改良自体颅骨缺损修补术在创伤性脑损伤患者中的应用效果及对神经功能、生活能力的影响*

王 斌 朱 进 袁 彪 唐玉平 沈 杨 张显军

（毕节市大方县人民医院神经外科 贵州 毕节 551600）

摘要 目的：观察改良自体颅骨缺损修补术在创伤性脑损伤患者中的应用效果及对神经功能、生活能力的影响。**方法：**纳入我院2022年3月至2024年8月期间收治的104例创伤性脑损伤患者，根据不同应用材料分为A组[37例，聚醚醚酮材料（poly ether ether ketone, PEEK）颅骨缺损修补]、B组（35例，传统钛网颅骨缺损修补）和C组（32例，改良自体颅骨缺损修补）。对比三组围术期指标、神经功能、日常生活活动能力、生活质量、满意度和术后并发症发生情况。**结果：**三组患者手术时间、手术出血量、术后住院时间组间对比未见差异（$P>0.05$）。A组、B组、C组住院费用依次下降（$P<0.05$）。三组患者术后3个月、6个月日常生活活动能力量表（activity of daily living, ADL）评分升高，美国国立卫生研究院卒中量表（National Institutes of Health Stroke Scale, NIHSS）评分下降（$P<0.05$）。三组患者术后6个月生理职能、社会职能、心理职能以及物质生活对比未见差异（$P>0.05$）。C组患者的总满意率高于A组和B组（$P<0.05$）。C组患者的并发症总发生率低于A组、B组（$P<0.05$）。**结论：**PEEK、传统钛网、改良自体颅骨用于颅骨缺损修补术，手术时间、手术出血量、术后住院时间相当，且可减轻神经功能损伤，提高生活能力，改善患者的生活质量，但PEEK费用偏贵，传统钛网满意度偏低、术后并发症发生率相对偏高。

关键词：改良自体颅骨；颅骨缺损修补术；创伤性脑损伤；神经功能；生活能力

中图分类号：R322.81；R605；R651.15 **文献标识码：**A **文章编号：**1673-6273（2025）18-2949-07

DOI: 10.13241/j.cnki.pmb.2025.18.010

Effect of Modified Autologous Skull Defect Repair in Patients with Traumatic Brain Injury and its Influence on Neurological Function and Living Ability*

WANG Bin, ZHU Jin, YUAN Biao, TANG Yu-ping, SHEN Yang, ZHANG Xian-jun

(Department of Neurosurgery, Dafang County People's Hospital of Bijie, Bijie, Guizhou, 551600, China)

* 基金项目：毕节市科技计划项目[毕科合〔2023〕31号]

作者简介：王斌（1985-），男，本科，主治医师，主要研究方向：颅脑损伤，E-mail: 15519760570@163.com

作者贡献：王斌负责设计研究方案，实施研究过程，文章撰写；朱进负责提出研究思路，分析试验数据，文章审核；袁彪、唐玉平负责实施研究过程，资料搜集整理，文章修改；沈杨负责进行统计学分析；张显军负责课题设计，文章撰写。

利益冲突：所有作者均声明不存在利益冲突 伦理批号：LL-DFXRMYY2022-01 知情同意：已披露

引用本文：王斌, 朱进, 袁彪, 等. 改良自体颅骨缺损修补术在创伤性脑损伤患者中的应用效果及对神经功能、生活能力的影响[J]. 现代生物医学进展, 2025, 25(18): 2949-2955.

（收稿日期：2025-03-16）

ABSTRACT Objective: To observe the effect of modified autologous skull defect repair in patients with traumatic brain injury and its influence on neurological function and living ability. **Methods:** 104 patients with traumatic brain injury who were admitted to our hospital from March 2022 to August 2024 were included, they were divided into Group A [37 cases, poly ether ether ketone (PEEK) skull defect repair], Group B (35 cases, traditional titanium mesh skull defect repair), and Group C (32 cases, modified autologous skull defect repair). Perioperative indicators, neurological function, activity of daily living, quality of life, satisfaction, and incidence of postoperative complications were compared among three groups. **Results:** There were no differences in the operation time, operation blood loss and postoperative hospital stay among the three groups (P>0.05). The hospitalization costs of Group A, Group B and Group C decreased successively (P<0.05). Activity of Daily Living (ADL) scores at 3 and 6 months after surgery increased among three groups, while National Institutes of Health Stroke Scale (NIHSS) scores decreased (P<0.05). There was no significant difference in physiological function, social function, psychological function, and material life among the three groups at 6 months after surgery (P>0.05). The overall satisfaction rate in Group C was higher than that of Group A and Group B (P<0.05). The overall incidence of complications in Group C was lower than that in Group A and Group B (P<0.05). **Conclusion:** PEEK, traditional titanium mesh, and modified autologous skull are used in skull defect repair, operation time, operation blood loss and postoperative hospital stay are comparable, they can also reduce neurological function damage, improve living ability, and enhance the quality of life of patients, however, PEEK is relatively expensive, the satisfaction of traditional titanium mesh is low, andincidence of postoperative complications are relatively high.

Key words: Modified autologous; Skull defect repair; Traumatic brain injury; Neurological function; Living ability

前言

颅脑作为生命中枢，在受到外界打击时极易损伤，且损伤后病情变化多端，随时可危及生命安全[1,2]。创伤性脑损伤后颅内压可在极短时间内迅速升高引发脑疝，具有极高的致残率及病死率，充分性去骨瓣减压成为治疗患者的主要方法，为进一步治疗原发性、继发性脑损伤提供可能[3-5]。进行去骨瓣减压术后常常导致颅骨缺损，颅骨缺损会影响颅内环境、血流动力学循环和脑神经功能等，需要进一步手术填充修补缺损的颅骨[6,7]，但有关具体的修补材料选择临床尚未完全统一。聚醚醚酮（poly ether ether ketone, PEEK）材料因其组织相容性好及耐高温等特点广泛应用于骨科和颌面外科的手术中，临床效果尚佳，但价格昂贵，术后易出现皮下积液[8]。传统钛网作为修补材料，具有感染率低、临床应用广泛等优势，但对术者自身要求较高，增加并发症风险[9]。改良自体颅骨作为最自然的材料，-80℃保存颅骨可有效保持骨诱导能力[10]。本研究探讨改良自体颅骨缺损修补术在创伤性脑损伤患者中的应用效果及对神经功能、生活能力的影响，现报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料

纳入我院 2022 年 3 月至 2024 年 8 月期间收治的 104 例创伤性脑损伤患者，纳入标准：(1)临床表现及影像学检查确诊，具备颅骨缺损修补术指征；(2)受伤后＜72 小时接受手术；(3)患者或家属知情同意且签署知情同意书；(4) 病历资料完整；(5)GCS 评分≤12 分；(6)缺损区皮肤无感染及破损。排除标准：(1)其他病因（如脑卒中、缺氧性脑病、颅内感染、肿瘤等）；(2)严重痴呆、神经退行性疾病、既往创伤性脑损伤后遗留严重功能障碍；(3)终末期器官衰竭（心、肝、肾）、晚期癌症、不可控感染等；(4)长期酗酒 / 吸毒、精神疾病史（如精神分裂症）影响评估；(5)妊娠期女性、参与其他冲突性临床试验等。

根据不同应用材料分为 A 组（37 例，PEEK 颅骨缺损修补）、B 组（35 例，传统钛网颅骨缺损修补）和 C 组（32 例，改良自体颅骨缺损修补）。A 组损伤类型：脑挫裂伤并硬膜下血肿、脑挫裂伤并硬膜外血肿、脑挫

裂伤并脑内血肿、基底节区脑出血并脑疝例数分别为15例、10例、8例、4例；年龄18~60岁，平均(38.69±4.28)岁；男、女例数分别为19例、18例；原发病：车祸、坠落伤、跌伤、其他例数分别为17例、8例、5例、7例；格拉斯哥昏迷评分法（glasgow coma score, GCS）[11]：9~12分14例，3~8分23例。B组损伤类型：脑挫裂伤并硬膜下血肿、脑挫裂伤并硬膜外血肿、脑挫裂伤并脑内血肿、基底节区脑出血并脑疝例数分别为17例、9例、7例、2例；年龄19~58岁，平均(38.15± 3.96)岁；男、女例数分别为20例、15例；原发病：车祸、坠落伤、跌伤、其他例数分别为15例、7例、6例、7例；GCS：9~12分14例，3~8分21例。C组损伤类型：脑挫裂伤并硬膜下血肿、脑挫裂伤并硬膜外血肿、脑挫裂伤并脑内血肿、基底节区脑出血并脑疝例数分别为13例、8例、7例、4例；年龄20~57岁，平均(38.94± 5.17)岁；男、女例数分别为17例、15例；原发病：车祸、坠落伤、跌伤、其他例数分别为14例、9例、4例、5例；GCS：9~12分12例，3~8分20例。

三组一般资料对比无显著差异（P>0.05），具有可比性。本研究经我院医学伦理委员会审核批准（编号：LL-DFXRMYY2022-01）。

1.2 方法

患者均于全麻状态下行手术，患者仰卧头偏向健侧位，沿原手术瘢痕或设计的新切口切开皮肤、皮下组织及骨膜。分离皮瓣，充分暴露颅骨缺损边缘。处理缺损边缘，清除缺损周围纤维组织或骨痂，打磨骨缘至新鲜骨面。根据不同分组植入修补材料。A组采用PEEK颅骨缺损修补术，术前通过电子计算机断层扫描（computed tomograghy, CT）或磁共振成像检查扫描缺损区域，获取三维数据，计算机辅助设计和3D打印技术定制个性化PEEK植入物。将预制的PEEK植入物放置于缺损区，检查贴合度，使用钛钉或钛板（生物相容性材料）固定植入物，通常需4-6枚螺钉。逐层缝合骨膜、肌肉、皮下组织及皮肤，放置引流管，加压包扎防止血肿形成。B组采用传统钛网颅骨缺损修补术，行头颅CT扫描，评估缺损范围及周围组织情况，根据缺损大小预成形钛网，高温高压或化学灭菌处理。术中用器械弯曲钛网，使其与颅骨弧度匹配。用钛钉（通常4-8枚）将钛网固定于颅骨边缘。逐层缝合骨膜、肌肉、皮下组织及皮肤，视情况放置引流管，加压包扎。C组采用改良自体颅骨缺损修补术，头颅CT+三维重建评估缺损范围及剩余颅骨情况。确认自体骨瓣保存状态，术前用37℃氯化钠（0.9%）溶液浸泡0.5 h，营养液送至检验科进行细菌培养。将骨瓣精确复位至缺损区，检查贴合度。使用钛连接片/钛钉或可吸收螺钉固定（通常需4-6枚）。逐层缝合骨膜、肌肉、皮下组织及皮肤，放置引流管（皮下或硬膜外），加压包扎。三组术后采用常规抗生素治疗。

1.3 观察指标

（1）比较三组手术时间、手术出血量、术后住院时间、住院费用。（2）比较三组术前、术后3个月、术后6个月的神经功能和日常生活活动能力。采用美国国立卫生研究院卒中量表[12]（National Institutes of Health Stroke Scale, NIHSS）和日常生活活动能力量表[13]（activity of daily living, ADL），NIHSS总分42分，分数越高，神经缺损越严重，ADL总分100分，分数越高，日常生活活动能力越好。（3）比较三组患者术后6个月的生活质量。采用生活质量综合评定问卷（quality of life inventory-74, QOLI-74）[14]评估生活质量，QOLI-74包括社会功能、躯体功能、心理功能以及物质生活4个维度，各25分，得分越高表示患者的生活质量越好。（4）比较三组患者术后6个月的颅骨缺损修补术的塑形满意度，采用我院自制苏醒满意度评定问卷（分为非常满意、满意和不满意等。总满意度=非常满意率+满意率）评估。（5）观察三组患者术后并发症发生情况。

1.4 统计学方法

采用SPSS软件（28.0版）进行统计数据分析。计数资料以例（率）表示，并使用卡方检验进行比较；符合正态分布的计量资料以均数± 标准差表示，两组数据对比行t检验，三组数据对比行F检验。检验水准α=0.05。

2 结果

2.1 三组患者围术期指标对比

三组患者手术时间、手术出血量、术后住院时间组间对比未见差异（P>0.05）。C组患者住院费用低于A组、B组（P<0.05）。见表1、图1。

2.2 三组患者NIHSS、ADL评分对比

三组术后3个月、术后6个月NIHSS评分均下降，ADL评分均升高（P<0.05）。三组患者术前、术后3个月、术后6个月NIHSS、ADL评分组间对比无差异（P>0.05）。见表2、图2。

表 1 三组围术期指标对比($\bar{x}\pm s$)

Table 1 Comparison of perioperative indicators among three groups ($\bar{x}\pm s$)

组别	手术时间(min)	手术出血量(mL)	术后住院时间(d)	住院费用(万元)
A 组(n=37)	89.39± 7.08	171.44± 12.19	12.28± 1.15	5.72± 0.22
B 组(n=35)	88.43± 6.39	170.87± 9.71	12.13± 1.26	4.91± 0.21*
C 组(n=32)	90.91± 7.16	169.41± 10.22	12.03± 1.78	4.31± 0.53*#
F	1.098	0.317	0.278	146.561
P	0.338	0.729	0.758	0.000

注:与 A 组对比,*P<0.05;与 B 组对比,#P<0.05。

Note: Compared with Group A, *P<0.05; Compared with Group B, #P<0.05.

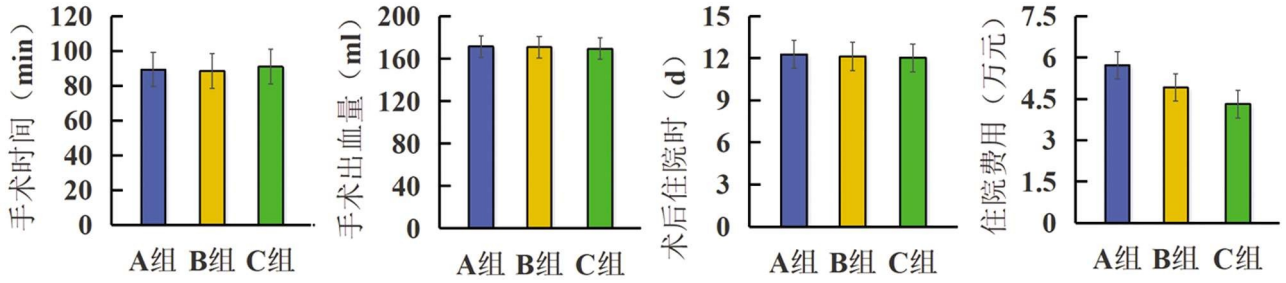

图 1 三组围术期指标的数据柱状图

Fig.1 Data histogram of perioperative indicators among three groups

表 2 三组 NIHSS、ADL 评分对比(分,$\bar{x}\pm s$)

Table 2 Comparison of NIHSS and ADL scores among three groups (score, $\bar{x}\pm s$)

组别	NIHSS			ADL		
	术前	术后 3 个月	术后 6 个月	术前	术后 3 个月	术后 6 个月
A 组(n=37)	18.01± 2.24	10.53± 1.68*	3.06± 0.89*#	42.14± 7.21	64.36± 6.22*	74.28± 5.26*#
B 组(n=35)	18.13± 1.96	10.35± 1.31*	3.33± 0.67*#	41.87± 6.19	65.02± 5.15*	74.02± 4.95*#
C 组(n=32)	18.26± 1.28	10.73± 1.27*	3.14± 0.64*#	41.63± 5.22	64.67± 6.19*	75.87± 5.24*#
F	0.150	0.581	1.225	0.056	0.114	1.253
P	0.861	0.561	0.298	0.945	0.893	0.290

注:与术前对比,*P<0.05;与术后 3 个月对比,#P<0.05。

Note: Compared with befor surgery, *P<0.05; Compared with 3 months after surgery, #P<0.05.

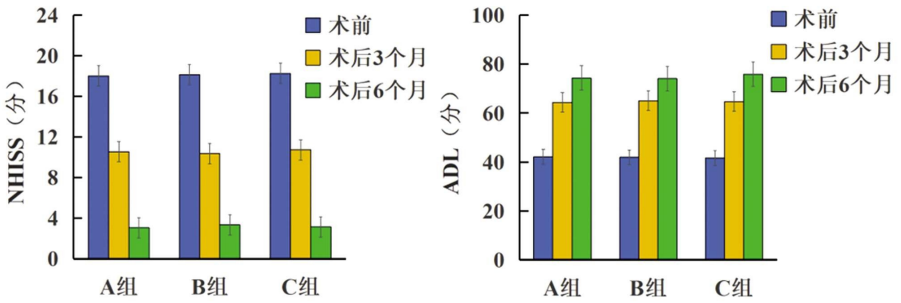

图 2 三组 NIHSS、ADL 评分的数据柱状图

Fig.2 Data histogram of NIHSS and ADL scores among three groups

2.3 三组患者生活质量各维度评分对比

三组患者术后 6 个月 QOLI-74 各维度评分对比未见差异（P>0.05）。见表 3、图 3。

表 3 三组生活质量评分对比（分，$\bar{x}\pm s$）

Table 3 Comparison of quality of life scores among the three groups (score, $\bar{x}\pm s$)

组别	生理职能	社会职能	心理职能	物质生活
A 组(n=37)	17.03± 2.24	14.08± 3.36	17.22± 3.22	17.85± 2.36
B 组(n=35)	17.76± 2.37	14.64± 3.29	16.91± 3.36	18.12± 2.42
C 组(n=32)	17.42± 2.41	14.37± 3.28	17.69± 3.09	18.81± 2.52
F	0.880	0.257	0.492	1.400
P	0.418	0.774	0.613	0.252

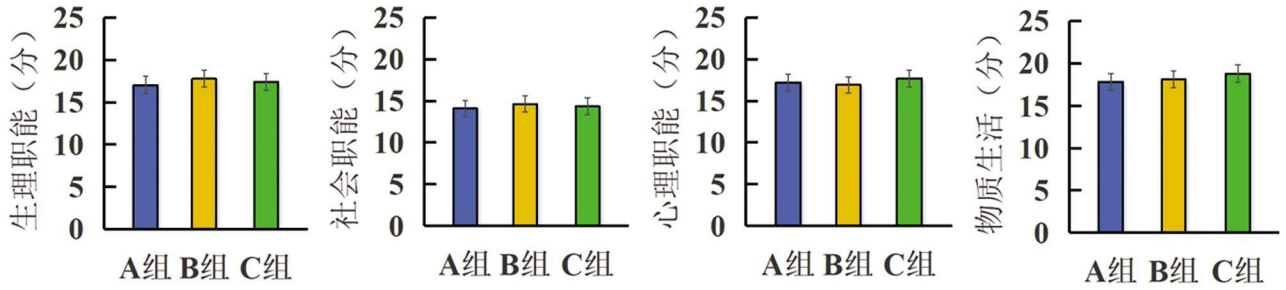

图 3 三组生活质量评分的数据柱状图

Fig.3 Data histogram of quality of life score among the three groups

2.4 三组患者满意度对比

C 组患者的总满意率高于 A 组和 B 组（P<0.05）。见表 4。

表 4 三组满意度对比 [例(%)]

Table 4 Comparison of satisfaction among three groups [n(%)]

组别	非常满意	满意	不满意	总满意率
A 组(n=37)	8(21.62)	14(37.84)	15(40.54)	22(59.46)
B 组(n=35)	7(20.00)	13(37.14)	15(42.86)	20(57.14)*
C 组(n=32)	10(31.25)	21(65.63)	1(3.12)	31(96.88)*#
x^2				15.775
P				0.000

注：与 A 组对比，*P<0.05；与 B 组对比，#P<0.05。

Note: Compared with Group A, *P<0.05; Compared with Group B, #P<0.05.

2.5 三组患者并发症发生情况对比

C 组患者的并发症总发生率低于 A 组、B 组（P<0.05）。见表 5。

3 讨论

创伤性颅脑外伤患者在去除骨瓣后，由于局部脑组织失去骨性支撑，大气压直接作用于脑表面，可能引起脑组织移位或反常性脑膨出；修补后能重建颅腔密闭性，保持颅内环境的稳定[15,16]。但不同的颅脑修补材料所带来的效果不同。理想的颅骨修补材料应具备头颅影像检查兼容、有诱导成骨潜能、高生物亲和力以及经济适用等特点[17]。现临床常用的颅骨修补材料包括 PEEK、传统钛网、自体颅骨等，上述三种材料各有优缺点，PEEK 是一种半结晶线性多环芳族热塑性

表 5 三组并发症发生情况对比 [例(%)]

Table 5 Comparison of incidence of complications among the three groups [n(%)]

组别	皮下积液	感染	排斥反应	总发生率
A 组(n=37)	3(8.11)	4(10.81)	4(10.81)	11(29.73)
B 组(n=35)	4(11.43)	5(14.29)	3(8.57)	12(34.29)*
C 组(n=32)	1(3.13)	1(3.13)	0(0.00)	2(6.26)*#
x^2				8.214
P				0.016

注:与 A 组对比,*P<0.05;与 B 组对比,#P<0.05。

Note: Compared with Group A, *P<0.05; Compared with Group B, #P<0.05.

塑料,其强度、刚度、耐用性等优势显著,但价格昂贵,术后易出现皮下积液[18,19]。钛网有较强的抗力、组织相容性良好、术中易于操作和塑形,但对术者自身要求较高,具有耗时长、吻合性差以及生理弧度不能精确掌握等不足[20,21]。自体颅骨从生理学角度来说,具有符合生理和解剖要求,无排斥且经济等优点[22]。然而原位颅骨的保存是目前仍无法完美解决的一个重要难题,从而增加颅骨修补失败风险。本研究选用改良自体颅骨进行颅骨修补时,先将其放入无菌营养液中并保存于 -80℃条件下,于颅骨缺损修补术当天取出,并进行术前处理后再次进行手术[23]。

本次研究结果显示,PEEK、传统钛网、改良自体颅骨用于颅骨缺损修补术,三组手术时间、手术出血量、术后住院时间相当,且均可减轻患者神经功能损伤,提高生活能力,改善生活质量,提示三种材料进行修补均可获得较好的预后,但 A、B 两组患者住院费用偏高。分析原因,PEEK 材料采用嵌入式修补方式,可完美复原患者颅骨外形,能给脑组织提供更可靠的保护,有利于患者的康复[24,25]。传统钛网材料具有良好的机械强度和延展性,同时也表现出低炎性反应、无腐蚀性、感染风险极低的金属合金等特性[26]。通过三维重建,钛网可以较好恢复颅骨外观,有利于肉芽组织的生长[27]。改良自体颅骨由于基因同源性植入后易被机体认可,能够抗压、抗张、隔温、防寒等;患者心理容易接受。自体颅骨含有维持骨中矿物质的基质蛋白,有助于患者术后恢复[28,29]。

本次研究结果发现,C 组的总满意率高于 A 组、B 组。分析原因,PEEK 硬度较高,容易受到外力的碰撞而变形,影响美观,降低患者的满意度[30]。钛网是热导体,在异常环境(如过冷或过热等)中可能使患者产生不适感,降低患者满意度[31]。改良自体颅骨具有正常颅骨的形态,功能完善、解剖完整、外形美观,能显著提高患者的满意度[28]。

本次研究结果发现,C 组的并发症总发生率低于 A 组、B 组。分析原因,PEEK 材料孔洞太少,不利于术中硬膜悬吊,也不利于术后引流[32]。钛网为覆盖式修补,可能会对头皮造成切割性伤害或磨损,增加并发症发生风险[33]。改良自体颅骨排异性小、成型好,造成水肿的可能性也小,能有效减少并发症发生率[29]。

综上所述,PEEK、传统钛网、改良自体颅骨用于颅骨缺损修补术,手术时间、手术出血量、术后住院时间相当,且可减轻神经功能损伤,提高生活能力,改善患者的生活质量。改良自体颅骨相比于 PEEK、传统钛网,在住院费用、患者满意度、并发症发生率方面具有较大优势。在颅骨修补材料选取方面,应根据患者身体条件、经济条件、医疗条件等多方面因素做出合理选择。

参 考 文 献(References)

[1] Pinggera D, Geiger P, Thomé C. Schädel-Hirn-Trauma [J]. Nervenarzt, 2023, 94(10): 960-972.

[2] Bergquist TF, Kew CL, Wisinger AM. Traumatic Brain Injury [J]. Neurol Clin, 2024, 42(4): 863-874.

[3] Muehlschlegel S, Rajajee V, Wartenberg KE, et al. Guidelines for Neuroprognostication in Critically Ill Adults with Moderate-Severe Traumatic Brain Injury [J]. Neurocrit Care, 2024, 40(2): 448-476.

[4] Zhang L, Zhao H, Wang L, et al. Time-to-surgery for traumatic brain injury in the hyperacute period: a systemic review and meta-analysis[J]. Brain Inj, 2025, 39(3): 179-186.

[5] Hutchinson PJ, Adams H, Mohan M, et al. Decompressive Craniectomy versus Craniotomy for Acute Subdural Hematoma[J]. N Engl J Med, 2023, 388(24): 2219-2229.

[6] Moura SP, Center AD, Kalluri M, et al. Reduction

cranioplasty for hydrocephalic macrocephaly: a systematic review of surgical outcomes[J]. J Neurosurg Pediatr, 2024, 34 (3): 221-233.

[7] Capitelli-McMahon H, Kahlar N, Rahman S. Titanium Versus Autologous Bone-Based Cranioplasty: A Systematic Review and Meta-Analysis[J]. Cureus, 2023, 15(5): e39516.

[8] Hughes EB, Alfarone J, Chernov ES, et al. Polyetheretherketone (PEEK) Into the Future: Lowering Infection Rates in Cranioplasty [J]. Cureus, 2024, 16 (10): e72060.

[9] Chen K, Liang W, Zhu Q, et al. Clinical Outcomes After Cranioplasty With Titanium Mesh, Polyetheretherketone, or Composite Bone Cement: A Retrospective Study [J]. J Craniofac Surg, 2023, 34(8): 2246-2251.

[10] Valenti AB, Asadourian P, Guadix S, et al. Management of Total Frontal Bone Loss After Surgery for Craniosynostosis: The Modified Visor Bone Flap With Brain Cage [J]. Cleft Palate Craniofac J, 2024, 61(1): 144-149.

[11] 朱肖利. 格拉斯哥昏迷评分联合血清学指标在中重度创伤性脑损伤预后的评估价值 [J]. 医药论坛杂志, 2023, 44(4): 40-43.

[12] Kwah LK, Diong J. National Institutes of Health Stroke Scale (NIHSS)[J]. J Physiother, 2014, 60(1): 61.

[13] 赵元萍, 丁睿, 谢红. 中国版日常生活活动能力量表编制与信效度验证[J]. 实用老年医学, 2022, 36(12): 1215-1219.

[14] 申敏, 徐艳丽, 贾爱兰. 焦点解决短程心理治疗对脑卒中后抑郁患者认知功能及生活质量的影响[J]. 中国健康心理学杂志, 2021, 29(10): 1491-1496.

[15] 王守森, 傅世龙, 鲜亮, 等. 深入理解控制性减压技术对创伤性颅脑损伤术中脑膨出的预防机制与效果[J]. 中华神经创伤外科电子杂志, 2024, 10(5): 257-262.

[16] 白立曦, 史航, 许静, 等. 银杏内酯 K 通过 AMPK 介导的能量代谢和自噬缓解创伤性脑损伤 [J]. 现代生物医学进展, 2024, 24(20): 3823-3830.

[17] 李鑫. 不同修补材料在颅骨缺损修补术中的疗效研究[D]. 西南医科大学, 2022.

[18] McGinnity-Hamze G, Hatamleh MM. Is Polyetheretherketone an Effective Alloplastic Material in Comparison to Titanium in Calvarial Reconstruction[J]. J Craniofac Surg, 2024, 35(5): 1517-1522.

[19] Qin J, Xue F, Fu J, et al. Clinical study on the application effect of improved polyetheretherketone cranial plate in cranioplasty[J]. Biointerphases, 2025, 20(1): 011008.

[20] Kim YC, Lee SJ, Woo SH, et al. A Comparative Study of Titanium Cranioplasty for Extensive Calvarial Bone Defects: Three-Dimensionally Printed Titanium Implants Versus Premolded Titanium Mesh [J]. Ann Plast Surg, 2023, 91(4): 446-455.

[21] Chang KW, Zhong LM, Lee DS, et al. Outcomes of Mesh Cranioplasty in Scalp-Free Tissue Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis [J]. Otolaryngol Head Neck Surg, 2023, 168(5): 970-978.

[22] 张清超, 查正江, 李志宏, 等. 体外深低温保存钴 -60 灭菌自体颅骨在颅骨缺损修补术中的应用价值[J]. 临床神经外科杂志, 2024, 21(6): 648-653.

[23] 赵芳, 马佳祥, 赵丹, 等. 自体颅骨深低温保存方案的探索性研究[J]. 临床神经外科杂志, 2024, 21(4): 424-428, 433.

[24] MohanaSundaram A, Kamalakannan Y, Raja V, et al. The World's first 3D-printed PEEK cranial implant: a new horizon in precision and personalized neurosurgery [J]. Neurosurg Rev, 2024, 47(1): 616.

[25] Todaro M, Saponaro G, Perquoti F, et al. Bone Regeneration and Polyetheretherketone Implants in Maxillo-Facial Surgery and Neurosurgery: A Multidisciplinary Study [J]. Biology (Basel), 2024, 13(7): 467.

[26] 杨有文, 黄宗涛, 刘洋. 自体骨、定制钛网及聚醚醚酮对创伤性颅脑损伤后颅骨修补术患者的疗效及预后[J]. 川北医学院学报, 2023, 38(8): 1098-1101.

[27] Kan D, He X, Liu B, et al. Full-thickness skin regeneration beneath the exposed titanium mesh in cranioplasty: Two cases report [J]. Medicine (Baltimore), 2023, 102 (33): e34821.

[28] 卢乐年, 许小兵, 陈达良, 等. 骨组织库技术保存自体颅骨在颅骨缺损修补术中的临床疗效及安全性观察[J]. 分子影像学杂志, 2023, 46(6): 1112-1117.

[29] 高峰, 宋振海, 赵雯. 定制钛网和自体颅骨在创伤性颅脑损伤患者颅骨缺损修补术中的应用效果比较[J]. 现代诊断与治疗, 2023, 34(12): 1831-1834.

[30] Abdelwahed MS, Ali S, Abdelwahed ASK, et al. Cranioplasty using patient specific implants Polyether ether ketone versus ultra-high molecular weight polyethylene: A prospective study [J]. J Craniomaxillofac Surg, 2024, 52(11): 1299-1310.

[31] Kulkarni V, Kumar CS, Ghosh S, et al. Estimation of Titanium Levels in Blood Following Reconstruction of Post-Craniotomy Defect by Titanium Mesh Using Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES) [J]. J Maxillofac Oral Surg, 2024, 23(3): 623-629.

[32] 何征晖, 惠纪元, 冯军峰, 等. 创伤性脑损伤去骨瓣术后聚醚醚酮颅骨修补的疗效 [J]. 中华创伤杂志, 2022, 38(4): 340-345.

[33] Hauerberg J, Nielsen SH, Mirian C, et al. Risk factors for complications following titanium mesh cranioplasty [J]. Acta Neurochir (Wien), 2024, 166(1): 497.