称性原理设计,非骨窗内原始颅骨数据,而人体头部形态并非完全对称,加上头皮萎缩后皮瓣面积发生变化,常规设计的钛网中

间部分难与皮瓣大小相适配。有学者通过改善骨窗局部解剖条件提出了很多有效方法,如为使萎缩皮瓣适应修复体,术前应用皮下扩张器对皮瓣进行扩张<sup>[12]</sup>。还有通过有效的硬膜悬吊使钛网和硬膜良好贴合,避免硬膜外积液等<sup>[14]</sup>。

大部分颅骨缺损的主要原因是因急性脑出血或颅脑损伤引起的恶性颅内压增高,为挽救病人生命而不得不行去骨瓣减压术。多数病人在康复后对遗留下来的颅骨缺损问题会寻求以前的主管医师诊治并进行后续的颅骨成形术,所以整个诊疗过程中的数据资料相当完整,绝大多数病例能很方便获得去骨瓣减压术前的完整颅骨CT数据。本研究从钛网形态设计方面进行了相应改进,通过以缺损颅骨CT影像数据为基础,参照去骨瓣减压术前完整颅骨CT数据,综合考虑骨窗范围内头皮面积大小,对钛网中间部分的形态进行优化设计。该设计过程的关键在于模型引导线的规划,在融合模型的剖切面上,引导线经量在颅骨的剖切面内规划,向颅骨内板侧靠近,这样即可有效地缩小钛网的表面积,以适应头皮的萎缩,也可保持颅腔的正常形态,同时对病人外观影响较小,术后待头发生长后可完全遮盖此瑕疵。当头皮萎缩特别明显时,只能将模型引导线继续内移,以牺牲部分容貌为代价来保障钛网与皮瓣相适配。本研究显示:应用优化设计的钛网,可使硬膜与钛网

的间隙明显变小,硬膜悬吊更容易,手术切口大多可实现无张力缝合或小张力缝合,术后切口缺血情况减少,同时对有糖尿病的病人严格控制血糖水平,术后切口多数为甲级愈合,拆线时间明显缩短,术后皮瓣张力不高,皮瓣厚实,随访复查显示,钛网两侧的组织基本都相互贴合,极少出现长期大量硬膜外积液的情况。本研究优化组 3 例出现术后大量硬膜外积液,通过穿刺抽液后很快吸收闭合,其原因考虑可能与悬吊丝线被钛网网孔边缘割断所致,后续病例改用抗切割性更好的缝合线悬吊后未再出现。

综上所述,应用 Mimics 软件三维重建技术优化设计的钛网可有效减小颅骨成形术切口缝合张力,术后切口愈合更佳,硬膜悬吊更安全有效,消除钛网与硬膜间死腔,减少大量硬膜外积液,避免钛网外露、颅内出血等并发症。

**【伦理学声明】:**本研究遵循《赫尔辛基宣言》,所有病人和/或家属均签署知情同意书。本研究方案于 2022 年 03 月 02 日经萍乡市人民医院伦理委员会审批,批号为 PK-2022R55-HS02。

**【利益冲突声明】:**本文不存在任何利益冲突。

**【作者贡献声明】:**刘先波负责收集数据,资料分析,撰写论文及修改论文;赖丹参与修改论文及最后定稿;李洛、胡斌、毛云飞、彭成福负责收集数据,资料分析。

【参考文献】

[1] XING HT, YUAN B, TAN ZG. Effect of early cranioplasty on prognoses of patients with severe traumatic brain injury after decompressive craniectomy [J]. Chin J Clin Neurosurg, 2020, 25(10): 689-691.

[2] SONG J, DU H, LIU M, *et al.* Effects of early cranioplasty on cerebral perfusion and life quality in patients with skull defects (report of 25 cases) [J]. Chin J Clin Neurosurg, 2013, 18(5): 274-275, 285.

宋健,杜浩,刘敏,等.早期颅骨修补术对颅骨缺损患者脑灌注及生存质量的影响[J].中国临床神经外科杂志,2013,18(5):274-275,285.

[3] SONG J, DU H, LIU M, *et al.* Effects of early cranioplasty on dissection duration and intraoperative blood loss in the patients with cranial defects after decompression craniectomy [J]. Chin J Clin Neuro-

surg, 2014, 19(6): 337-339.

宋健,杜浩,刘敏,等.超早期颅骨修补术对皮瓣分离时间及术中出血量的影响[J].中国临床神经外科杂志,2014,19(6): 337-339.

[4] MALCOLM JG, RINDLER RS, CHU JK, *et al.* Complications following cranioplasty and relationship to timing: a systematic review and meta-analysis [J]. J Clin Neurosci, 2016, 33: 39-51.

[5] DING WL, WANG XY, WANG XD. Outside temporalis versus under temporalis for cranioplasty: a meta-analysis of curative effects [J]. Chin J Clin Neurosurg, 2018, 23(2): 90-92.

丁伟龙,王向宇,王晓东.颞肌外与颞肌下颅骨成形术疗效的 Meta 分析[J].中国临床神经外科杂志,2018,23(2):90-92.

[6] POLICICCHIO D, CASU G, DIPELLEGRINI G, *et al.* Comparison of two different titanium cranioplasty methods: custom-made titanium prostheses versus precurved titanium mesh [J]. Surg Neurol Int, 2020, 11: 148.

[7] CHEN ST, CHANG CJ, SU WC, *et al.* 3-D titanium mesh reconstruction of defective skull after frontal craniectomy in traumatic brain injury [J]. Injury, 2015, 46(1): 80-85.

[8] ROH H, KIM J, KIM JH, *et al.* Analysis of complications after cranioplasty with a customized three-dimensional titanium mesh plate [J]. World Neurosurg, 2019, 123: e39-e44.

[9] AMU YB, WANG JY, LIAN K, *et al.* Analysis of cause and prevention of titanium mesh exposure after digital cranioplasty [J]. Chin J Clin Neurosurg, 2017, 22(10): 698-700.

[10] ZHAO YH, FENG YH, DENG HT, *et al.* Therapeutic strategies for retention of cranioplasty titanium mesh after mesh exposure [J]. Acta Neurochir (Wien), 2022, 164(12): 3101-3106.

[11] DONG L, DONG Y, LIU C, *et al.* Latissimus dorsi-myocutaneous flap in the repair of titanium mesh exposure and scalp defect after cranioplasty [J]. J Craniofac Surg, 2020, 31(2): 351-354.

[12] KASPER EM, RIDGWAY EB, RABIE A, *et al.* Staged scalp soft tissue expansion before delayed allograft cranioplasty: a technical report [J]. Neurosurgery, 2012, 71(1 Suppl Operative): 15-20.

[13] STEPHENSON AJ, GRIFFITHS RW, LA HAUSSE BROWN TP. Patterns of contraction in human full thickness skin grafts [J]. Br J Plast Surg, 2000, 53(5): 397-402.

[14] ZHANG S, LI S, WEI L, *et al.* The correlative factors and probable mechanism of epidural fluid collection after cranioplasty [J]. J Craniofac Surg, 2020, 31(8): 2226-2230.

(2022-11-14 收稿, 2023-11-20 修回)