

儿童经角膜上皮准分子激光治疗性角膜切削术序贯眼内抢救手术的可行性

彭宗熠^{1,2}, 叶荷花¹, 赵培泉¹

引用: 彭宗熠, 叶荷花, 赵培泉. 儿童经角膜上皮准分子激光治疗性角膜切削术序贯眼内抢救手术的可行性. 国际眼科杂志, 2026, 26(10): 1844-1850.

作者单位: ¹(200092) 中国上海市, 上海交通大学医学院附属新华医院眼科; ²(200025) 中国上海市, 上海交通大学医学院
作者简介: 彭宗熠, 硕士研究生, 研究方向: 眼底病。
通讯作者: 赵培泉, 博士, 主任医师, 教授, 研究方向: 小儿眼科、眼底病等. zhaopeiquan@xinhumed.com.cn; 叶荷花, 博士, 副主任医师, 研究方向: 角膜病、屈光、白内障等. yeqqq@126.com
收稿日期: 2026-05-28 修回日期: 2026-08-20

摘要

目的: 针对急需眼内手术合并角膜带状变性的低龄患儿, 探讨同次全身麻醉下行经角膜上皮准分子激光治疗性角膜切削术(trans-PTK)序贯眼内抢救手术的可行性。
方法: 本研究为回顾性研究, 纳入了2024年8月至2025年8月期间于上海交通大学医学院附属新华医院接受同次全身麻醉下trans-PTK序贯眼内手术的患儿临床资料。纳入患儿均患有复杂眼内疾病合并视轴区角膜带状变性, 屈光间质混浊影响眼内手术操作。在全身麻醉诱导并平稳后, 术中对患眼进行trans-PTK切削, 以消融角膜上皮及钙化斑块。完成后在维持全身麻醉的状态序贯展开特定的眼内治疗操作。角膜带状变性的范围和可视化由量表评估。记录并分析手术参数、术后角膜透明度变化、眼内可视化变化以及术中特殊的眼表干预措施。
结果: 本研究纳入患儿13例13眼, 年龄 6.15 ± 3.10 岁, 男9例, 女4例。抢救手术的原因包括视网膜脱离6眼, 硅油乳化、异位或取出4眼, 前房消失或房角关闭3眼。所有患儿均在同次全身麻醉下顺利完成联合手术, 术中角膜平均最大切削深度为 $97.08 \pm 15.60 \mu\text{m}$, 平均激光治疗时间为 $57.85 \pm 14.80 \text{ s}$ 。所有患眼的角膜透明度均获得不同程度改善, 其中完全改善9眼, 部分改善4眼。眼内可视化显著性改善[3(2.5, 3.5) vs 0(0, 0)分, $P < 0.05$]。患儿术后最后一次随访时BCVA较术前无变化。在序贯进行的眼内手术操作中, 未使用黏弹剂的患眼角膜脱水速度加快, 角膜湿润间隔平均缩短至 $11.66 \pm 4.10 \text{ s}$ 。其中5眼因屈光不规则或严重脱水影响术野, 于术中预防性覆盖透明质酸钠黏弹剂, 有效维持了角膜湿润及术中视野的清晰。术中、术后所有患儿均无不良事件发生。
结论: 对于患严重眼内疾病合并角膜带状变性的低龄患儿, 在同次全身麻醉下可行trans-PTK使眼内可视化快速提升, 使序贯眼内手术得到顺利实施。
关键词: 经角膜上皮准分子激光治疗性角膜切削术; 硅油并发症; 视网膜脱离; 角膜带状变性; 全身麻醉; 序贯治疗
DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2026.10.26

Feasibility of sequential trans-PTK and intraocular salvage surgery for pediatric patients

Peng Zongyi^{1,2}, Ye Hehua¹, Zhao Peiquan¹

¹Department of Ophthalmology, Xinhua Hospital Affiliated to Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200092, China; ²Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200025, China
Correspondence to: Zhao Peiquan. Department of Ophthalmology, Xinhua Hospital Affiliated to Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200092, China. zhaopeiquan@xinhumed.com.cn; Ye Hehua. Department of Ophthalmology, Xinhua Hospital Affiliated to Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200092, China. yeqqq@126.com
Received: 2026-05-28 Accepted: 2026-08-20

Abstract

• **AIM:** To investigate the feasibility of sequential transepithelial phototherapeutic keratectomy (trans-PTK) followed by intraocular salvage surgery under a single general anesthesia session in young pediatric patients with band keratopathy who require urgent intraocular intervention.
• **METHODS:** A retrospective study was performed. Clinical data were collected from pediatric patients who received sequential trans-PTK between August 2024 and August 2025. All patients had complex intraocular diseases combined with visual axis-involving band keratopathy, and opacified refractive media impeded intraocular surgical procedures. Under stable general anesthesia, trans-PTK was performed on the affected eye to remove corneal epithelium and calcific plaques. Upon completion, specific intraocular therapeutic procedures were sequentially performed while maintaining general anesthesia. The extent of band keratopathy and visualization were evaluated using a grading scale. Intraoperative parameters, postoperative corneal clarity, improvement of intraocular visualization and any adjunctive ocular surface measures were documented and evaluated.
• **RESULTS:** A total of 13 eyes from 13 enrolled pediatric patients were included. The mean age was $6.15 \pm 3.10 \text{ y}$, with 9 males and 4 females. The indications for salvage surgery included rhegmatogenous retinal detachment (6 eyes), silicone oil emulsification, dislocation, or extraction (4 eyes), and anterior chamber shallowing or

angle - closure (3 eyes). All patients completed the combined procedure under the same general anesthesia. Mean maximum corneal ablation depth was $97.08 \pm 15.60 \mu\text{m}$, and mean laser treatment time was $57.85 \pm 14.80 \text{ s}$. Postoperatively, corneal transparency improved in all eyes, including completed improvement in 9 eyes and partial improvement in 4 eyes. Intraocular visualization score was significantly improved [$3(2.5, 3.5)$ vs $0(0, 0)$, $P < 0.05$]. Best - corrected visual acuity did not differ significantly from preoperative levels. During sequential intraocular surgery, corneal dehydration accelerated in eyes not treated with viscoelastic agents, and the mean corneal wetting interval was shortened to $11.66 \pm 4.10 \text{ s}$. Viscoelastic agents were applied in 5 eyes to reduce irregular refraction and severe dehydration, maintaining corneal hydration and surgical field clarity. No adverse events occurred in any pediatric patient during the intraoperative or postoperative periods.

• **CONCLUSION:** For young pediatric patients with severe intraocular diseases complicated by band keratopathy, Trans-PTK performed under the same session of general anesthesia allows for a rapid enhancement of intraocular visualization, facilitating the successful implementation of sequential intraocular procedures.

• **KEYWORDS:** transepithelial phototherapeutic keratectomy; silicone - oil complications; retinal detachment; band keratopathy; general anesthesia; sequential treatment

Citation: Peng ZY, Ye HH, Zhao PQ. Feasibility of sequential trans - PTK and intraocular salvage surgery for pediatric patients. Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci), 2026, 26(10):1844-1850.

0 引言

角膜带状变性 (band keratopathy, BK) 是累及前弹力层及浅基质层的慢性退行性疾病, 不仅严重损害眼球屈光间质的透光性与表面规整度, 更因遮挡视轴阻碍眼科医生对眼内疾病的评估、治疗及随访^[1]。临床上, BK 常继发于眼内硅油填充、继发性青光眼、视网膜脱离等病理状态^[2]。经角膜上皮准分子激光治疗性角膜切削术 (transepithelial phototherapeutic keratectomy, trans-PTK) 目前已被证实是治疗 BK 的有效手段^[3]。相较于传统的手动刮除或乙二胺四乙酸 (EDTA) 螯合术^[4-6], trans-PTK 凭借准分子激光消融的高度精准性, 能够在有效清除钙化病灶的同时, 最大限度减少对健康基质组织的医源性损伤, 并更好地维持角膜表面的平滑度^[7-9], 已被验证可有效治疗复发性角膜上皮糜烂、浅层角膜瘢痕等角膜上皮、前弹力层及浅基质层的混浊、变性、瘢痕、钙化及表面不规则病变^[10]。Trans-PTK 的顺利实施依赖于眼球的配合以实现精准对焦, 同时复杂的眼内手术也要求眼球在较长时间保持相对静止^[7]。对于依从性较差的低龄患儿, 全身麻醉是确保手术安全与精准的必要前提。尽管现代小儿全身麻醉技术日益成熟, 但围手术期禁食水、麻醉药物潜在的神经毒性、术后消化道不良反应以及气管插管可能引发的气道损伤、气管痉挛等并发症风险仍不容忽视^[11]。同时多次麻醉手术亦增加了患者家庭的医疗与经济负担。鉴于此, 本研究提出并探讨了在同次全身麻醉下, 先行 trans-PTK

切除角膜病变以改善术野透明度, 随后序贯完成眼内抢救手术的综合治疗方案, 旨在通过最小化的医源性损伤和麻醉暴露次数, 迅速实现复杂的前后节疾病理想的治疗效果。

1 对象和方法

1.1 对象 本研究为回顾性研究, 收集了 2024 年 8 月至 2025 年 8 月在上海交通大学医学院附属新华医院接受同次全身麻醉下 trans-PTK 序贯眼内手术的患儿临床资料。纳入标准: 入组患儿均经眼前节 OCT 与裂隙灯检查确诊 BK, 病变局限于角膜前弹力层及中浅层基质。患儿通过裂隙灯、B 超、Retcam 等检查, 存在复发性视网膜脱离、硅油乳化、硅油异位、前房消失等病变, 并由同一位经验丰富的眼科专家评估必须尽快进行进一步眼内手术治疗。所有患儿无激光与内眼手术禁忌证。排除标准: 圆锥角膜、角膜营养不良、先天性角膜发育异常、既往角膜手术/穿孔史等可显著影响角膜厚度的疾病; 合并活动性眼表炎症、感染; 严重干眼无法配合术后随访; 合并全身严重疾病无法耐受全身麻醉。所有参与者的法定监护人均已同意手术方案并签署知情同意书。该研究方案的设计与实施完全符合《赫尔辛基宣言》的伦理准则, 经由上海交通大学医学院附属新华医院医学伦理委员会审查并批准 (批准号: XHEC-KJB-2024-013)。

1.2 方法

1.2.1 序贯手术 所有患儿在全身麻醉诱导并维持平稳后, 使用脉冲重复率为 500 Hz 的飞点准分子激光 (AMARIS 500E) 进行跨上皮 PTK 消融角膜上皮和斑块。在消毒铺巾且充分暴露角膜后, 设置初始消融深度为 $120 \mu\text{m}$, 控制经上皮 PTK 治疗后残留基质厚度在 $400 \mu\text{m}$ 以上。启动激光, 由中央向周边均匀切削, 逐层去除钙化变性组织, 在手术显微镜下动态观测, 当基质面平整透明、角膜和虹膜细节达到相对清晰的视觉效果时, 即停止切削并记录实际消融深度。切削过程中出于药物毒性考虑并未使用丝裂霉素 C (MMC), 而是用无菌平衡盐液 (BSS) 持续冲洗切削面, 清除碎屑, 保持术野清晰。完成 trans-PTK 步骤后, 在持续维持全身麻醉的状态下, 对术区进行重新消毒铺巾, 随后由同一位经验丰富的眼科专家序贯展开特定的眼内治疗。术后患儿术眼配戴角膜绷带镜, 给予糖皮质激素滴眼液 (1% 泼尼松龙滴眼液或妥布霉素地塞米松滴眼液)、抗生素滴眼液与人工泪液, 其中糖皮质激素滴眼液每天 4 次至少使用 1 mo, 术后 1-2 wk 拆除绷带镜。

1.2.2 手术效果评估 记录患儿的基础临床资料、BK 的位置、范围及眼底可视化程度, 术前的最佳矫正视力, trans-PTK 的手术时间、切削深度, 眼内治疗时角膜泪膜破裂时间, 术后最后一次随访时眼底可视化恢复状态及最佳矫正视力。对 BK 的累及范围我们以仅局限周边角膜为 1 级, 累及部分瞳孔区为 2 级, 覆盖瞳孔区为 3 级。角膜透明度的情况依靠眼内可视化程度体现, 我们对其进行量表转化: 视野无模糊为 0 分, 视野轻度模糊为 1 分, 视野不清但可见视网膜形态及血管为 2 分, 视野可见视网膜形态但血管窥不清为 3 分, 视野视网膜形态不见为 4 分。因入组的患儿视力测量为低视力或盲, 依据 WHO《视力损害与盲的分级标准》将视力按损伤程度由重到轻分为 4 个标准层级: 无光感为 1 级, 光感为 2 级, 手动为 3 级, 指数为 4 级。

统计学分析: 采用统计学软件 SPSS 26.0 进行分析。

对术前及术后的眼内可视化程度行正态性检验(Shapiro-Wilk),若服从正态,使用 $\bar{x}\pm s$ 描述,采用配对样本 t 检验;若不服从正态,使用 $M(P_{25},P_{75})$ 描述,采用Wilcoxon符号秩检验。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 基础资料 本研究共纳入了患儿13例13眼,其中左眼9眼,右眼4眼。患儿的平均年龄为 6.15 ± 3.10 岁,男9例,女4例,平均随访时间为 $6(1,9.5)$ mo。患儿的原发眼部疾病包括:家族性渗出性视网膜病变(FEVR)3眼、永存胚胎血管膜(PHPV)3眼、视网膜脱离4眼、早产儿视网膜病变(ROP)、外层渗出性视网膜病变(Coats)与并发性白内障各1眼。既往平均接受内眼手术次数为 1.69 ± 0.33 次。本研究患儿手术原因为视网膜脱离6眼,硅油乳化、异位或取出4眼,前房消失或房角关闭3眼,经由同一位经验丰富的眼底病专家判断需要尽快行眼内抢救治疗,见表1。

2.2 角膜状态 BK发生的诱因有多种,本研究中硅油填充为主要诱因(9/13),视网膜脱离(1/13)、前房消失(1/13)、虹膜前粘连(1/13)、前房胆固醇结晶(1/13)同样诱发了BK(表2)。本研究中BK全部累及角膜基质层,其中8眼位于浅基质层,5眼位于中浅基质层。6眼BK覆盖了全部瞳孔区,7眼累及部分瞳孔区,对眼内情况的可

视化影响2-4分。其中3眼完全遮盖术野,7眼可见视网膜但血管不清,3眼术野清晰度下降但仍可窥清视网膜。

所有患儿均在同次全身麻醉下顺利完成trans-PTK和眼内治疗,术中记录平均角膜最大切削深度为 $97.08\pm15.60\mu\text{m}$,平均激光治疗时间为 $57.85\pm14.80\text{ s}$ 。患儿在trans-PTK治疗后眼内情况可视化程度从3(2.5,3.5)分提升至0(0,0)分,较术前得到显著性改善($P=0.0002$,表2)。患儿角膜透明度也得到不同程度改善,其中9眼完全改善,角膜浅层的病灶被完全清除,眼内结构可以完全看清,可视化评分降为0分。4眼角膜透明度部分改善,其中病例3、9、10在trans-PTK治疗后角膜中央视轴区域恢复透明(表2),仅周边仍残留部分混浊,未明显影响虹膜以及眼底内细节的观察(图1),眼内可视度同样降为0分(图2)。病例8角膜带状变性经trans-PTK完全去除,而因前房消失导致的角膜深层基质水肿依旧遮挡视轴,眼内细节仍无法窥清,可视化评分为1分(图1)。在序贯进行的内眼治疗过程中,研究观察到角膜脱水速度加快,其中有5眼在术中预防性覆盖黏弹剂以维持角膜湿润及术野清晰,其余病例角膜湿润间隔平均缩短至 $11.66\pm4.10\text{ s}$ (表2,图3)。

2.3 预后 在随访过程中,原视网膜脱离的患儿在再次硅油填充下视网膜平伏,术前存在异常形态的硅油均被取

表 1 病例基本信息及眼内手术治疗后的结果

病 例	性 别	年 龄 (岁)	眼 别	随访时间 (mo)	手术次数 (次)	原始疾病	末次眼内手术	此次手术原因	眼内手术间隔 时间(mo)	此次眼内手术	术前最佳矫正 视力(级)	术后最佳矫正 视力(级)
1	男	5	左	9	3	视网膜脱离	玻 璃 体 切 除 术+硅油	复发性视 网膜脱离	30	换油	3	3
2	女	6	左	10	1	FEVR	玻 璃 体 切 除 术+硅油	硅油异位	17	换油	1	1
3	男	9	左	1	1	FEVR	玻 璃 体 切 除 术+晶状 体切除	房角关闭	1	前房成形	1	1
4	男	2	左	10	3	视网膜脱离	玻 璃 体 切 除 术+硅油	取出硅油	4	取油	/	/
5	男	3	右	8	2	FEVR	眼内注药	视 网 膜 脱 离	22	视网膜复位	/	/
6	男	9	左	10	2	视网膜脱离	玻 璃 体 切 除 术+换油	复发性视 网膜脱离	13	换油	3	3
7	男	9	左	1	4	ROP	玻 璃 体 切 除 术+取油	复发性视 网膜脱离	15	视网膜复位	2	2
8	女	3	右	1	0	PHPV		前房消失		视网膜复位	/	/
9	男	10	左	9	2	PHPV	玻 璃 体 切 除 术+硅油	复发性视 网膜脱离	5	换油	3	3
10	女	1	右	6	1	PHPV	玻 璃 体 切 除 术+硅油	取出硅油	6	取油	/	/
11	女	6	右	4	0	并发性白内障		房角关闭		晶状体切除	2	2
12	男	8	左	1	1	Coats	玻 璃 体 切 除 术+硅油	硅油乳化	81	换油	1	1
13	男	9	左	1	2	视网膜脱离	玻 璃 体 切 除 术+硅油	复发性视 网膜脱离	10	换油	1	1

注:/为患儿不配合。

表 2 BK 情况及经上皮光疗性角膜切削术结果

病例	BK 主要诱因	BK 位置	BK 范围 (级)	术前可视化 (分)	术后可视化 (分)	角膜透明度	最大切削深度 (μm)	治疗时间 (s)	角膜湿润状态 时长(s)
1	硅油填充	基质浅层	2	3	0	完全	70	41	16
2	硅油填充	基质浅层	2	3	0	完全	93	56	10
3	前房胆固醇结晶	基质中浅层	3	4	0	部分	117	73	10
4	硅油填充	基质浅层	2	3	0	完全	68	35	/
5	视网膜脱离	基质中浅层	3	3	0	完全	113	65	12
6	硅油填充	基质浅层	2	2	0	完全	85	48	/
7	硅油填充	基质浅层	2	2	0	完全	98	43	/
8	前房消失	基质中浅层	3	4	1	部分	105	80	6
9	硅油填充	基质浅层	3	4	0	部分	93	50	19
10	硅油填充	基质中浅层	2	3	0	部分	112	82	/
11	虹膜前黏连	基质中浅层	3	3	0	完全	112	61	9
12	硅油填充	基质浅层	3	2	0	完全	97	53	/
13	硅油填充	基质浅层	2	3	0	完全	99	65	11

注:/为术中使用黏弹剂覆盖角膜。

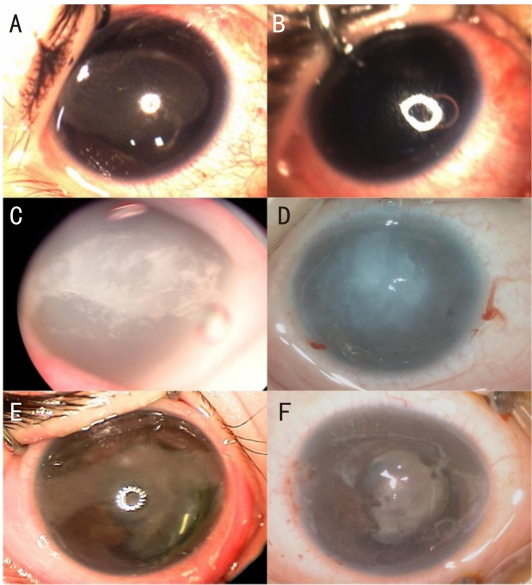


图 1 trans-PTK 前后角膜透明度对比 A:病例 5 术前角膜中央带状变性遮挡瞳孔区;B:病例 5 术后角膜恢复完全透明状态;C:病例 8 术前角膜浅层带状变性伴深层水肿;D:病例 8 术后浅层混浊已被完全去除,但依然可见角膜深层水肿;E:病例 10 术前角膜中央带状变性遮盖眼内;F:病例 10 术后角膜中央视轴区域恢复完全透明,仅限周边角膜缘部位混浊未完全去除。

出,前房消失的患儿在去除晶状体后前房重建,虹膜黏连被分离,前房异物析出被冲洗彻底,房角持续开放。在对患儿的最佳矫正视力随访中,有 4 例病例因年龄较小(1-3岁),视力检查欠配合。其余患儿受限于严重的原发眼底疾病,术前最佳视力仅为手动(3 级),术后最佳矫正视力评级未体现出明显变化(表 1)。随访期内,所有患儿均未出现明显的角膜上皮混浊(haze),也未出现角膜穿孔、角膜溃疡、角膜膨隆等并发症,角膜透明度恢复良好,视网膜细节可以窥清。

3 讨论

trans-PTK 的核心目的是去除角膜浅层沉积物,尽可能恢复角膜的屈光透明度,从而为后续的眼内治疗与长期随访创造条件。目前常用的治疗方式有单纯机械清除、EDTA 螯合和浅层角膜切除术等^[12]。trans-PTK 通过 193 nm 准分子激光逐层消融钙化组织,创面平滑度显著优于机械法,且无需使用酒精等化学试剂,可减少眼表毒性刺激与术后炎症反应^[7,13]。基于此,本研究选择 trans-PTK 去除 BK,既能快速恢复视轴透明度,又能为后续眼内手术提供相对规则的屈光界面。

本研究纳入的 BK 均继发于眼内病理状态。既往研究已证实,长期硅油填充、虹膜前黏连等是 BK 的核心诱因。硅油可干扰房水循环与钙磷离子稳态,造成角膜上皮及内皮慢性损伤,加速前弹力层钙化沉积。慢性葡萄膜

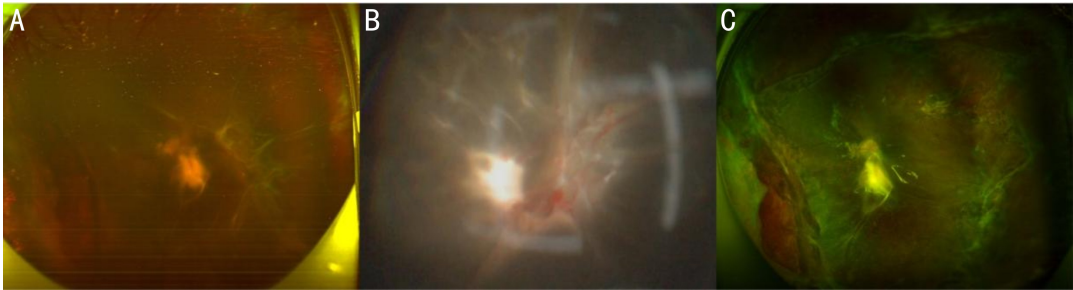


图2 病例9手术前、手术中、手术后眼内可视化程度的展示 A:该病例因左眼 PHPV 伴巨大裂孔视网膜脱离曾行玻璃体切除及硅油填充手术,随访可见角膜带状变性遮盖全视野,视网膜形态不清,视网膜血管不见,仅可隐见后极部视网膜前纤维膜增生,眼内可视化4分,经评估后拟行 trans-PTK+视网膜复位治疗;B:在 trans-PTK 治疗角膜后术野清晰度明显提高,倒像镜下可见全视网膜脱离,视网膜血管可见;C:完成了视网膜复位手术伴硅油填充后9 mo 复查,眼内情况稳定,硅油在位,视网膜平伏,视网膜血管走行清晰,眼内可视化降为0分。

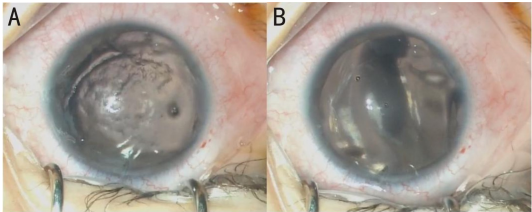


图3 术中角膜覆盖黏弹剂改善屈光状态 A:行 trans-PTK 治疗 BK 后角膜透明度完全改善,但角膜呈现不规则散光; B:角膜覆盖黏弹剂后角膜表面恢复较平整,屈光得到改善。

炎、视网膜脱离继发的炎症反应可促进角膜基质退行性改变。前房消失、虹膜前黏连则通过机械刺激与营养障碍诱发BK^[2,14-16],与本研究病因谱高度吻合。在传统临床路径中,BK合并眼内疾病的病例普遍采用分期策略,通常在PTK术后间隔2 wk以上,待角膜上皮完全愈合后再行眼内治疗^[17-18]。该策略可以减少未愈合的角膜创面导致眼内感染的风险,同时减少角膜曲率改变对屈光度的干扰^[19],这一策略在角膜变性合并白内障的择期手术中具有一定共识。

虽然BK是长期慢性病程的结果,但本组患儿均处于眼内疾病急性期,需行抢救性手术干预,角膜混浊已成为阻碍治疗的直接障碍。若按既往分期手术策略,先处理角膜,待上皮完全愈合后再处理眼底,极有可能延误视网膜脱离、房角关闭等急性病变的救治窗口期。故本研究提出同次手术下先通过角膜表层手术重建光学通路,再实施眼底抢救手术的治疗策略。尽管眼多步手术的安全性已得到验证,但研究均局限于内眼术式组合,角膜表层切削序贯眼内抢救模式尚未见同类报道^[20]。本研究提出的联合手术兼具必要性与合理性,以保眼为首要目的,尽快去除角膜带状混浊为保眼治疗的保障条件。与既往报道的角膜移植联合玻璃体切除术相比,本研究采用的trans-PTK仅针对表浅钙化灶,无需全层或板层角膜置换,创伤更小,材料依赖度更低,仅需微创治疗即可获得较大收益^[21]。

同次序贯手术风险在于角膜在切削未愈合的状态下,是否能耐受后续的眼内手术操作。本研究通过严格把控切削深度与手术终点,其生物力学与并发症结局均在安全范围内。因受限于患儿较差的配合度,部分病例缺少角膜厚度的精准测量数据。目前共识明确将trans-PTK术后残留基质床厚度<250 μm列为PTK手术绝对禁忌证^[22],本研究的切削深度控制在65-120 μm,符合本团队既往针

对重度BK的安全切削范围(72-130 μm)^[8],结合该年龄段儿童540-570 μm的中央角膜厚度生理基线进行推算^[23],术后残留基质床厚度均可达400 μm以上,远高于安全红线。为求更安全的施行手术,所有病例均以病灶清除为手术终点,手术采用显微镜下动态实时观测切削进程,以角膜虹膜清晰可视作为切削终点而非固定切削深度,采用飞点扫描式低能量密度激光,逐层消融,避免单次过度切削。同时未追求解剖学上的完全平整,进一步避免了正常基质的过度切削。因保留较为安全的角膜厚度,在眼内操作中并未出现角膜穿孔、角膜膨隆等不良并发症。术后随访期间,所有患眼角膜上皮愈合完全,患儿均未诉术眼明显不适,未出现严重haze、角膜溃疡、角膜膨隆等严重并发症。末次随访角膜表面平滑度良好,无深基质层损伤征象,提示手术切削深度处于安全可控范围,其安全性具有可靠的临床保障。值得注意的是,本研究术中未使用MMC,仅通过术后规范采用糖皮质激素、抗生素及人工泪液方案,有效控制炎症与瘢痕增生,避免了MMC可能带来的上皮愈合延迟、基质融解等额外风险^[24-25]。

Trans-PTK术后基质脱水与表面不规则是序贯手术中影响术野质量的难点。角膜上皮维持湿润状态通常为45-50 s,PTK术后角膜表面脱水速度显著加快,促使角膜需要更频繁的冲洗。脱水是多方面的作用结果,失去了完整上皮层的保护,阻止水分蒸发的物理屏障受损,离子转运维持基质脱水稳态被打破,同时激光切削会破坏表层基质蛋白多糖的持水结构、打乱胶原纤维排列,进一步加快基质水分流失。本研究采用黏弹剂覆盖方案有效弥补这一缺陷。透明质酸钠的高持水性与屏障效应,可在组织表面形成连续的水合保护层,减少水分蒸发^[26-27],减少冲洗频率。部分角膜在行trans-PTK后,屈光呈不规则散光的形态,引起切削后术中视野畸变。透明质酸钠黏弹剂填充表面凹陷、形成规则屈光界面,有效改善术中眼底观察清晰度,在显著延长了角膜泪膜破裂时间的同时,弥补了屈光不规则造成的视野受限。该操作简单易行、无额外创伤,可为同类序贯手术的术中管理提供参考。

除眼部收益以外,低龄患儿全身麻醉暴露次数的减少具有临床意义。低龄婴幼儿神经系统处于发育关键期,反复麻醉暴露可能增加神经发育风险,多次气管插管也可造成气道黏膜损伤,同时频繁住院会加重患儿家庭的心理与经济负担。国际多中心临床试验建议非急诊手术应优化策略以减少婴幼儿麻醉暴露次数^[28-29]。本研究通过同次序贯手术减少全身麻醉暴露,合理降低了麻醉相关潜在风

险,缩短了整体治疗周期,是儿童患者群体中不可忽视的临床获益。

需要强调的是,本研究中 trans-PTK 不是独立的治疗手段,而是重症眼病治疗中的关键前置环节。运用 trans-PTK 的意义不在于视功能改善,而是保眼前置性治疗。常规 PTK 研究多以最佳矫正视力提升、角膜表面规则性改善作为治疗目的,适用于以改善视功能为目的的择期病例,但本研究纳入患儿均合并严重眼内原发病,基线视功能已处于重度损害水平,视力预后的核心限制因素是眼底病变而非角膜混浊。因此,本研究并未将视力提升作为评价手术价值的核心标准,而是聚焦于恢复角膜透明度,为后续保眼手术顺利实施创造必要条件。这也为临床处理同类复杂病例提供了新的治疗思路。

本研究亦存在一定的局限性:(1)受低龄患儿检查配合度差、部分急症病例术前检查时间有限等因素影响,部分病例缺少术前角膜厚度的精准测量数据,即使采用了眼前节光学相干断层扫描(AS-OCT)和共聚焦显微镜等先进检查手段^[30],仍无法个体化计算残留基质层厚度,切削深度的把控依赖术者临床经验,对生物力学安全性的评估缺少术前术后的客观对比数据,仅能说明该方法具有一定的临床可行性。(2)本次研究病例为低视力或盲,研究仅在临床上验证针对此类患儿的可行性和安全性,推广范围有限。本研究为单中心、小样本研究,针对合并 BK、需行保眼治疗的低视力儿童,病例较稀缺,存在一定偏倚。未来有必要扩大病例种类开展大样本、多中心的前瞻性临床对照研究,以进一步探究该治疗策略的普适性和长期预后。同次全身麻醉下行 trans-PTK 可安全有效地迅速提升眼内可视化,为实现精准的眼内治疗提供了保障。

利益冲突声明:本文不存在利益冲突。

作者贡献声明:彭宗熠论文选题与修改,初稿撰写,文献检索,数据分析;赵培泉、叶荷花选题指导,论文修改及审阅。所有作者阅读并同意最终的文本。

参考文献

[1] Jhanji V, Rapuano CJ, Vajpayee RB. Corneal calcific band keratopathy. *Curr Opin Ophthalmol*, 2011,22(4):283-289.
[2] Ali SF, Edmond JC, Suelflow JR, et al. Band keratopathy in children previously treated with diode laser for type 1 retinopathy of prematurity. *J Am Assoc Pediatr Ophthalmol Strabismus*, 2019,23(4):232-234.
[3] 杨柳,刘慧,路晓晓,等.经上皮准分子激光治疗性角膜切削术治疗带状角膜变性的临床疗效观察. *中华眼科杂志*, 2026,62(2):113-121.
[4] Al-Hity A, Ramaesh K, Lockington D. EDTA chelation for symptomatic band keratopathy: Results and recurrence. *Eye Basingstoke*, 2018,32(1):26-31.
[5] Narvaez J, Chang M, Ing J, et al. Simplified, readily available method for the treatment of band keratopathy with ethylenediaminetetraacetic acid. *Cornea*, 2021,40(10):1360-1362.
[6] Schaffert TF, Böhringer D, Reinhard T, et al. Dissolve or evaporate: an update to treatment modalities in band-like keratopathy. *Klin Monbl Augenheilkd*, 2026,243(6):697-703.
[7] Shah RP, Nanavaty MA. Modified transepithelial phototherapeutic keratectomy for band keratopathy. *JCM*, 2024,13(19):5717.
[8] Qian YY, Zhao PQ, Li HY, et al. Transepithelial phototherapeutic keratectomy for the treatment of severe band keratopathy. *Int Ophthalmol*, 2020,40(10):2469-2474.

[9] Spadea L, Giannico MI, Iannaccone A, et al. Excimer laser-assisted phototherapeutic keratectomies combined to EDTA chelation for the treatment of calcific band keratopathy. *Eur J Ophthalmol*, 2022,32(1):NP42-NP46.
[10] Zhang RP, Wang Q, Li JY, et al. Transepithelial phototherapeutic keratectomy for post-traumatic recurrent corneal erosions. *Indian J Ophthalmol*, 2022,70(4):1186-1189.
[11] 中华医学会麻醉学分会小儿麻醉学组,中华医学会麻醉学分会器官移植麻醉学组,中国心胸血管麻醉学会日间手术麻醉分会.儿童麻醉评估与围手术期风险预测中国专家共识(2024版). *中华医学杂志*, 2024,104(29):2688-2700.
[12] Saito S, Kusumi Y, Takano Y, et al. Effects of ethylenediaminetetraacetic acid chelation for calcific band keratopathy on corneal topography assessed by Fourier harmonic analysis. *Jpn J Ophthalmol*, 2025,69(2):182-187.
[13] Way C, Elghobaier MG, Nanavaty MA. Transepithelial photorefractive keratectomy—review. *Vision*, 2024,8(1):16.
[14] Tosi GM, Baiocchi S, Balestrazzi A, et al. Corneal complications during and after vitrectomy for retinal detachment in photorefractive keratectomy treated eyes. *Medicine*, 2015,94(50):e2215.
[15] Roldan AM, Zebardast N, Pistilli M, et al. Corneal endothelial transplantation in uveitis: incidence and risk factors. *Am J Ophthalmol*, 2022,236:288-297.
[16] Pai DN, P Sangly S, Shetty A. Exploring corneal endothelial cell dynamics: structure, functions and therapeutic approaches. *Mol Biol Rep*, 2025,53(1):133.
[17] Salah T, el Maghraby A, Waring GO 3rd. Excimer laser phototherapeutic keratectomy before cataract extraction and intraocular lens implantation. *Am J Ophthalmol*, 1996,122(3):340-348.
[18] Sharma N, Mannan R, Sinha R, et al. Excimer laser phototherapeutic keratectomy for the treatment of silicone oil-induced band-shaped keratopathy. *Eye Contact Lens*, 2011,37(5):282-285.
[19] Vinciguerra R, Catania F, Rosetta P, et al. Sequential customized therapeutic keratectomy in patients with a history of radial keratotomy. *J Refract Surg*, 2023,39(12):808-816.
[20] Amiri IM, Grove N, Patnaik JL, et al. One year clinical outcomes with a novel canaloplasty device in mild to severe open angle glaucoma. *Int J Ophthalmol*, 2025,18(9):1673-1680.
[21] Skevas C, Bigdon E, Steinhorst A, et al. A novel temporary keratoprosthesis technique for vitreoretinal surgery. *Int J Ophthalmol*, 2021,14(11):1791-1795.
[22] 中华医学会眼科学分会角膜病学组.中国准分子激光治疗性角膜切削术专家共识(2026年). *中华眼科杂志*, 2026,62(2):91-95.
[23] Chen SY, Mu JY, Tan XY, et al. Prediction of myopia based on biometric parameters of 500,000 children and adolescents aged 3-18 years. *Front Public Health*, 2025,13:1563305.
[24] Charpentier S, Keilani C, Maréchal M, et al. Corneal haze post photorefractive keratectomy. *J Français D'ophtalmologie*, 2021,44(9):1425-1438.
[25] Moshirfar M, Wang QC, Theis J, et al. Management of corneal haze after photorefractive keratectomy. *Ophthalmol Ther*, 2023,12(6):2841-2862.
[26] Miyake G, Ota I, Miyake K, et al. Effects of topical diquafosol pretreatment on intraoperative corneal wetting. *J Cataract Refract Surg*, 2014,40(10):1682-1688.
[27] Mosquera SA, Verma S. Impact of corneal-hydration-induced changes in ablation efficiency during refractive surgery. *Photonics*, 2025,12(8):769-782.
[28] Xin AN, Grobler A, Bell G, et al. Neurodevelopmental outcomes after multiple general anesthetic exposures before 5 years of age: a cohort study. *Anesthesiology*, 2025,142(2):308-319.

[29] Wong-Kee-You AMB, Loveridge-Easther C, Mueller C, et al. The impact of early exposure to general anesthesia on visual and neurocognitive development. *Surv Ophthalmol*, 2023,68(3):539-555.

[30] Rush SW, Rush RB. Optical Coherence Tomography – Guided Transepithelial Phototherapeutic Keratectomy for Central Corneal Opacity in the Pediatric Population. *J Ophthalmol*, 2018,2018:3923617.

国际眼科杂志中文版(IES) 近 5 年核心影响因子趋势图

