

内界膜剥除术在孔源性视网膜脱离治疗中的研究进展

张雨晨^{1,2}, 李科军², 贾志旻²

引用:张雨晨, 李科军, 贾志旻. 内界膜剥除术在孔源性视网膜脱离治疗中的研究进展. 国际眼科杂志, 2025, 25(6):933-937.

作者单位:¹(063210) 中国河北省唐山市, 华北理工大学;
²(050051) 中国河北省石家庄市, 河北省人民医院眼科

作者简介:张雨晨,女,在读硕士研究生,研究方向:玻璃体视网膜疾病。

通讯作者:贾志旻,男,硕士,主任医师,博士研究生导师,研究方向:玻璃体视网膜疾病. Jiazhiyang20759@sina.com

收稿日期:2024-10-30 修回日期:2025-04-25

摘要

孔源性视网膜脱离(RRD)是一种威胁视力、具有潜在致盲风险的眼部急症。玻璃体切除术(PPV)是治疗RRD的首选方式,尤其适用于后极部的视网膜裂孔、B级以上增生性玻璃体视网膜病变以及并发脉络膜脱离等复杂性视网膜脱离。尽管大多数患者术后能够实现良好的解剖复位,但部分患者术后仍可能出现视物变形、色觉异常、矫正视力不提高等症状。黄斑前膜(ERM)作为RRD术后最常见的并发症之一,发生率为4%-13%,不仅影响患者术后视力恢复,还常伴随视物变形的症状,严重时甚至需要二次手术剥除。近年来,内界膜剥除术(ILMP)作为一种辅助术式被引入RRD治疗,旨在促进视网膜复位、减少术后并发症及提高患者术后视觉质量和生活质量。然而,既往关于术中联合ILMP剥除对视网膜解剖结构和视功能恢复的研究较为有限。文章就ILMP在RRD中的作用机制、临床应用、存在的问题及研究进展等方面进行综述,为制定手术方式、评估病情变化和判断预后提供参考依据。

关键词:孔源性视网膜脱离;玻璃体切除术;内界膜剥除术
DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2025.6.11

Research progress of internal limiting membrane peeling in the treatment of rhegmatogenous retinal detachment

Zhang Yuchen^{1,2}, Li Kejun², Jia Zhiyang²

¹North China University of Science and Technology, Tangshan 063210, Hebei Province, China; ²Department of Ophthalmology, Hebei General Hospital, Shijiazhuang 050051, Hebei Province, China

Correspondence to: Jia Zhiyang. Department of Ophthalmology, Hebei General Hospital, Shijiazhuang 050051, Hebei Province, China. Jiazhiyang20759@sina.com

Received:2024-10-30 Accepted:2025-04-25

Abstract

• Rhegmatogenous retinal detachment (RRD) is a vision-threatening ocular emergency with the potential risk of blindness. Pars plana vitrectomy (PPV) is the treatment of choice for RRD, especially for complex retinal detachments such as posterior pole retinal tears, grade B or higher proliferative vitreoretinopathy, and concomitant choroidal detachment. Although most patients achieve good anatomical restoration after surgery, some patients may still experience postoperative symptoms such as distorted vision, abnormal color perception, and lack of improvement in corrected visual acuity. Epiretinal membranes (ERM), as one of the most common complications after RRD, occur in 4% to 13% of cases, which not only affect the recovery of patients' postoperative vision, but also are frequently associated with visual distortion. In severe cases, a second surgical intervention may be required. In recent years, internal limiting membrane peeling (ILMP) has been introduced as an adjunctive procedure in the treatment of RRD, to facilitate retinal reorientation, reduce postoperative complications, and improve patients' postoperative visual quality and quality of life. However, previous studies on the effects of combined intraoperative ILMP on retinal anatomy and visual function recovery are limited. Therefore, this article reviews the mechanism, clinical application, challenges and research progress of ILMP in RRD, providing a reference for surgical decision making, disease assessment, and prognosis evaluation.

• **KEYWORDS:** rhegmatogenous retinal detachment; pars plana vitrectomy; internal limiting membrane peeling

Citation: Zhang YC, Li KJ, Jia ZY. Research progress of internal limiting membrane peeling in the treatment of rhegmatogenous retinal detachment. Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci), 2025, 25(6): 933-937.

0 引言

孔源性视网膜脱离(rhegmatogenous retinal detachment, RRD)作为一种威胁视力且具有潜在致盲风险的眼科急症,其发病机制与年龄相关性玻璃体液化变性密切相关。液化变性的玻璃体发生后脱离时对视网膜施加切线方向的牵引力,导致视网膜裂孔形成。随后液化变性的玻璃体经过视网膜裂孔聚积在视网膜神经上皮层和视网膜色素上皮层之间的潜在间隙,致使二者分离^[1]。值得注意的是,一旦视网膜脱离范围累及黄斑区,光感受器细胞受损,中心视力便会受到显著影响,此类患者视功能预后多不理想。早在1923年Gonin就指出治疗RRD的关键在于封闭裂孔。1971年有学者提出了玻璃体切除术(pars plana vitrectomy, PPV)用于治疗RRD,随着技术和仪器的持续更新进步,该手术现已成为治疗RRD的首选方

式^[2]。尽管大多数患者术后能够实现良好的解剖复位,但部分患者仍会出现视物变形、色觉异常、矫正视力无改善等症状,进而影响视功能的恢复,降低生活质量^[3]。因此,如何减少 PPV 术后并发症并促进视功能恢复已成为近年来的研究热点,备受研究者们广泛关注。有研究显示,累及黄斑区的 RRD 术后并发黄斑前膜(epiretinal membrane,ERM)发生率为4%–13%,患者多伴有视力下降、视物变形等症状,严重影响患者生活质量,个别患者甚至需要二次手术治疗^[4]。由于内界膜(internal limiting membrane,ILM)常作为迁移至视网膜表面的细胞增殖的支架^[5],去除这一结构能够减少对视网膜的牵拉,促进视网膜结构和功能恢复,因此内界膜剥除术(internal limiting membrane peeling,ILMP)逐渐成为治疗 ERM、玻璃体牵拉综合征、黄斑裂孔等玻璃体黄斑视网膜病变中的一个重要步骤^[6]。虽然预防性剥除 ILM 可以有效减少 PPV 术后 ERM 的形成,但也有研究表明,剥除 ILM 可能出现视网膜凹陷、神经纤维层分离(dissociated optic nerve fiber layer, DONFL)以及局灶性视网膜变薄等微小的结构性的损伤。所以,PPV 术中是否应预防性剥除 ILM 仍有待深入研究,尤其是对于脱离范围累及黄斑区的复杂性 RRD,目前尚存争议。本文将对 ILMP 在孔源性视网膜脱离治疗中的研究进展进行综述。

1 ILM 的结构和功能

ILM 作为位于视网膜与玻璃体交界处的基底膜,最早是由 Gustav Retzius 于 1871 年使用光学显微镜所观察发现。当时,他认为该结构是由 Müller 胶质细胞的足突所构成。但随后 Mallory 三色染色法又证明 ILM 和 Müller 胶质细胞是相互独立的解剖结构^[7]。随着影像学技术的持续更新与发展,又有多位学者研究发现,Müller 胶质细胞并非完全构成 ILM,而是参与了其部分形成过程。进一步研究发现 ILM 可细分为 3 层结构:最外层被称为外疏松层,也可称为透明层,与 Müller 胶质细胞足突紧密相连;中间层为致密层,该层是决定 ILM 厚度的关键因素,不同位置的 ILM 的厚度存在差异,并随着解剖位置的深入逐渐增厚,后极部达到最厚,而在黄斑中心凹和视盘处最薄。ILM 的化学成分主要包括 I、IV、VI 型胶原纤维、层黏连蛋白及纤维连接蛋白等,随着年龄增长,ILM 中胶原蛋白含量增多,层黏连蛋白浓度降低,其厚度和硬度则会相应增加^[8];最内层结构为内疏松层。尽管 ILM 具备一定的屏障功能,但当玻璃体后脱离(posterior vitreous detachment, PVD)产生牵拉或者其他原因导致 ILM 损伤时,视网膜内层的细胞和胶原纤维便会通过断裂处迁移至 ILM 表面并增生形成增殖膜。此时 ILM 便成为细胞增殖的支架,促进玻璃体视网膜病变的形成。

2 ILMP 的机制

1990 年,Morris 等^[9]首次提出 ILMP。他们剥除了首例 Terson 综合征伴黄斑内界膜下出血的患者的内界膜,并进行长达 32 mo 的随访,期间未发现 ILM 再度增殖。基于此结果,他们推测该术式也可应用到其他玻璃体牵拉黄斑病变。ILMP 的作用机制在于,在剥除 ILM 的过程中,同时也去除了残留在 ILM 表面的玻璃体皮质、迁移至 ILM 表面的细胞,从而降低了黄斑前膜发生的几率,减少了玻璃

体切线方向的牵引力。基于上述机制,目前该术式广泛应用到多种玻璃体黄斑视网膜病变,如黄斑前膜、黄斑裂孔、增生性玻璃体视网膜病变等^[10]。

3 ILMP 与视网膜的关系

3.1 ILMP 后视网膜形态的改变 ILM 位于视网膜的最内层,由部分 Müller 胶质细胞的基底膜构成。所以行 ILMP 时,与其紧密相连的细胞足突也会一并被剥除,Wolf 等^[11]研究也证实了这一观点。由此可见,ILMP 后视网膜可能会出现相应结构性改变。根据改变出现的时间先后,可划分为早期视网膜改变和晚期视网膜改变。其中,急性神经纤维层肿胀(swelling of the acute nerve fiber layer, SANFL)属于术后早期改变,通过光学相干断层扫描技术(optical coherence tomography,OCT)可以观察到视网膜呈不规则弓形增厚。关于 SANFL 的形成存在两种假说:(1)在剥除 ILM 过程中,ILM 镊牵拉视网膜所造成的损伤;(2)ILMP 直接损伤了 Müller 细胞的足突。Clark 等^[12]对 102 眼进行随访,结果显示术后 8–10 d,有 28 眼(31%)出现 SANFL,不过该改变多在术后 2 mo 左右自行消失,且未对视力恢复产生影响。随着术后随访时间的延长,在黄斑区视网膜可观察到与神经纤维层走行一致的“虫蚀样”改变。这种改变可能是剥除 ILM 时,牵拉 ILM 所致。研究者将此类现象命名为“游离的视神经纤维层”(dissociated optic nerve fiber layer, DONFL)^[13]。尽管目前 DONFL 出现的病理生理机制尚未完全明确,但多数研究者认为,这是在剥除 ILM 时,对 Müller 细胞产生的机械性牵拉的结果。多项研究表明,DONFL 也许不会对术后视力造成显著影响,但对于是否会引发旁中心凹暗点及影响视网膜敏感性仍有待进一步研究^[14]。此外也有研究指出,DONFL 可能只是神经纤维层结构的疏松,并非缺损^[13]。早期人们认为 DONFL 的损伤仅局限于神经纤维层的厚度。随着影像学技术的不断进步与发展,多位学者认为 DONFL 的损伤不仅限于神经纤维层,还可能牵拉神经节细胞层和内丛状层,进而对视功能恢复产生影响。多位研究者对患者进行了长时间的术后随访观察,均得出类似的结论^[15–17]。以及多数患者在剥除 ILM 后,颞侧、上方和下方的视网膜厚度明显低于鼻侧,其原因可能是因为视网膜神经纤维和神经节细胞于视盘处紧密连接,且鼻侧的抵抗力更强。Qin 等^[18]还发现除了颞侧视网膜变薄这一情况外,在剥除 ILM 后,由于牵拉力的作用,黄斑中心凹会向视盘方向发生移位,与此同时中心凹与视盘之间的距离也会发生相应改变,即黄斑移位现象。

3.2 ILMP 后视网膜及脉络膜血流改变 视网膜的血液供应可以分为两部分,视网膜内 5 层结构的血供源于视网膜中央动脉,而外 5 层则由脉络膜毛细血管供应。视网膜中央动脉可进一步分支为 4 条主干。其中,浅层毛细血管丛(superficial capillary plexus,SCP)位居 ILM 下方,其结构疏松,分布于神经节细胞层和神经纤维层之间;深层毛细血管丛(deep capillary plexus,DCP)起始于内核层,终止于外丛状层,结构相对致密。鉴于剥除 ILM 过程中会产生切线方向的牵引力,这极有可能对浅层、深层视网膜血管乃至脉络膜血管造成影响。多项研究表明,RRD 患者 SCP、DCP 血管密度和黄斑中心凹无血管区(foveal avascular

zone,FAZ)面积与术后 BCVA 密切相关^[19-20]。Yoon 等^[21]借助光学相干断层扫描血管成像技术(optical coherence tomography angiography,OCTA)观察到 ERM 术后 SCP 血管密度稍有降低。由此推断,这或许是手术过程中 ILM 镊牵拉导致的直接损伤,且此类损伤多累及内层结构。Abdullah 等^[22]研究得出相同结论,结果显示未剥除组 SCP 血管密度高于剥除组,且 SCP 血管密度与 BCVA 呈正相关,但两组 DCP 血管密度无显著差异。

3.3 ILMP 后视网膜功能的改变 在进行 ILM 剥除时,因对视网膜存在切线方向的牵引力,故而可能会引发视功能的损伤。微视野计用于评估视网膜的解剖结构和功能,分析视网膜不同部位的光敏感性,同时也适用于手术前后视功能的对比分析及定期随访^[23]。有研究对 43 例患者展开随访,观察术后平均视网膜敏感度(mean retinal sensitivity,MRS)和中心凹处视网膜敏感度(foveal retinal sensitivity,FRS),结果显示未剥除组 MRS/FRS 显著高于剥除组^[24]。视网膜电图(electroretinogram,ERG)能够显示视网膜总的电生理活动,多焦 ERG(multifocal electroretinogram,mfERG)则可以显示黄斑区局部视网膜的电生理活动。一项前瞻性研究表明,ERM 患者 P1 潜伏期延长和波峰显著降低,并与患者视力预后相关^[25]。由于 P1 峰所代表的是视网膜内层结构,分析其原因,可能是 ERM 的牵拉作用和黄斑区水肿导致视网膜内层结构的损伤,进而出现 P1 潜伏期延长和波峰降低。Abdullah 等^[22]研究结论与上述一致,认为剥除 ILM 可能会对视网膜功能造成潜在性损害,该研究结果显示剥除 ILM 组 P1 波峰显著低于未剥除 ILM 组,且 P1 振幅与 BCVA 呈正相关。综上所述,剥除 ILM 可能会对术后视功能的恢复产生影响。因此,建议仅在复杂性 RRD 或脱离范围累及黄斑区的 RRD 病例中应用该术式。

4 ILMP 在 RRD 治疗中的应用

ERM 作为 RRD 患者术后的常见并发症,发生率为 4%-13%。其发生机制较为复杂:当液化变性的玻璃体发生后脱离对视网膜产生牵拉并形成裂孔后,色素上皮细胞、胶质细胞及巨噬细胞等经视网膜裂孔扩散至 ILM 表面。这些细胞在黄斑中心凹处形成增殖膜,进而对视网膜产生牵拉作用,致使视网膜表面皱缩,导致视网膜隆起增厚,严重时甚至会导致视网膜再次脱离^[26]。患者常出现视物变形、视力下降等症状,这不仅阻碍了患者视力恢复,还降低患者降低生活质量。针对这一现象,有多位研究者提议将 ILMP 应用到 RRD 患者的治疗中。Kumar 等^[27]将 60 例患者分为两组,一组实施 ILMP,另一组则未进行该操作。术后 6 mo 两组患者 BCVA 无显著差异,但 ILMP 组无 1 例并发 ERM,而未剥除组术后并发 ERM 的概率为 20%($n=6$)。Chen 等^[28]通过回顾性分析 14 项研究,也得出相似的结论。Kim 等^[29]延长随访时间,结果发现剥除组仍未出现 ERM,而未剥除组有 4 眼出现 ERM,其中有 1 眼甚至需要二次手术干预(2.1%)。尽管目前已有多项研究证实,术中联合剥除 ILM 能够有效预防术后 ERM 的发生,但对于何种类型的 RRD 需要联合 ILM 剥除,以及剥除 ILM 是否会对视力和视功能恢复产生影响,尚未得出确切的结论。Pan 等^[30]经回顾性分析发现,术后发生 ERM 的

危险因素包括:术前存在增生性玻璃体视网膜病变(proliferative vitreoretinopathy,PVR)、2 型糖尿病病史、硅油在眼内填充时长、术中使用高能量光凝等。对于复杂性 RRD 患者,行 PPV 或 SB 后,ERM 的患病率可高达 36.2%^[31]。多项研究印证了上述结论。Kohli 等^[32]将术前 PVR $\geq$ C1 级的患者分为两组,并观察随访 6 mo,结果表明未剥除组术后并发 ERM 的概率更高,并且术前 PVR 等级越高,术后越容易并发 ERM。这是因为视网膜脱离发生后,色素上皮细胞、神经胶质细胞与在 PVR 发病机制中起到关键作用的生长趋化因子相互作用,激活炎症反应,从而加速细胞增殖与迁移。此外,并发 ERM 患者术后的 BCVA 低于术后未并发 ERM 患者,视网膜再次脱离的概率也更高。Aras 等^[33]将脱离范围累及黄斑区的复杂性 RRD 患者分为两组,结果显示预防性剥除 ILM 组术后未并发 ERM,而未剥除组有 6 眼在术后 8 wk 内并发 ERM。日本学者回顾性分析发现,对于脱离范围未累及黄斑区的患者,术后 6 mo 两组 BCVA 无明显差异,对于脱离范围累及黄斑区的患者,ILM 剥除组的 BCVA 显著优于未剥除组^[20]。视网膜激光光凝常应用于 RRD 的治疗,其原理是促进视网膜神经上皮和色素上皮紧密黏连,进而封闭裂孔。然而,高能量光凝会增强巨噬细胞介导炎症反应、RPE 细胞增殖和 Müller 细胞反应,进而引发增殖性病变^[30]。此外,视网膜激光光凝不仅会使参与 RPE 细胞增殖的各种促炎细胞因子和免疫标志物的表达增加,还会破坏血-视网膜屏障。活跃的 RPE 细胞和巨噬细胞也可通过视网膜裂隙进入玻璃体腔,在黄斑区沉积并增殖形成 ERM^[34-35]。Qian 等^[31]研究得出类似结论,即术中高能量视网膜光凝是术后 ERM 形成的危险因素。另外,RRD 持续的时间不但影响术后视力的恢复,并且视网膜脱离时间越长越容易并发 PVR。Foveau 等^[36]研究指出,剥除 ILM 不仅降低 ERM 的发生率、帮助视网膜解剖结构复位,还可以预防视网膜脱离再次发生,并且能够延缓 PVR 的进展。这对于术后视功能和视觉相关生活质量的恢复具有积极意义。有研究表明 ERM 患者在行 ILM 剥除术后,术后 6 mo 水平和垂直视物变形程度、NEI VFQ-25 综合评分逐渐改善;术后 2 a,水平和垂直视物变形程度和 NEI VFQ-25 综合评分显著改善^[37]。这是由于剥除 ILM,有效减轻了对视网膜的牵拉,去除了再度增殖的结构支撑,从而减轻了术后视网膜水肿的程度,降低了视网膜脱离复发的概率,预防视网膜下积液出现,使患者视功能恢复得到了显著提升^[38]。而且多项研究证实,视力恢复与椭圆体带完整性密切相关,因此椭圆体带完整性也可作为评估预后的重要指标^[39-40]。总之,对于术前存在 PVR、视网膜脱离范围累及黄斑区、脱离范围包含多个象限、视网膜脱离时间长、视网膜大裂孔等复杂性 RRD 的患者,术中应预防性剥除 ILM,有助于有效减少术后并发症,促进视网膜解剖结构及视功能的恢复。

5 ILM 剥除在 RRD 治疗所存在的问题

既往研究显示,ILMP 极有可能通过机械性牵拉作用,对视网膜结构和功能产生影响。当视网膜裂孔形成时,Müller 细胞向视网膜内表面迁移,其足突在剥除 ILM 过程中容易受到损伤,进而形成 DONFL、视网膜凹陷及局部视

网膜变薄等视网膜微结构的改变^[41]。在不同的研究中, DONFL 发生率存在显著差异。Kumar 等^[27] 研究报道指出,剥除 ILM 组 DONFL 发生率为 40%,而 Eissa 等^[24] 研究中发生率高达 100%。这种差异可能与手术中应用全氟化碳液体等因素相关。尽管 DONFL 的形成未对患者的 BCVA、视野或视网膜敏感性产生显著不良影响^[28],但对视功能评估仍存在潜在影响。Abdullah 等^[22] 发现剥除组术后 mERG 的 P1 波振幅显著低于未剥除组,且降低幅度与 BCVA 呈正相关。Eissa 等^[24] 借助显微视野计检测到 ILM 剥除组平均和中心凹视网膜敏感性显著降低。同样,该测量结果与 BCVA 呈正相关。由于 P1 波振幅代表视网膜内层结构即双极细胞和 Müller 细胞,这提示 ILM 剥除可能造成视网膜内层细胞机械性损伤。因此,对于复杂性 RRD 患者而言进行预防性 ILM 剥除或许更为适宜。由于 ILM 薄且透明,手术过程中需要染色剂辅助其实现可视化。然而在染色剂的应用方面,需要在满足可视化需求与控制视网膜毒性之间寻求平衡。常用染色剂如吲哚菁绿(ICG)、曲安奈德(TA)、亮蓝 G(BBG)和台盼蓝(TB),均存在损伤视网膜潜在性风险,其中包括对视网膜神经节细胞损伤以及对 PRE 光毒性的损害^[42]。既往研究表明,较高浓度的染色剂可能会对术后 BCVA 的恢复产生影响。为了印证这一观点,研究者将 Müller 细胞暴露于上述不同浓度的染色剂中,结果证实染色剂浓度和暴露时间对 Müller 细胞的损伤呈剂量依赖性^[43]。Li 等^[44] 通过回顾性分析多项研究得出相似结论,并建议应用低浓度的 0.05% ICG、0.15% TB 和 0.05% BBG 以降低毒性。除了对视功能方面的影响外,染色剂还可能引发视野缺损、染色剂残留和视神经萎缩等并发症^[45]。所以,在染色剂的应用上,应选择最低有效浓度,并尽可能缩短术中染色时间。从经验技术层面来看,ILM 剥除对术者操作要求颇高。尽管手术技术日益成熟,但目前有关 RRD 联合 ILM 剥除的研究大多数为回顾性,并且存在显著差异。这些差异体现在术前基本情况(基线特征、视网膜脱离范围、是否合并PVR)、术中变量(染色剂的选择、视网膜激光光凝能量、手术方式及手术时长),以及随访时间不同等方面,这些因素都对研究结论产生影响。因此,仍需开展标准化前瞻性研究,以明确 PPV 术中联合 ILM 剥除的适应证和长期的影响。

6 总结与展望

目前,关于 RRD 治疗行 PPV 是否联合 ILM 剥除这一问题,仍存在争议。大多数研究多为回顾性研究,且关注点多集中在术后解剖结构的复位和 BCVA 上,忽视了其他视功能以及对视觉生活质量的影响。例如,许多 RRD 患者脱离的视网膜已经复位,但仍存在视物变形的症状,这极大的影响患者的生活质量。因此,将 PPV 联合 ILM 剥除术应用到治疗 RRD 的研究仍有待进一步完善,尤其是对于脱离范围累及黄斑区的复杂性 RRD,目前尚无明确有效的治疗方法。PPV 联合 ILM 剥除应用于这种复杂性 RRD 的治疗中,在术后解剖结构复位、视功能的恢复、对视觉生活质量的影响以及降低各种并发症的几率等方面是否具有更大的优势,还有待相关临床研究和探索。

利益冲突声明: 本文不存在利益冲突。

作者贡献声明: 张雨晨论文选题与修改,初稿撰写,文献检索;李科军、贾志畅选题指导,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] Govers BM, van Huet RAC, Roosing S, et al. The genetics and disease mechanisms of rhegmatogenous retinal detachment. *Prog Retin Eye Res*, 2023,97:101158.

[2] Kunikata H, Abe T, Nakazawa T. Historical, current and future approaches to surgery for rhegmatogenous retinal detachment. *Tohoku J Exp Med*, 2019,248(3):159-168.

[3] Gebler M, Pfeiffer S, Callizo J, et al. Incidence and risk factors for macular oedema after primary rhegmatogenous retinal detachment surgery: a prospective single-centre study. *Acta Ophthalmol*, 2022,100(3):295-301.

[4] Motta L, Frisina R, Ripa M, et al. Postoperative complications after successful primary rhegmatogenous retinal detachment repair. *BMC Ophthalmol*, 2023,23(1):77.

[5] Lee IJ, Benjamin JE, Ghorayeb GR. Incidence of epiretinal membrane formation after pars plana vitrectomy for giant retinal tear-associated retinal detachment. *Clin Ophthalmol*, 2023,17:1415-1420.

[6] Peter Wiedemann,惠延年. 内界膜剥除在过去三十年间是如何革新黄斑手术的. *国际眼科杂志*, 2023,23(7):1057-1060.

[7] Zhang KY, Johnson TV. The internal limiting membrane: Roles in retinal development and implications for emerging ocular therapies. *Exp Eye Res*, 2021,206:108545.

[8] Candiello J, Balasubramani M, Schreiber EM, et al. Biomechanical properties of native basement membranes. *FEBS J*, 2007, 274(11):2897-2908.

[9] Morris R, Kuhn F, Witherspoon CD. Internal limiting membrane removal with vitrectomy. Results of a new surgical technique. *Ophthalmology*, 1990,97(7):972-977.

[10] Fu Y, Xie TH, Gu ZH, et al. Recurrent retinal detachment after pars Plana vitrectomy with silicone oil tamponade for rhegmatogenous retinal detachment. *Int Ophthalmol*, 2022,42(12):3813-3820.

[11] Wolf S, Schnurbusch U, Wiedemann P, et al. Peeling of the basal membrane in the human retina: ultrastructural effects. *Ophthalmology*, 2004,111(2):238-243.

[12] Clark A, Balducci N, Pichi F, et al. Swelling of the arcuate nerve fiber layer after internal limiting membrane peeling. *Retina*, 2012, 32(8):1608-1613.

[13] Caporossi T, Carlò MM, Gambini G, et al. Spotlight on the internal limiting membrane technique for macular holes: current perspectives. *Clin Ophthalmol*, 2022,16:1069-1084.

[14] Ye X, Xu JH, He SC, et al. Quantitative evaluation of dissociated optic nerve fibre layer (DONFL) following idiopathic macular hole surgery. *Eye (Lond)*, 2023,37(7):1451-1457.

[15] Kim YH, Song MS, Togloom A, et al. Bidirectional dimples after internal limiting membrane peeling for a macular hole. *Transl Vis Sci Technol*, 2023,12(5):23.

[16] Alkabes M, Salinas C, Vitale L, et al. En face optical coherence tomography of inner retinal defects after internal limiting membrane peeling for idiopathic macular hole. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2011,52(11):8349-8355.

[17] Kishimoto H, Kusuvara S, Matsumiya W, et al. Retinal surface imaging provided by Cirrus high-definition optical coherence tomography prominently visualizes a dissociated optic nerve fiber layer appearance after macular hole surgery. *Int Ophthalmol*, 2011,31(5):385-392.

[18] Qin HC, Li FQ, Jin SY, et al. Retinal displacement after surgery

for idiopathic macular hole. *Int J Ophthalmol*, 2024,17(8):1545–1556.

[19] Hartmann M, Abidin AD, Fraenkel D, et al. Macular vascularisation changes analysed using OCT angiography after successful rhegmatogenous retinal detachment repair. *Int J Ophthalmol*, 2023,16(1):81–87.

[20] Obata S, Kakinoki M, Sawada O, et al. Effect of internal limiting membrane peeling on postoperative visual acuity in macula – off rhegmatogenous retinal detachment. *PLoS One*, 2021,16(8):e0255827.

[21] Yoon K, Park JB, Kang MS, et al. Peripapillary microvasculature changes after vitrectomy in epiretinal membrane via swept-source OCT angiography. *BMC Ophthalmol*. 2023,23(1):50.

[22] Abdullah ME, Moharram HEM, Abdelhalim AS, et al. Evaluation of primary internal limiting membrane peeling in cases with rhegmatogenous retinal detachment. *Int J Retina Vitreous*, 2020,6(1):8.

[23] 陈薪如, 叶波. 微视野计的临床应用. *国际眼科纵览*, 2019(3):210–216.

[24] Eissa MGAM, Abdelhakim MASE, Macky TA, et al. Functional and structural outcomes of ILM peeling in uncomplicated macula – off RRD using microperimetry & en – face OCT. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2018,256(2):249–257.

[25] Gao M, Wang Y, Liu W, et al. Assessment of macular function in patients with idiopathic Epiretinal membrane by multifocal Electroretinography; correlation with visual acuity and optical coherence tomography. *BMC Ophthalmol*, 2017,17(1):221.

[26] Matoba R, Morizane Y. Epiretinal membrane: an overview and update. *Jpn J Ophthalmol*, 2024,68(6):603–613.

[27] Kumar V, Dubey D, Kumawat D, et al. Role of internal limiting membrane peeling in the prevention of epiretinal membrane formation following vitrectomy for retinal detachment; a randomised trial. *Br J Ophthalmol*, 2020,104(9):1271–1276.

[28] Chen GH, Tzekov R, Fang Y, et al. Internal limiting membrane peeling in rhegmatogenous retinal detachment; a meta – analysis. *PLoS One*, 2024,19(3):e0297230.

[29] Kim E, Choi Y, Byon I, et al. Selective internal limiting membrane peeling for prevention of secondary epiretinal membrane after vitrectomy for rhegmatogenous retinal detachment. *Jpn J Ophthalmol*, 2024,68(3):216–224.

[30] Pan QT, Gao ZQ, Hu XT, et al. Risk factors for epiretinal membrane in eyes with primary rhegmatogenous retinal detachment that received silicone oil tamponade. *Br J Ophthalmol*, 2023,107(6):856–861.

[31] Qian YJ, Xiang W, Sun YM, et al. Predictive factors of epiretinal membrane in complicated rhegmatogenous retinal detachment tamponaded with silicone oil. *Int J Ophthalmol*, 2023,16(7):1110–1116.

[32] Kohli GM, Shenoy P, Shetty S, et al. Macular internal limiting membrane peel for eyes undergoing vitrectomy for retinal detachment;

Rationalizing selection based on the severity of proliferative vitreoretinopathy. *Indian J Ophthalmol*, 2021,69(5):1356–1357.

[33] Aras C, Arici C, Akar S, et al. Peeling of internal limiting membrane during vitrectomy for complicated retinal detachment prevents epimacular membrane formation. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2009,247(5):619–623.

[34] Tababat – Khani P, Berglund LM, Agardh CD, et al. Photocoagulation of human retinal pigment epithelial cells in vitro: evaluation of necrosis, apoptosis, cell migration, cell proliferation and expression of tissue repairing and cytoprotective genes. *PLoS One*, 2013,8(8):e70465.

[35] Cakir B, Peacker BL, Zeng R, et al. Extensive endolaser during vitrectomy for primary rhegmatogenous retinal detachment is associated with epiretinal membrane formation. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging Retina*, 2024,55(6):326–333.

[36] Foveau P, Leroy B, Berrod JP, et al. Internal limiting membrane peeling in macula – off retinal detachment complicated by grade B proliferative vitreoretinopathy. *Am J Ophthalmol*, 2018,191:1–6.

[37] Khanna RK, Dorvault M, Pasco J, et al. Long – term functional outcomes and vision – related quality of life after vitrectomy for epiretinal membrane; a prospective cohort study. *Sci Rep*, 2022,12:2470.

[38] Mete M, Maggio E, Ramanzini F, et al. Microstructural macular changes after pars Plana vitrectomy for primary rhegmatogenous retinal detachment. *Ophthalmologica*, 2021,244(6):551–559.

[39] Soares RR, Mahmoudzadeh R, Salabati M, et al. Epiretinal membrane surgery after retinal detachment repair; visual acuity outcomes and oct analysis. *Ophthalmol Retina*, 2022,6(1):49–57.

[40] Hänsl C, Lavan S, Pfister IB, et al. Outer retinal features in OCT predict visual recovery after primary macula – involving retinal detachment repair. *PLoS One*, 2022,17(5):e0268028.

[41] Hisatomi T, Tachibana T, Notomi S, et al. Internal limiting membrane peeling – dependent retinal structural changes after vitrectomy in rhegmatogenous retinal detachment. *Retina*, 2018,38(3):471–479.

[42] Wu Y, Zhu W, Xu D, et al. Indocyanine green – assisted internal limiting membrane peeling in macular hole surgery; a meta – analysis. *PLoS One*, 2012,7(11):e48405.

[43] Shen Y, Zhang L, Zhou H, et al. Comparative effects of commonly used intraocular dyes on the viability of human retina Müller cells. *Biomed Pharmacother*, 2020,132:110790.

[44] Li SS, Li M, You R, et al. Efficacy of different doses of dye – assisted internal limiting membrane peeling in idiopathic macular hole; a systematic review and network meta – analysis. *Int Ophthalmol*, 2021,41(3):1129–1140.

[45] Stanescu – Segall D, Jackson TL. Vital staining with indocyanine green; a review of the clinical and experimental studies relating to safety. *Eye (Lond)*, 2009,23(3):504–518.