

黄斑裂孔手术治疗进展综述

林远焯¹, 杨子奇², 刘欣^{3*}

¹华中科技大学同济医学院, 湖北 武汉

²湖北科技学院口腔与眼视光医学院, 湖北 咸宁

³华中科技大学同济医学院附属协和医院眼科, 湖北 武汉

收稿日期: 2026年5月25日; 录用日期: 2026年6月17日; 发布日期: 2026年6月29日

摘要

黄斑裂孔为常见的导致中心视力严重下降的视网膜疾病, 手术治疗为常规有效的治疗方式。随着微创玻璃体手术技术的持续进步, 内界膜剥离、气体填充、染料辅助及新型材料应用等关键技术的持续优化, 显著提高了黄斑裂孔的解剖闭合率及患者的视力恢复程度。本文旨在系统梳理黄斑裂孔手术的发展及最新进展, 重点探讨手术技术的革新、术后视网膜结构与功能的动态变化、术后并发症处理及未来研究方向。

关键词

黄斑裂孔, 内界膜剥离, 染料, 手术进展, 并发症

A Review of Advances in the Surgical Treatment of Macular Holes

Yuanye Lin¹, Ziqi Yang², Xin Liu^{3*}

¹Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan Hubei

²School of Stomatology and Optometry, Hubei University of Science and Technology, Xianning Hubei

³Department of Ophthalmology, Union Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan Hubei

Received: May 25, 2026; accepted: June 17, 2026; published: June 29, 2026

Abstract

Macular hole is a common retinal disease that causes severe loss of central vision, and surgery is a routine and effective treatment. With continuous advances in minimally invasive vitreous surgery

*通讯作者。

文章引用: 林远焯, 杨子奇, 刘欣. 黄斑裂孔手术治疗进展综述[J]. 眼科学, 2026, 15(2): 48-56.

DOI: 10.12677/hjo.2026.152006

techniques, ongoing optimization of key technologies such as internal limiting membrane peeling, gas tamponade, dye assistance, and the application of new materials has significantly improved the anatomical closure rate of macular holes and the extent of visual recovery in patients. This paper aims to systematically review the development and latest advances in macular hole surgery, focusing on innovations in surgical techniques, dynamic changes in postoperative retinal structure and function, management of postoperative complications, and future research directions.

Keywords

Macular Hole, Internal Limiting Membrane Peeling, Vital Dye, Surgical Advances, Complications

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

黄斑裂孔为黄斑区视网膜的异常组织缺损，常导致中心视力严重受损[1]。其发病机制可能与玻璃体后脱离异常、视网膜前膜收缩、黄斑区囊样水肿或高度近视等因素引起的黄斑区异常牵拉有关[2]。这种异常牵拉力可导致部分或全层黄斑结构缺损，其中 Müller 细胞和星形胶质细胞在介导牵拉性改变、保护黄斑免受损伤以及裂孔闭合后的结构再生中扮演着关键角色[2]。自 20 世纪 90 年代玻璃体切除联合内界膜剥离术成为黄斑裂孔标准手术以来，黄斑裂孔的治疗取得了显著进步[3]。

黄斑裂孔手术技术的核心在于内界膜的处理，传统的完全内界膜剥离虽能有效解除牵拉，提高裂孔闭合率，但可能对视网膜微结构造成损伤，影响术后功能恢复[4]。因此，保留黄斑区内界膜的“黄斑区保留内界膜剥离”技术应运而生。一项系统性回顾和 Meta 分析显示，黄斑区保留技术与完全剥离相比，在治疗包括黄斑裂孔的玻璃体黄斑界面疾病时，可显著改善术后最佳矫正视力，并在非全层裂孔病例中降低继发性全层黄斑裂孔发生的风险[4]。高度近视属术后全层裂孔形成的高危因素，对于此类患者，黄斑区保留技术也被证实能获取更好的视觉质量并降低全层裂孔发生率[5]。此外，内界膜翻转瓣技术，特别是倒置内界膜瓣技术，已成为处理大裂孔、高度近视性黄斑裂孔性视网膜脱离等复杂病例的有效手段，相比于标准内界膜剥离，裂孔闭合率和术后视力均显示优于标准内界膜剥离[6] [7]。

手术中辅助染料的应用，如亮蓝 G，提高了内界膜剥离的可视化、安全性和效率[8]。同时，新型辅助材料和手术策略不断涌现，例如在难治性大裂孔中应用自体血小板浓缩物、人羊膜移植或自体视网膜移植等，以提供结构支撑并促进愈合[9]-[11]。

对于术后视网膜的位移，研究证实玻璃体切除联合内界膜剥离会导致黄斑区视网膜发生朝向视盘的切线方向位移，且剥离范围越大，位移程度越显著，这可能与裂孔闭合率提高有关[12]。术后黄斑区微血管结构也会发生变化，光学相干断层扫描血管成像显示，浅层和深层血管密度在术后短期内减少，随后部分恢复，而术前深层血管密度的状态可能是术后视力的预测指标之一[13]。

尽管手术成功率很高，但术后并发症及其管理仍需关注。除了常见的白内障进展、眼压升高外，还包括术后偏心性黄斑裂孔形成、黄斑光毒性、持续性黄斑下液以及罕见的医源性黄斑裂孔等[14]-[16]。此外，术后体位的选择也一直是讨论的焦点[17]。总之，黄斑裂孔手术已从一项探索性治疗发展为高度成熟和成功的术式，其进步主要体现在对发病机制的深入研究、手术技术的精细化改良、辅助材料的创新应用以及对术后形态与功能恢复过程的持续研究揭示，未来仍需进一步研究以优化手术效果和减少相关并发症。

2. 黄斑裂孔手术的历史与技术演变

2.1. 玻璃体切除术的确立与发展

玻璃体切除术作为黄斑裂孔的标准外科治疗手段，其确立与发展历程深刻反映了眼科手术技术的进步。在 1990 年代初，经睫状体平坦部玻璃体切除术联合眼内气体填充被确立为治疗黄斑裂孔的核心方法[18]。这一术式旨在解除玻璃体黄斑牵拉，并通过气体顶压促进裂孔闭合。早期手术的成功率有限，闭合率并不理想。随着手术器械的微型化、操作技术的精细化以及围手术期管理的优化，黄斑裂孔的解剖闭合率得到了显著提高。

2.2. 内界膜剥离技术的引入与意义

内界膜剥离技术的引入是黄斑裂孔手术发展史上的一个里程碑。认识到内界膜在黄斑裂孔的病因和进展中的重要作用后，内界膜剥离便成为手术中重要的步骤[19]。研究表明，内界膜剥离通过移除可能对裂孔边缘施加持续牵引力的基底膜，为裂孔边缘的重新对合与愈合创造了有利的机械环境[20]。自 1998 年后，内界膜剥离逐渐成为黄斑裂孔手术的常规步骤，其带来的解剖和功能预后改善是显著的。

2.3. 手术技术的创新与改良

自 1991 年 Kelly 和 Wendel 首次成功实施黄斑裂孔手术以来，玻璃体切除术联合内界膜剥离及气体填充作为黄斑裂孔治疗的金标准，其裂孔闭合率超过 90% [21]。然而，对于持续性或复发性全层黄斑裂孔，伴随近视、既往手术失败或其他因素相关的预后较差者，过去十年间出现了多种创新的手术技术[21]。这些创新主要体现在从传统的全范围内界膜剥离向更精细、损伤更小的技术转变，以及简化手术流程和提升手术安全性等方面的优化。

首先，内界膜处理策略经历了从全范围剥离到选择性、保留性技术的演变。传统的全范围内界膜剥离虽能提高闭合率，但可能损伤视网膜结构和功能[22]。因此，出现了多种改良技术作为替代方案，包括内界膜瓣技术、内界膜刮除术和保留中心凹的内界膜剥离[23]。

其次，为了简化手术流程并减少创伤，非玻璃体切除手术的尝试应运而生。非玻璃体切除玻璃体手术旨在保留玻璃体皮质的同时，解除黄斑表面的玻璃体粘连[24]。此外，还有学者尝试，仅进行有限的玻璃体核心区域切除的“次全玻璃体切除术”，结果显示该技术安全有效，未出现显著的术中及术后并发症[19]。这些技术旨在探索手术效果与对眼内结构干扰的平衡。

再者，术中辅助材料和内固定技术的应用有效地提升了手术安全性。术中染色剂如台盼蓝和叶黄素/玉米黄质染料的使用，使内界膜剥离更快速、精确，且后者可能为光感受器提供更好的术中保护[25]。在辅助材料方面，粘弹剂的应用尤为突出。除了用于稳定瓣膜的“粘弹剂池”技术，还有研究描述了一种在空气下将分散性粘弹剂注射到倒置的颞侧内界膜瓣上及周围以闭合裂孔的技术，该技术无需任何术后特殊头位[23]。自体材料如血凝块也被用作辅助手段，例如有研究采用连接视盘的带蒂倒置内界膜瓣联合自体血凝块技术治疗大裂孔，取得了高闭合率[26]。对于复杂或难治性裂孔，组织移植技术提供了新的选择，如人羊膜移植、自体视网膜移植、自体前囊膜移植以及后弹力层移植等[21][27][28]。这些创新技术共同推动了黄斑裂孔手术向更精准、微创、高效的方向发展。

2.4. 新型辅助材料的探索

黄斑裂孔手术中，新型辅助材料的探索旨在优化手术效果并简化术后管理。寻找能够辅助裂孔闭合且减少体位依赖性的材料成为研究热点。纤维蛋白胶(Fibrin Glue)作为一种生物粘合剂，通过模拟生理性凝血过程，在裂孔边缘形成稳定的纤维蛋白网络，起到粘附和促进组织愈合的作用[29]。也可能简化手术

步骤,减少对长效气体填充的绝对依赖,从而减轻患者的术后负担。

展望未来,开发能够替代传统气体或硅油填充的新型生物材料是另一个重要方向。目前临床常用的硅油、长效气体等填充物存在诸多局限性,如硅油可能乳化、导致高眼压或加速晶状体混浊,而气体填充则严格要求患者体位并可能引起白内障等并发症[30]。聚合物水凝胶因其良好的物理机械性能和可调节的生物相容性,被视为极具潜力的理想玻璃体替代物[30]。

3. 黄斑裂孔术后视网膜形态及功能变化

3.1. 视网膜位移现象及其机制

黄斑裂孔手术后,视网膜位移已成为一个重要的亚临床现象,其发生与内界膜剥离密切相关。研究表明,内界膜剥离是导致术后黄斑区位置发生偏移的主要原因[31]。这种位移主要表现为视网膜向视盘方向,即中心凹方向移动,其中颞侧位移尤为显著[32]。这种位移的机制被认为是手术剥离内界膜后解除了对视网膜的约束作用,改变了视网膜收缩结构(如较大的浅表视网膜血管和视网膜神经纤维层)之间的力量平衡,从而促进了多层位移以填充视网膜缺损[32]。

视网膜位移的程度与内界膜剥离范围、裂孔大小及手术方式等因素显著相关。内界膜剥离的范围是影响位移程度的关键因素[12]。此外,裂孔的基底直径与术后中心凹位移的程度显著相关[33]。

视网膜位移对术后解剖和功能恢复的临床意义不容低估,需要临床医生在术后长期随访中予以关注[32]。

3.2. 视网膜微血管结构的变化

光学相干断层扫描血管成像(OCTA)为评估黄斑裂孔术后视网膜微血管结构的动态变化提供了无创、高分辨率的观察手段。一项针对特发性黄斑裂孔患者的研究发现,在接受玻璃体切割术和内界膜剥除术后4周,与基线相比,患眼DCP的血管密度显著增加,同时血管间距显著减小[34]。

视网膜血管结构的恢复与术后视功能的改善密切相关。术后微血管的积极重塑,特别是DCP灌注的改善,可能为光感受器细胞等外层视网膜结构的代谢需求提供了更好的支持,从而促进了视敏度的恢复。因此,通过OCTA量化评估微血管变化,可能成为预测和评估手术功能预后的重要工具。

4. 黄斑裂孔手术的临床疗效与影响因素

4.1. 解剖闭合率与视力改善

现代黄斑裂孔手术的解剖闭合率已显著提高,早期手术干预及内界膜剥离是提高闭合率和促进视力恢复的关键因素。研究表明,症状持续时间短是手术成功的有利预后因素之一[35]。

不同手术技巧对视觉结果的影响已逐渐明确,尤其是针对大、慢性或难治性裂孔的改良技术。为此,多种改良技术被引入,其他辅助技术如羊膜移植、自体血小板浓缩物、自体视网膜移植等,也在难治性裂孔的治疗中展现出潜力,能促进组织再生和裂孔闭合[36]-[38]。这些技术的选择需基于裂孔特征个体化实施,以在追求解剖闭合的同时,最大化促进功能恢复。

4.2. 影响手术成功的因素

裂孔的大小、持续时间、基底直径及裂孔“臂”长度比例是影响术后视网膜位移及闭合的关键解剖学因素。多项研究证实,较小的裂孔直径与更高的解剖闭合率和更好的视力预后显著相关[39]。此外,裂孔的基底直径(BD)和体积也被证实是影响初次手术失败后行气液交换术成功与否的预测因素,较小的基底直径和体积与更高的闭合成功率相关[40]。症状持续时间是另一个至关重要的预后因素。症状持续时间

越短，术后视力恢复越好[41]。这些发现共同强调了早期干预的重要性。

术前视网膜血管状态及深层血管密度是视力恢复的重要预测指标。这种微循环的改变与裂孔的初始特征密切相关：裂孔的最小直径和基底直径越大，术后中心凹 VD 越低，FAZ 面积越大[42]。此外，患者的年龄也与术后微循环重塑相关，年龄越大，术后整体 VD 越低，FAZ 面积越大[42]。这些发现提示，术前较大的裂孔和较高的年龄可能导致更严重的毛细血管损伤和丢失，从而影响术后视力的恢复。除了血管密度，外层视网膜的微结构完整性也是功能预后的关键。

手术并发症如囊样黄斑水肿、视网膜萎缩等是影响功能恢复的重要因素。术后可能发生多种并发症，影响视力恢复。这些并发症的发生机制多样，需要术者在围手术期预防和密切监测。

4.3. 术后复发与失败的处理

尽管黄斑裂孔的初次手术成功率很高，但仍有部分病例会出现裂孔持久未闭合或术后复发的情况[43]。初次手术失败的原因多样，可能与裂孔直径过大、高度近视、既往手术史、残留膜或周围组织改变等因素有关[44]。对于这些难治性病例，需要采取个体化的处理策略。包括扩大内界膜剥离范围、制作 ILM 瓣、自体视网膜移植、人羊膜移植、使用自体血小板浓缩物、诱导视网膜下液泡以及进行视网膜切开等[45]。

药物辅助治疗为部分难治性病例提供了非手术或微创的选择。有病例报告显示，对于继发于玻璃体视网膜手术或外伤的直径小于 200 微米的继发性黄斑裂孔，球筋膜下注射曲安奈德能够有效促进裂孔闭合并改善视力[46]。对于非手术管理，一项汇总了激光、碳酸酐酶抑制剂、非甾体抗炎药、类固醇、玻璃体内注气等多种方法的疗效，发现对于较小的裂孔或伴有囊样黄斑水肿的病例，某些保守治疗可能有效[47]。但目前证据尚不足以支持其常规应用，玻璃体切除联合 ILM 剥离依旧是全层黄斑裂孔治疗的金标准。

在二次手术技术中，人羊膜移植近年来显示出巨大的潜力。多项研究证实，使用人羊膜塞或羊膜移植治疗复发性、大型或高度近视性黄斑裂孔，能够获得极高的解剖闭合率(可达 93%~100%)和显著的视力改善，且安全性良好[44] [48] [49]。

5. 新兴技术与未来发展方向

5.1. 基因治疗与细胞治疗的潜力

基因治疗与细胞治疗作为新兴的治疗策略，为黄斑裂孔，特别是难治性病例，提供了极具潜力的解决方案。在非人灵长类动物模型中，人类胚胎干细胞来源的视网膜类器官片层移植被证明能够成功闭合黄斑裂孔，并改善视觉功能[50]。这为利用干细胞来源的组织作为“支架”修复视网膜结构提供了概念验证。这些在动物模型中观察到的促进视网膜稳态和细胞存活的效应，为应用于黄斑裂孔的修复奠定了理论基础。

尽管在动物模型中前景广阔，但基因与细胞治疗在黄斑裂孔领域的临床应用仍处于初步探索阶段。未来，随着载体工程、细胞培养技术和手术方法的不断进步，基因与细胞治疗有望成为改善难治性黄斑裂孔患者预后的重要手段。

5.2. 微创手术与机器人辅助手术

微创玻璃体切割手术(MIVS)的发展显著推动了黄斑裂孔手术的进步。目前，25G 及更细的 27G 经结膜无缝线玻璃体切割术已成为标准术式[51]。微创玻璃体切割术通过减小手术创伤，为黄斑裂孔患者带来了更快的术后恢复和良好的解剖与功能预后[52]。

机器人辅助手术是提升黄斑裂孔手术精度的前沿方向。日本批准使用的 OQrimo[®] 机器人辅助系统在初步临床应用中展现了其安全性和实用性[53]。机器人手术的核心优势在于其能够消除人手震颤、提供高达七个自由度的运动、实现符合人体工程学的手术体位以及提供放大的三维高清视野，这些特性理论上能极大提高手术的精确性和稳定性[54]。目前关于机器人辅助黄斑裂孔手术的直接临床数据有限，但其他外科领域的经验可供借鉴。在食管手术中，机器人辅助海勒肌切开术的术中粘膜损伤率显著低于腹腔镜技术[55]；在脊柱手术中，机器人辅助能提高器械置入的准确性和安全性[56][57]。这些证据支持了机器人技术在需要精细操作的外科领域中的价值。将机器人技术应用于黄斑裂孔手术，特别是内界膜剥离等关键步骤，有望通过提升操作的稳定性和精准度，进一步降低对视网膜的医源性损伤，改善手术预后。未来，随着机器人平台的不断优化和临床应用的拓展，其在复杂或高风险玻璃体视网膜手术中的作用值得期待。

6. 结论

黄斑裂孔的手术治疗已从单一的玻璃体切除术，演化为融合了精细显微操作、生物材料应用及术后功能康复的个体化综合体系。这一演化的核心在于，我们不仅追求裂孔的高解剖闭合率，更致力于实现患者视功能与生活质量的实质性改善。

当前治疗策略的成功与挑战并存，内界膜剥离技术无疑是现代黄斑裂孔手术的基石，其显著提高了裂孔的闭合率，为视力恢复奠定了解剖基础。然而，我们必须谨慎权衡其“双刃剑”效应。剥离过程对视网膜神经纤维层及 Müller 细胞的机械性扰动，可能导致术后视网膜位移、旁中心暗点或视物变形。这提示我们，在追求解剖成功的同时，应更加关注视网膜微结构与功能的保护。术式改良，例如选择性、更局限的 ILM 剥离，或保留中心凹的 ILM 翻瓣技术，正是基于对这种平衡的深入理解而发展起来的。

手术辅助技术的进步，如染色剂与新型粘弹剂的应用，提升了手术的安全性与可操作性，但同时也引入了新的影响因素。例如，染料对视网膜的潜在毒性，以及术后视网膜血管系统的重塑过程，都直接关联到最终的视觉质量。因此，手术的成功不能仅以裂孔闭合为终点，术后视网膜微环境的稳定与微循环的恢复，是决定功能预后的深层因素。对于术后并发症，如白内障加速、眼压波动或严重的感染，其管理策略体现了从“手术匠”到“全程管理者”的角色转变。

展望未来，治疗的边界正在拓宽。基因治疗与细胞修复技术为从根本上促进神经视网膜的愈合提供了理论可能，而人工智能与术中 OCT 导航系统，则将手术决策与操作推向前所未有的精准化。这些前沿方向预示着黄斑裂孔治疗将从“形态修复”迈向“生物功能重建”的新阶段。

综上所述，黄斑裂孔的治疗已进入一个强调整体观与平衡艺术的时代。它要求临床医生在“积极干预以获得解剖复位”与“最小化医源性损伤以保护功能”之间寻求最佳平衡点。这不仅依赖于主刀医生精湛的技术，更依赖于贯穿术前评估、术中决策、术后康复及长期随访的系统性管理。加强眼科亚专业(如玻璃体视网膜、青光眼、屈光)乃至与神经科学、康复医学的多学科协作，建立标准化的功能评估与视觉康复路径，是巩固手术成果、最终提升患者长期生活质量的必然方向。未来的发展，必将是技术创新与人文关怀更深层次的融合。

参考文献

- [1] Michalewska, Z. and Nawrocki, J. (2022) Fovea Morphology after Vitrectomy in Eyes with Full-Thickness Macular Hole Coexisting with Diabetic Retinopathy. *Journal of Vitreo Retinal Diseases*, **5**, 53-59. <https://doi.org/10.1177/2474126420944048>
- [2] Bringmann, A., Unterlauff, J.D., Barth, T., Wiedemann, R., Rehak, M. and Wiedemann, P. (2021) Müller Cells and Astrocytes in Tractional Macular Disorders. *Progress in Retinal and Eye Research*, **86**, Article 100977.

- <https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2021.100977>
- [3] Gonzalez-Cortes, J.H., Treviño-Herrera, A.B., Gonzalez-Cantu, J.E., Sudhakar, A., Hernandez-Da Mota, S.E. and Mohamed-Hamsho, J. (2022) Sudden Branch Macular Artery Avulsion during Internal Limiting Membrane Peeling for Idiopathic Macular Hole: A Case Report. *International Journal of Surgery Case Reports*, **97**, Article 107443. <https://doi.org/10.1016/j.ijscr.2022.107443>
- [4] Wang, Y., Zhao, X., Zhang, W., Yang, J. and Chen, Y. (2021) Fovea-Sparing versus Complete Internal Limiting Membrane Peeling in Vitrectomy for Vitreomacular Interface Diseases: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Retina*, **41**, 1143-1152. <https://doi.org/10.1097/iae.00000000000003140>
- [5] Wu, J., Xu, Q. and Luan, J. (2021) Vitrectomy with Fovea-Sparing ILM Peeling versus Total ILM Peeling for Myopic Traction Maculopathy: A Meta-Analysis. *European Journal of Ophthalmology*, **31**, 2596-2605. <https://doi.org/10.1177/1120672120970111>
- [6] Ling, L., Liu, Y., Zhou, B., Gao, F., Hu, Z., Tian, M., et al. (2020) Inverted Internal Limiting Membrane Flap Technique versus Internal Limiting Membrane Peeling for Vitrectomy in Highly Myopic Eyes with Macular Hole-Induced Retinal Detachment: An Updated Meta-Analysis. *Journal of Ophthalmology*, **2020**, Article 2374250. <https://doi.org/10.1155/2020/2374650>
- [7] Nakano, H., Terashima, H., Hasebe, H. and Fukuchi, T. (2025) Inverted Internal Limiting Membrane Flap Technique for Macular Hole Retinal Detachment in High Myopia Compared to Internal Limiting Membrane Peeling. *Scientific Reports*, **15**, Article No. 21537. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-08269-8>
- [8] Takeyama, A., Imamura, Y., Shibata, M., Komiya, Y. and Ishida, M. (2021) Inner Retinal Structure and Visual Function after Idiopathic Epiretinal Membrane Surgery with and without Brilliant Blue G. *Japanese Journal of Ophthalmology*, **65**, 689-697. <https://doi.org/10.1007/s10384-021-00851-7>
- [9] Hong, S.Y., Yi, S.U., Kim, M. and Park, Y.H. (2025) Long-Term Outcomes and Prognosis in Vitrectomy with Autologous Platelet Concentrate Injection for Large, High Myopic, or Recurrent Macular Holes. *Japanese Journal of Ophthalmology*, **69**, 387-394. <https://doi.org/10.1007/s10384-025-01166-7>
- [10] Carlà, M.M., Giannuzzi, F., Hu, L., Rizzo, C., Crincoli, E., Catania, F., et al. (2026) The Human Amniotic Membrane in Vitreoretinal Surgery: Applications, Outcomes and Limitations. *Survey of Ophthalmology*, **71**, 14-24. <https://doi.org/10.1016/j.survophthal.2025.08.004>
- [11] Bokor, Á., Makhoul, S., Pásztor, O. and Fodor, M. (2023) Autologous Neurosensory Retinal Transplantation. *Orvosi Hetilap*, **164**, 1511-1517.
- [12] Pellegrini, M., Adamo, G., Vivarelli, C., et al. (2025) Macular Hole Surgery and Retinal Tectonics: The Impact of Internal Limiting Membrane Peeling Size on Tangential Retinal Displacement. *Retina*, **45**, 23-29.
- [13] Cheng, D., Tao, J.W., Yu, X.T., et al. (2022) Characteristics of Macular Microvasculature before and after Idiopathic Macular Hole Surgery. *International Journal of Ophthalmology*, **15**, 98-105. <https://doi.org/10.18240/ijo.2022.01.15>
- [14] Akada, M. and Tabuchi, H. (2023) Time Course of Eccentric Macular Hole Formation after Pars Plana Vitrectomy for Epiretinal Membrane Detected by Optical Coherence Tomography. *American Journal of Ophthalmology Case Reports*, **32**, Article 101914. <https://doi.org/10.1016/j.ajoc.2023.101914>
- [15] Lasota, P.R. (2024) Macular Phototoxicity after Macular Hole Surgery. *Ophthalmic Surgery, Lasers and Imaging Retina*, **55**, 479-480. <https://doi.org/10.3928/23258160-20240409-02>
- [16] Kelkar, A., Bolisetty, M. and Mondal, S. (2024) Iatrogenic Macular Hole Following PFCL Injection: Implications of Retinal Dimpling as an Intraoperative Indicator. *American Journal of Ophthalmology Case Reports*, **36**, Article 102122. <https://doi.org/10.1016/j.ajoc.2024.102122>
- [17] Cundy, O., Lange, C.A., Bunce, C., Bainbridge, J.W. and Solebo, A.L. (2023) Face-Down Positioning or Posturing after Macular Hole Surgery. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, **2023**, CD008228. <https://doi.org/10.1002/14651858.cd008228.pub3>
- [18] Lachance, A., You, E., Garneau, J., Bourgault, S., Caissie, M., Tourville, É., et al. (2021) Revision Surgery for Idiopathic Macular Hole after Failed Primary Vitrectomy. *Journal of Ophthalmology*, **2021**, 1-7. <https://doi.org/10.1155/2021/8832538>
- [19] Tarakcioglu, H.N., Tulu, B. and Ozkaya, A. (2019) Subtotal Vitrectomy in Idiopathic Macular Hole Surgery. *Saudi Journal of Ophthalmology*, **33**, 369-373. <https://doi.org/10.1016/j.sjopt.2019.11.001>
- [20] Pradhan, D., Agarwal, L., Joshi, I., Kushwaha, A., Aditya, K. and Kumari, A. (2022) Internal Limiting Membrane Peeling in Macular Hole Surgery. *German Medical Science*, **20**, Doc07.
- [21] Meshkin, R.S. and Elliott, D. (2025) Refractory Macular Hole Surgery: A Review of Recent Surgical Innovations. *International Ophthalmology Clinics*, **65**, 17-25. <https://doi.org/10.1097/iao.0000000000000579>
- [22] Caporossi, T., Carlà, M.M., Gambini, G., De Vico, U., Baldascino, A. and Rizzo, S. (2022) Spotlight on the Internal

- Limiting Membrane Technique for Macular Holes: Current Perspectives. *Clinical Ophthalmology*, **16**, 1069-1084. <https://doi.org/10.2147/opth.s284620>
- [23] Saygılı, O. and Seyyar, S.A. (2025) Macular Hole Surgery without Postoperative Head Positioning: A Technique of Viscoelastic Device Injection Covering the Temporal Internal Limiting Membrane Flap. *Ophthalmic Surgery, Lasers and Imaging Retina*, **56**, 120-122. <https://doi.org/10.3928/23258160-20241015-01>
- [24] Chen, N., Li, X., Yao, X., Chen, D. and Liu, X. (2025) Nonvitrectomizing Vitreous Surgery in Patients with Macular Holes. *Retina*, **45**, 2353-2359. <https://doi.org/10.1097/iae.0000000000004628>
- [25] Popescu, I.S., Muşat, O., Stanca, S., Cernat, C., Patoni, C., Negru, S., *et al.* (2021) Vital Dyes in Macular Hole Surgery. *Experimental and Therapeutic Medicine*, **21**, Article No. 527. <https://doi.org/10.3892/etm.2021.9959>
- [26] Zhang, L., Xi, H., Chen, J., Sheng, A., Fan, W., Li, S., *et al.* (2023) Inverted Pedicled Internal Limiting Membrane Flap Attached to an Optic Disc with Autologous Blood Clot for Large Macular Holes. *Journal of Ophthalmology*, **2023**, Article 7640476. <https://doi.org/10.1155/2023/7640476>
- [27] Gürelik, İ.G., Özdemir, H.B., Acar, A.B. and Aydın, B. (2025) Descemet's Membrane Transplantation for the Treatment of Recurrent High Myopic Macular Hole Associated with Retinal Detachment. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, **263**, 105-110. <https://doi.org/10.1007/s00417-024-06630-7>
- [28] Galletero Pandelo, L., Olaso Fernández, H., Sánchez Aparicio, J.A., Rodríguez Vidal, C. and Martínez-Alday, N. (2022) Results of Large Macular Hole Surgery Using Different Interposition Techniques. A Report on 9 Cases. *Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología*, **97**, 457-463.
- [29] Rinaldi, M., Cennamo, G., Passaro, M.L. and Costagliola, C. (2023) Changes in Macular Pigment Optical Density after Full-Thickness Macular Hole Closure Using Inverted Flap Technique. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, **45**, Article 103950. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2023.103950>
- [30] Wang, T., Ran, R., Ma, Y. and Zhang, M. (2021) Polymeric Hydrogel as a Vitreous Substitute: Current Research, Challenges, and Future Directions. *Biomedical Materials*, **16**, Article 042012. <https://doi.org/10.1088/1748-605x/ac058e>
- [31] Qin, H.C., Li, F.Q., Jin, S.Y. and Zhao, J.S. (2024) Retinal Displacement after Surgery for Idiopathic Macular Hole. *International Journal of Ophthalmology*, **17**, 1545-1556. <https://doi.org/10.18240/ijo.2024.08.21>
- [32] Rossi, T., Querezoli, G., Ripandelli, G., Placentino, L., Parravano, M., Steel, D.H., *et al.* (2025) Retinal Displacement after Idiopathic Macular Hole Surgery. *Retina*, **45**, 410-419. <https://doi.org/10.1097/iae.0000000000004352>
- [33] Qin, H., Zhao, J., Jin, S. and Zhang, H. (2024) The Impact of Preoperative Parameters on Postoperative Foveal Displacement in Idiopathic Macular Hole. *Scientific Reports*, **14**, Article No. 3755. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-54417-x>
- [34] Lauermaann, P., Dülk, J., van Oterendorp, C., Hoerauf, H., Feltgen, N. and Bemme, S. (2020) Reorganization of the Perifoveal Microvasculature after Macular Hole Closure Assessed via Optical Coherence Tomography Angiography. *Experimental Eye Research*, **198**, Article 108132. <https://doi.org/10.1016/j.exer.2020.108132>
- [35] von Goscinski, C., Gözlügöl, N., Schick, T., *et al.* (2024) Predictive Parameters for Anatomical Surgical Success in Full-thickness Macular Holes: A Retrospective Evaluation of 391 Eyes. *Ophthalmologie*, **121**, 746-752.
- [36] Arias, J.D., Córdoba-Ortega, C.M., Martínez-Pulgarín, D.F., Viteri, E.J., Parra, M.M. and Rangel, C.M. (2026) Plasma Membrane Rich in Growth Factors for the Treatment of Macular Holes Associated with Macular Telangiectasia Type 2. *Retinal Cases & Brief Reports*, **20**, 43-46. <https://doi.org/10.1097/icb.0000000000001693>
- [37] Dhami, A., Sharma, P., Dhami, N.B. and Dhami, G.S. (2022) To Evaluate the Functional and Anatomical Outcomes for Autologous Retinal Autograft with Finesse Flex Loop for Failed Macular Holes. *Indian Journal of Ophthalmology*, **70**, 3033-3037. https://doi.org/10.4103/ijo.ijo_3215_21
- [38] Hayakawa, Y. and Inada, T. (2025) Amniotic Membrane Coverage for Intractable Large Macular Holes: A First Report with Japanese Patients. *Journal of Clinical Medicine*, **14**, Article 3708. <https://doi.org/10.3390/jcm14113708>
- [39] Fallico, M., Jackson, T.L., Chronopoulos, A., Hattenbach, L., Longo, A., Bonfiglio, V., *et al.* (2021) Factors Predicting Normal Visual Acuity Following Anatomically Successful Macular Hole Surgery. *Acta Ophthalmologica*, **99**, e324-e329. <https://doi.org/10.1111/aos.14575>
- [40] Zgolli, H., Abdelhedi, C., Mabrouk, S., Fekih, O., Zghal, I., Malek, I., *et al.* (2023) Prognostic Factors for Visual Recovery after Successful Large Macular Hole Surgery Using the Inverted Flap Technique. *Journal Français d'Ophthalmologie*, **46**, 1069-1078. <https://doi.org/10.1016/j.jfo.2023.02.019>
- [41] Lee, Y.H., Lee, S.J., Jang, J.H. and Kim, Y.C. (2022) Prognostic Factors in Fluid-Gas Exchange after Primary Idiopathic Macular Hole Surgery. *International Ophthalmology*, **42**, 2811-2818. <https://doi.org/10.1007/s10792-022-02271-z>
- [42] Zou, J., Wang, N., Zhang, F., Lian, H., Zeng, J. and Yang, Y. (2025) Prognostic Factors for Postoperative Macular Microcirculation Remodeling in Idiopathic Full-Thickness Macular Hole. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, **55**, Article 104767. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2025.104767>

- [43] Romano, M.R., Rossi, T., Borgia, A., Catania, F., Sorrentino, T. and Ferrara, M. (2022) Management of Refractory and Recurrent Macular Holes: A Comprehensive Review. *Survey of Ophthalmology*, **67**, 908-931. <https://doi.org/10.1016/j.survophthal.2022.01.006>
- [44] Al-Ruwaili, R.M., Babaker, R.K., Al-Onazi, R.H., Al-Amoudi, S.A., Al-Harbi, M.H. and Al-Dhibi, H.A. (2025) Optimal Approaches for Managing Recurrent Macular Holes: A Comprehensive Systematic Review and Meta-Analysis. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, **263**, 3301-3317. <https://doi.org/10.1007/s00417-025-06981-9>
- [45] Cao, J.L. and Kaiser, P.K. (2021) Surgical Management of Recurrent and Persistent Macular Holes: A Practical Approach. *Ophthalmology and Therapy*, **10**, 1137-1153. <https://doi.org/10.1007/s40123-021-00388-5>
- [46] Azimi, R., Hassan, A.K., Ghafari, E., Kuppermann, B.D. and Mehta, M.C. (2025) Secondary Macular Hole Closure with Sub-Tenon Triamcinolone Acetonide. *Journal of Vitreo Retinal Diseases*, **9**, 876-880. <https://doi.org/10.1177/24741264251364009>
- [47] Lee, Y.M., Bahrami, B., Selva, D., Casson, R.J. and Chan, W.O. (2024) Scoping Review of Nonsurgical Treatment Options for Macular Holes. *Survey of Ophthalmology*, **69**, 677-696. <https://doi.org/10.1016/j.survophthal.2024.04.005>
- [48] Saad, S.M., Rizvi, S.F., Tufail Khan, M.A., et al. (2021) Outcome of Recurrent Macular Hole Closure with Amniotic Membrane Plug. *Journal of Ayub Medical College Abbottabad*, **33**, 179-182.
- [49] Quiroz-Reyes, M.A., Quiroz-Gonzalez, E.A., Quiroz-Gonzalez, M.A. and Lima-Gomez, V. (2024) Safety and Efficacy of Human Amniotic Membrane Plug Transplantation in Cases of Macular Hole. A Scoping Review. *International Journal of Retina and Vitreous*, **10**, Article No. 82. <https://doi.org/10.1186/s40942-024-00600-1>
- [50] Iwama, Y., Sugase-Miyamoto, Y., Onoue, K., Uyama, H., Matsuda, K., Hayashi, K., et al. (2024) Transplantation of Human Pluripotent Stem Cell-Derived Retinal Sheet in a Primate Model of Macular Hole. *Stem Cell Reports*, **19**, 1524-1533. <https://doi.org/10.1016/j.stemcr.2024.09.002>
- [51] Garweg, J.G., Ouassi, D. and Pfister, I.B. (2020) Hybrid 23/27 Gauge Vitrectomy—Combining the Charm of 27G with the Efficacy of 23G. *Clinical Ophthalmology*, **14**, 299-305. <https://doi.org/10.2147/ophth.s233884>
- [52] Kumar, S., Rao, G.N., Sinha, N., Rath, B., Pattanayak, S.S. and Pal, A. (2024) Predictive Relevance of Optical Coherence Tomography Indices in Conjunction with Visual Acuity and Surgical Outcomes of Idiopathic Macular Hole. *Heliyon*, **10**, e39261. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39261>
- [53] Kiyohara, K., Ishikawa, K., Yuge, K., Yamana, S., Nakao, S. and Sonoda, K. (2025) Initial Clinical Use of the Intraocular Endoscope Holding Robot in Pars Plana Vitrectomy. *Japanese Journal of Ophthalmology*, **70**, 358-366. <https://doi.org/10.1007/s10384-025-01285-1>
- [54] Bishop, S.N. and Selber, J.C. (2021) Minimally Invasive Robotic Breast Reconstruction Surgery. *Gland Surgery*, **10**, 469-478. <https://doi.org/10.21037/gs-20-248>
- [55] Shemmeri, E. and Wee, J.O. (2021) Robotics and Minimally Invasive Esophageal Surgery. *Annals of Translational Medicine*, **9**, 898-898. <https://doi.org/10.21037/atm-20-4138>
- [56] Vo, C.D., Jiang, B., Azad, T.D., Crawford, N.R., Bydon, A. and Theodore, N. (2020) Robotic Spine Surgery: Current State in Minimally Invasive Surgery. *Global Spine Journal*, **10**, 34S-40S. <https://doi.org/10.1177/2192568219878131>
- [57] Pérez de la Torre, R.A., Ramanathan, S., Williams, A.L. and Perez-Cruet, M.J. (2022) Minimally-Invasive Assisted Robotic Spine Surgery (MARSS). *Frontiers in Surgery*, **9**, Article 884247. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2022.884247>