

577 nm 阈值下微脉冲激光治疗常见眼底疾病的应用进展

高晓蓉¹, 常 鲁¹, 熊 帅¹, 钱爱军¹, 非云震², 杨光珍¹, 何玉清¹

引用:高晓蓉, 常鲁, 熊帅, 等. 577 nm 阈值下微脉冲激光治疗常见眼底疾病的应用进展. 国际眼科杂志, 2026, 26 (11): 1945–1949.

基金项目:昆明市卫生健康委员会卫生科研课题项目 (No.2025–07–02–025)

作者单位:¹(650000) 中国云南省昆明市, 昆明爱尔眼科医院;
²(661100) 中国云南省蒙自市, 红河爱尔眼科医院

作者简介:高晓蓉, 硕士, 主治医师, 研究方向: 眼底病。

通讯作者:何玉清, 本科, 副主任医师, 研究方向: 眼底病。
eagle1978eagle@163.com

收稿日期: 2026–04–08 修回日期: 2026–09–09

摘要

577 nm 阈值下微脉冲激光 (577 nm SML) 是一种非损伤性视网膜激光治疗技术, 通过选择性作用于视网膜色素上皮 (RPE), 诱导热休克蛋白表达, 调节炎症反应, 促进血–视网膜屏障修复, 降低血管内皮生长因子 (VEGF) 水平, 改善 Müller 细胞功能, 从而促进视网膜代谢及功能恢复, 同时避免传统阈值激光引起的热损伤。近年来, 577 nm SML 已广泛应用于中心性浆液性脉络膜视网膜病变 (CSC)、糖尿病性黄斑水肿 (DME)、视网膜静脉阻塞继发黄斑水肿 (RVO–ME)、年龄相关性黄斑变性 (ARMD)、2 型黄斑毛细血管扩张症 (MacTel2)、视网膜脱离术后持续性视网膜下液及 Irvine–Gass 综合征等多种眼底疾病, 具有良好的安全性、可重复性和较高的临床应用价值, 并可作为抗 VEGF 治疗的重要辅助或补充手段。文章旨在总结 577 nm SML 治疗原理及常见眼底疾病中的应用以便为后续临床应用提供理论依据。

关键词:微脉冲激光; 中心性浆液性脉络膜视网膜病变; 视网膜静脉阻塞; 糖尿病性黄斑水肿; 2 型黄斑毛细血管扩张症; 年龄相关性黄斑变性; 视网膜下液; Irvine–Gass 综合征

DOI:10.3980/j.issn.1672–5123.2026.11.13

Progress in the application of 577 nm subthreshold micropulse laser in common fundus diseases

Gao Xiaorong¹, Chang Lu¹, Xiong Shuai¹, Qian Aijun¹, Fei Yunzhen², Yang Guangzhen¹, He Yuqing¹

Foundation item: Health Research Project of Kunming Municipal Health Commission (No.2025–07–02–025)

¹Kunming Aier Eye Hospital, Kunming 650000, Yunnan Province,

China; ²Honghe Aier Eye Hospital, Mengzi 661100, Yunnan Province, China

Correspondence to: He Yuqing. Kunming Aier Eye Hospital, Kunming 650000, Yunnan Province, China. eagle1978eagle@163.com

Received:2026–04–08 Accepted:2026–09–09

Abstract

• The 577 nm subthreshold micropulse laser (577 nm SML) is a non-invasive retinal laser treatment technique that selectively acts on the retinal pigment epithelium (RPE), induces heat shock protein expression, regulates inflammatory response, promotes blood retinal barrier repair, downregulates vascular endothelial growth factor (VEGF) levels, improves Müller cell function, promotes retinal metabolism and functional recovery, and avoids thermal damage caused by traditional threshold lasers. In recent years, 577 nm SML has been widely used in the treatment of various fundus diseases, including central serous chorioretinopathy (CSC), diabetes macular edema (DME), macular edema secondary to retinal vein occlusion (RVO–ME), age-related macular degeneration (ARMD), type 2 macular telangiectasia (MacTel2), persistent subretinal fluid after retinal detachment repair, and Irvine–Gass syndrome. Characterized by favorable safety and repeatability, 577 nm SML possesses high clinical application value and serves as a vital adjuvant and complementary strategy for anti-VEGF therapy. This review aims to summarize the therapeutic mechanisms and clinical applications of 577 nm SML in common fundus diseases, and provide a theoretical basis for its further clinical application.

• **KEYWORDS:** subthreshold micropulse laser; central serous chorioretinopathy; branch retinal vein occlusion; diabetic macular edema; type 2 macular telangiectasia; age-related macular degeneration; subretinal fluid; Irvine–Gass

Citation: Gao XR, Chang L, Xiong S, et al. Progress in the application of 577 nm subthreshold micropulse laser in common fundus diseases. Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci), 2026, 26 (11): 1945–1949.

0 引言

眼底疾病是目前患者视力损伤甚至失明的主要原因, 传统阈值激光在治疗眼底疾病中运用广泛。但是有研究表明, 传统阈值激光虽然在治疗眼底疾病过程中可以降低视力丧失的发生率, 但是也是一种永久破坏性的治疗方

法,通过提供连续能量波在组织内以热能的形式存在可能导致暗点、对比敏感度下降、色觉异常、激光瘢痕、甚至出现永久性光感受器丧失、脉络膜新生血管和视网膜下纤维化等不良反应。如何使损伤减小且达到最大治疗效果已成为目前追求的目标,而阈值下微脉冲激光(subthreshold micropulse laser,SML)能在诱导组织结构反应的同时而不会造成热损伤^[1]。文章对577 nm 阈值下微脉冲激光(577 nm subthreshold micropulse laser,577 nm SML)在眼底常见疾病中治疗的安全性及有效性进行阐述,分析比较其与临床常见治疗方案相比的优势以及对常规治疗方案的补充治疗。

1 SML 的治疗机制

SML 是一种高频率、短促、阈值下选择性光凝的激光,能将持续的激光束分成短促的阵发激光。脉冲持续时段称为“ON”,时间一般在100–300 μs,脉冲之间的间歇时间称为“OFF”,一般长达1 700–1 900 μs,能量小且每次热量叠加的效应小,OFF 时间可以让 ON 时间产生的热量消减,因此对邻近组织热损伤影响较小。577 nm 黄激光是临床常见的 SML 激光类型,因黄斑区内、外丛状层中富含叶黄素,577 nm 激光处于不被叶黄素吸收的光谱内,从而避免了光感受器的损伤,而视网膜色素上皮 RPE 层内的黑色素和血管内的氧和血红蛋白对于 577 nm 黄光吸收率较高^[2]。SML 被认为可以通过调节组织体内的热休克蛋白(heat shock proteins,HSPs)和各类细胞因子的平衡,防止细胞凋亡和阻断炎症途径来保护细胞免受应激,所以 SML 可以作用于 RPE 层以促进血–视网膜内屏障修复^[3–4]。同时有研究表明,SML 可以降低血管内皮生长因子(vascular endothelial growth factor,VEGF)水平来改善 Müller 细胞(Müller cell,MC)功能,该研究通过测量接受 SML 治疗的 DME≤400 μm 患者房水中的 Müller 细胞活性标志物包括胶质纤维酸性蛋白(glia fibrillary acidic protein,GFAP)、内向整流钾通道 Kir 41(inwardly rectifying potassium channel 41,Kir 41)和 VEGF 水平以及通过光学相干断层扫描(optical coherence tomography,OCT)测量了 MC 所在的内核层(inner nuclear layer,INL)厚度,结果显示 VEGF 水平及 INL 厚度降低,SML 可以降低 VEGF 浓度和 MC 激活的生物标志物(GFAP 和 Kir 41)的浓度,改善视网膜代谢、形态和功能^[5–6]。577 nm SML 按照不同治疗方案调节参数以达到最有效最安全的治疗效果。占空比是指 ON 的时间占总曝光时间(ON 时间+OFF 时间)的比率,是 SML 重要的参数之一。而“阈值下”一般需要通过滴定模式来实现,滴定是指在上下血管弓以外的正常视网膜组织增加功率直到看到 I 级光斑,此时对应的能量即为阈值能量,然后通过降低至阈值功率的 50% 达到治疗效果^[7–8],在此阈值下 SML 不会对视网膜产生热损伤。在微脉冲模式下可针对不同疾病、不同个体及术者选择功率。

2 SML 在视网膜疾病中应用

577 nm SML 逐渐被用于治疗中心性浆液性脉络膜视网膜病变(central serous chorioretinopathy,CSC)、视网膜静脉阻塞继发的黄斑水肿(macular edema secondary to retinal vein occlusion,RVO–ME)、糖尿病性黄斑水肿(diabetic macular edema,DME)、2 型黄斑毛细血管扩张症(macular telangiectasia 2,MacTel2)、年龄相关性黄斑变性(age–related macular degeneration,ARMD)、视网膜下液

(subretinal fluid,SRF)、Irvine–Gass 综合征等眼底黄斑疾病。

2.1 CSC CSC 是以浆液性视网膜脱离为特征的黄斑疾病,伴或不伴有色素上皮脱离,通常可伴有脉络膜及视网膜色素上皮(retinal pigment epithelium,RPE)层功能障碍。患者通常表现为视力下降,视物变暗变小,随着 SRF 增多也会引起视物变形,多见于中青年男性^[9]。急性 CSC 一般具有自限性,但有些患者最终发展为慢性 CSC,因此会导致永久性结构层次损伤,严重时导致视力丧失。SRF 的持续性存在会对光感受器造成不可逆的损伤,同时也会引发一系列并发症,如 RPE 萎缩、脉络膜新生血管等^[10]。因此,早期进行干预是很有必要的。目前为止,传统激光治疗仍是治疗 CSC 的主要手段,但也仅限于距离中心凹 400 μm 以上的渗漏点,且会对眼底视网膜组织产生不可逆的损伤^[11]。近年来,光动力疗法(photodynamic therapy,PDT)也被认为是治疗 CSC 有效方法,但 PDT 可能会导致 RPE 层改变,刺激引起血管内皮生长因子的上调和脉络膜新生血管(choroidal neovascularization,CNV)等一系列并发症^[12–13]。577 nm SML 的短波、高频、可重复且可以有效作用于 RPE 层,已在治疗 CSC 中得到广泛应用。Long 等^[14]通过将 34 例急性 CSC 患者分为 SML 组及观察组(仅进行随访不采取治疗),分别观察 6 mo,SML 组在 1、3、6 mo 后最佳矫正视力(best corrected visual acuity,BCVA)和黄斑中心凹厚度(central macular thickness,CMT)、黄斑中心凹下脉络膜厚度(subfoveal choroidal thickness,SFCT)改善显著情况均大于观察组。而观察组在随访期间 SFCT 无显著变化,同时 SML 组未观察到与 577 nm SML 治疗中相关的不良事件,因此尽管一些急性 CSC 患者可自发愈合,但及时使用 577 nm SML 进行干预可以缩短病程,提高视力,降低慢性转化的风险,而不会发生不良事件;Guo 等^[15]发现 577 nm SML 治疗 CSC 可显著改善 BCVA,减少 CMT,加速 SRF 吸收,改善脉络膜和视网膜血流。Sun 等^[16]通过对比 577 nm SML 与传统激光在治疗 CSC 的安全性及有效性,分析了疾病持续时间、FFA 漏点、随访期间 BCVA、CMT、SRF 分辨率和安全性。平均随访时间为 6.90±2.77 mo。结果显示 SML 对于病程较长、泄漏点不清楚或泄漏点在中央凹中心 250 μm 以内的患者效果明显优于传统激光,并且 SML 能有效作用于 RPE 层,在治疗后几乎不引起由自发荧光(fundus autofluorescence,FAF)确定的 RPE 层的损伤,即使在靠近中心凹区域 SML 也可以安全地使用。综上所述,577 nm SML 在治疗 CSC 中是安全且有效的。

2.2 DME DME 是目前糖尿病患者视力下降的主要原因,在糖尿病视网膜病变的各个时期,约 4% 的患者都会出现 DME。现阶段玻璃体腔注射抗 VEGF 药物仍是 DME 的一线治疗方案,这些药物通过改善视网膜功能及结构能有效降低中央视网膜厚度(central retinal thickness,CRT)及提高 BCVA,但是这种方法价格昂贵并需要反复注射^[5]。作为二线治疗,在慢性反复水肿的情况下可以进行玻璃体内注射皮质类固醇,通过玻璃体腔注射激素缓释剂可以有效延长作用时间,但是这将会增加白内障及高眼压的风险^[17]。研究表明通过对比 SML 与传统氩激光疗效,结果显示有 87.5% 的患者在 SML 治疗后黄斑水肿明显减轻,而传统的视网膜激光光凝会破坏光感受器,并增加脉络膜新生血管及视网膜前膜的风险,甚至造成视力丧

失^[18]。Lubis 等^[19]对比 SML 联合抗 VEGF 与单纯抗 VEGF 治疗 DME,结果表明 SML 可有效增加或稳定视网膜血管敏感性,并且在不损失视野、对比敏感度的情况下改善视功能,并减少抗 VEGF 治疗次数,SML 在治疗 3 mo 视网膜结构和功能都会出现显著改变。Bonfiglio 等^[20]研究发现在 SML 治疗的 DME 随访第 3 mo 黄斑厚度降低,并且视觉质量及 BCVA 得到提高,随访至第 6 mo 浅表毛细血管丛(superficial capillary plexus, SCP)和深部毛细血管丛(deep capillary plexus, DCP)的血管密度(vessel density, VD)显著增加,中央凹无血管区(foveal avascular zone, FAZ)的面积减小。这是由于 SML 能够渐进性恢复视网膜代谢,刺激 HSPs 分泌上调,增加水通道蛋白 3 表达,从而下调炎症因子和抑制视网膜水肿。SML 不仅能提高视觉功能,同时改善视网膜结构功能及视网膜血流灌注。Vujosevic 等^[21]的通过研究 CRT 为 400 μm 或小于 400 μm 的 DME 在使用 SML 治疗后,结果显示 INL 厚度显著降低,视力和视网膜敏感性增加与 CRT、INL 和外核层(outer nuclear layer, ONL)厚度显著负相关。Vujosevic 等^[22]通过纳入 35 例首次接受治疗的 DME 患者,随访 6 mo,观察比较 SCP 和 DCP 中的多个参数,包括黄斑无血管区面积(foveal avascular zone, FAZ)、微动脉瘤(microaneurysms, MA)数量,结果显示 SML 可使 DCP 中 FAZ 面积减少,SCP 和 DCP 的 MA 数量减少。这些结构及血流灌注在维持视网膜稳定性和视功能方面至关重要,因此使用微脉冲激光是 DME 的替代或辅助治疗方法。

2.3 RVO-ME 视网膜静脉阻塞(retinal vein occlusion, RVO)是视网膜血管疾病中导致视力丧失的第二大原因,RVO 在成人患病率中约 0.6% 的并发症是黄斑水肿(macular edema, ME),最终可能导致视力永久性丧失,显著降低患者生活质量。目前关于 RVO-ME 治疗方案仍是抗 VEGF、抗炎、传统激光光凝治疗。目前传统激光治疗后可能导致视网膜裂孔、出血和视野暗点、对比敏感度下降、RPE 萎缩等并发症,而抗 VEGF 药物的半衰期较短,需要多次剂量反复注射,这增加了治疗成本和就诊次数^[23-24]。因此,SML 可作为一种有价值的辅助治疗方法,与玻璃体腔内注射(intravitreal injection,IVI)联合使用,以加速视力的改善并减少再次治疗。Eng 等^[25]通过回顾性研究发现使用 SML 治疗 BRVO-ME,1 mo 后 BCVA 可显著提高;同时 SML 与传统激光和玻璃体腔内注射贝伐珠单抗相比,具有相似的疗效和较低的并发症风险,并且 SML 与玻璃体腔内注射抗 VEGF 联合使用可以进一步提高视力并减少再次治疗的需要。Feng 等^[26]通过对比玻璃体腔注射雷珠单抗和使用 SML 治疗初始治疗 3 次及以上应答不佳的患者,随访观察 12 mo 后,SML 治疗组 BCVA 显著高于玻璃体腔注射组,尤其是 CMT 小于 400 μm 的 RVO-ME 患者可早期切换到 SML 疗法,基于这些结果,SML 可能是一种治疗 RVO-ME 的有用替代方法,这也为难治性 RVO-ME 的治疗提供了新的临床思路。

2.4 ARMD ARMD 是全球老年人视力丧失的主要原因,临床上早期 ARMD 的特征是 RPE 和 Bruch 膜之间细胞外物质的局灶性或弥漫性沉积,形成玻璃疣(Drusen)(局灶性沉积)或基底层沉积(弥漫性沉积),RPE 层与 RPE-Bruch 膜复合体长期分离导致 RPE 功能下和外层光感受器死亡,同时大面积玻璃疣的患者更有可能进展为中晚期 ARMD^[27-28]。目前除了改变生活方式和补充维生素外,中

晚期 ARMD 治疗是有限的,SML 通过多个重复短脉冲传递能量作用于 RPE 层,而 SML 已被证实在许多视网膜疾病中有效^[29]。Huang 等^[30]的一项回顾性研究中纳入 16 例患有中度 ARMD 的玻璃膜疣样色素上皮脱离(drusenoid pigment epithelial detachment, D-PED)的 21 眼,根据 D-PED 的生长状态所有眼睛都接受了 577 nm SML 的多次治疗,SML 治疗间隔超过 3 mo,平均随访时间为 25.3 ± 12.6 (8-39) mo,通过体积变化及回归性分析确定 D-PED 病变的断点、生长和塌陷率,结果显示 577 nm SML 可加速 D-PED 自然过程中的塌陷率,另外脉络膜新生血管(4.8%)和脉络膜萎缩(14.3%)的发病率也低于 D-PED 自然病程期间的发病率,并且所有患者 BCVA 在基线和最终随访时均保持稳定。因此,我们可以推断 577 nm SML 通过避免 RPE 与潜在的布鲁赫膜(Bruch's membrane, BRM)/脉络膜毛细血管复合物长时间分离并减轻 RPE 损伤,缩短了部分 D-PED 病变的生命周期,也可以减轻 D-PED 患者进展为晚期 ARMD 的可能性和视力损失。Querques 等^[31]通过观察 ARMD 的黄斑区有 Drusen 的患者在使用 577 nm SML 激光治疗前后变化,结果显示黄斑区 Drusen 减少,同时患者基线视力未见明显下降。Luttrull 等^[32]通过纳入 12 例 13 眼均在接受 16-67(平均 34)次抗 VEGF 治疗后进行 SML 治疗并长期观察及随访 3-7(平均 5) mo,结果显示在 SML 治疗后,13 眼中有 12 眼(92%)改善,其中 9 眼(69%)黄斑渗出完全消退,视力保持不变,中央和最大黄斑厚度显著改善。SML 治疗可能通过调节 RPE 功能,恢复药物敏感性,从而逆转药物耐受性,同时 SML 可能通过激活 HSPs 来促进视网膜修复和保护,这为 ARMD 药物耐受性患者提供了一种新的治疗选择,同时可以预防或延缓疾病进展并改善视网膜功能。

2.5 MacTel2 MacTel2 是以黄斑部周围毛细血管扩张及神经上皮层萎缩为特征的一类疾病。MacTel2 被认为是多发于 50-60 岁中老年人的黄斑区神经退行性病变,可累及双眼,一般先后发病,常表现为视力下降、视野检查出现暗点、眼前黑影遮挡等症状。目前关于 MacTel2 的病理机制主要是 Müller 细胞退化破坏使视网膜-血屏障的完整性下降^[33-35]。临床上分为以血管扩张和黄斑区萎缩为特征的非增殖期和视网膜下新生血管为特征的增殖期^[36-37]。关于 MacTel2 的治疗方式,因分期而异,对于视网膜下新生血管 MacTel2,目前主要采用抗 VEGF 治疗。非增殖期目前主要采用局部视网膜光凝,但治疗效果尚不明确^[38]。局部激光光凝容易引起视网膜血管变形、产生更多纤维血管组织、视网膜色素上皮结块,同时更容易引起视网膜出血有关。577 nm 阈值下激光可作用于 RPE 层促进血-视网膜屏障修复,Lavinsky 等^[39]对 10 眼诊断为 MacTel2 的患眼持续使用阈值下微脉冲激光治疗,结果在这些患者中观察到视网膜内外腔隙减少,视网膜厚度保持不变,视力提高了 10 个字母。而目前没有对于非增殖 MacTel2 的推荐治疗,而关于它的最新研究进展仍在进行中,联合应用 577 nm SML 激光为治疗 MacTel2 提供新的思路。

2.6 视网膜脱离后 SRF 发生孔源性视网膜脱离(rhegmatogenous retinal detachment, RRD)时,液化的玻璃体通过视网膜裂孔进入神经上皮层与色素上皮层之间,形成 SRF。有研究证明随着 RRD 发病时间的延长,SRF 越黏稠,SRF 越难以吸收,而且时间延长也会导致 RPE 功能

受损严重,影响视网膜复位,最终影响视功能。SRF的自然吸收可能需要几个月甚至几年的时间^[40-42]。关于治疗视网膜脱离术后SRF,现阶段有通过口服选择性醛固酮受体拮抗剂依普利酮、PDT^[43]等,但是口服药物可能引起全身并发症,而PDT使用的光敏剂价格昂贵且疗效有限。577 nm SML在许多黄斑疾病中被证实是安全有效的,它可通过作用于RPE层促进视网膜外屏障修复。Esposti等^[44]研究通过对纳入的11例RRD术后持续性(12-18 mo)黄斑下液(persistent subfoveal fluid,PSF)存在患者使用577 nm SML治疗,在微脉冲模式下降低至阈值功率的70%达到治疗效果,选择直径为100 μm,持续时间为200 ms,工作占空比为5%。使用的功率为440-530 mW(平均466.3 mW),对整个SRF区域进行激光治疗,经过3-6 mo治疗后SRF较前明显减少,通过OCT测量CMT较前减少,BCVA较前显著提高,随访3 a,未出现SRF复发,该研究为SML治疗视网膜脱离后持续SRF提供了临床证据,研究结果支持SML激光作为一种安全有效的治疗方法。Chen等^[45]通过对24例RRD巩膜扣带术后持续性SRF随机分组进行577 nm SML治疗和假手术治疗,治疗6 mo后SML治疗组比假试验组黄斑区OCT体积明显减小且未出现并发症。577 nm SML能有效作用于RPE层加快SRF吸收,以上研究结果均支持微脉冲激光作为一种安全有效的治疗方法。但是也需要进一步的研究来验证其长期效果和安全性,并与其他治疗方法进行比较。

2.7 Irvine-Gass综合征 白内障手术后继发的黄斑水肿又称Irvine-Gass综合征,一般出现在手术后4-12 wk,导致视力下降、视物变形影响患者生活。这类型黄斑水肿通常被认为是由于炎症或手术引起眼内微环境改变而发生。现阶段治疗方法主要通过非甾体抗炎药物、碳酸酐酶抑制剂、皮质类固醇及抗VEGF治疗,但有部分患者可能出现治疗效果欠佳,反复发作,同时使用激素后少数患者可能出现眼压升高等不良反应^[46]。SML可以作用于RPE层诱导HSPs及细胞因子,刺激表达从而减轻炎症反应作用。钟雯等^[47]研究通过纳入24只Irvine-Gass综合征眼,均行BCVA检查及测量CMT、黄斑区视网膜容积(macular retinal volume,MRV),均使用577 nm SML治疗,对治疗后1、3 mo仍存在黄斑水肿的患者进行2次治疗,结果提示在治疗后与治疗前比较,治疗后1、3、6 mo患眼BCVA明显提高,CMT明显下降差异均有统计学意义($P<0.01$);以黄斑中心凹为圆心直径1、6 mm平均MRV均明显下降,差异有统计学意义,并且患眼平均治疗次数为1.25次,均无明显并发症。另外Verdina等^[48]发表了使用微脉冲激光治疗5例确诊Irvine-Gass综合征的患者,治疗后结果显示所有患者BCVA、CMT均得到有效改善,且效果持续长,所有的患者均未出现不良反应,平均治疗次数为1.3次。因此,577 nm SML能有效改善白内障术后黄斑水肿,安全有效且具有可重复性操作。

3 小结

虽然现阶段抗VEGF药物的不断出现,但视网膜激光治疗在眼底疾病中的治疗仍不可或缺。尤其对于波及黄斑的疾病中,SML与药物的联合治疗取得了较为明显的效果。577 nm SML能够较好地穿透视网膜到达脉络膜浅层,因此它对于黄斑区的疾病具有独特的优势。577 nm SML具有可重复性,且可以与其它治疗方式联合以达到损伤小、无疼痛、有效、减少治疗次数,降低治疗成本的作

用。但是,577 nm SML仍存在很多局限性,目前577 nm SML的治疗机制尚不完全清楚,对于各类疾病所需要的参数设置各不相同,因此还需要进行大量的临床研究探讨标准参数来保证安全有效。

利益冲突声明: 本文不存在利益冲突。

作者贡献声明: 高晓蓉论文选题与修改,初稿撰写;常鲁、熊帅、钱爱军、非云震、杨光珍文献检索;何玉清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] Iovino C, Iodice CM, Pisani D, et al. Yellow subthreshold micropulse laser in retinal diseases: an in-depth analysis and review of the literature. *Ophthalmol Ther*, 2023,12(3):1479-1500.
[2] 龙河,刘茂雄,胡庆华,等. 577nm 阈下微脉冲激光治疗视网膜疾病的研究进展. *国际眼科杂志*, 2024,24(5):753-757.
[3] Chhablani J. Subthreshold laser therapy guidelines for retinal diseases. *Eye*, 2022,36(12):2234-2235.
[4] Hirabayashi K, Kakihara S, Tanaka M, et al. Investigation of the therapeutic mechanism of subthreshold micropulse laser irradiation in retina. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2020,258(5):1039-1047.
[5] Sabal B, Teper S, Wylęgała E. Subthreshold micropulse laser for diabetic macular edema: a review. *J Clin Med*, 2022,12(1):274.
[6] Frizziero L, Calciati A, Midena G, et al. Subthreshold micropulse laser modulates retinal neuroinflammatory biomarkers in diabetic macular edema. *J Clin Med*, 2021,10(14):3134.
[7] 周静琳,李金香,曾琦. 577 nm 阈值下微脉冲激光联合抗VEGF药物治疗难治性糖尿病性黄斑水肿的疗效观察. *山东大学耳鼻喉眼学报*, 2024,38(2):18-25.
[8] Uzlu D, Erdöl H, Kola M, et al. The efficacy of subthreshold micropulse yellow laser (577 nm) in chronic central serous chorioretinopathy. *Lasers Med Sci*, 2021,36(5):981-988.
[9] Pauleikhoff L, Agostini H, Lange C. Central serous chorioretinopathy. *Der Ophthalmologe ; Zeitschrift der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft*, 2021,118(9):967-980.
[10] Li X, Long H, Hu QH. Efficacy of subthreshold micropulse laser for chronic central serous chorioretinopathy: a meta - analysis. *Photodiagnosis Photodyn Ther*, 2022,39:102931.
[11] Sim SY, Lim LT, Chaudhary S, et al. Update on subthreshold micropulse laser treatment for retinal diseases: a narrative review. *Surv Ophthalmol*, 2026,71(4):1044-1057.
[12] Oh JK, Diaconita V, Tezel TH. Central serous chorioretinopathy. *Atlas of Inherited Retinal Diseases*. Cham: Springer, 2025:277-280.
[13] Sitnilska V, Brocks U, Tode J, et al. Treatment of central serous chorioretinopathy in comparison - microsecond - pulse laser versus photodynamic therapy. *Ophthalmologie*, 2026,123(Suppl 2):97-105.
[14] Long H, Liu MX, Hu QH, et al. 577 nm subthreshold micropulse laser treatment for acute central serous chorioretinopathy: a comparative study. *BMC Ophthalmol*, 2022,22(1):105.
[15] Guo JJ, Li XJ, Wan JJ. Efficacy and safety of subthreshold micropulse laser in the treatment of acute central serous chorioretinopathy. *Int J Ophthalmol*, 2023,16(6):921-927.
[16] Sun YY, Zhao MW, Miao H, et al. Comparative efficacy of subthreshold micropulse laser versus conventional laser therapy in central serous chorioretinopathy. *Lasers Med Sci*, 2025,40(1):225.
[17] Bhatnagar A, Ting DSW, Weng CY. Treatment options for diabetic macular edema. *Int Ophthalmol Clin*, 2024,64(1):57-69.
[18] Bildirici Ç, Ozturk M, Önder F. Six-month results of 577 nm subthreshold micropulse laser therapy in non-center involving diabetic macular edema. *Photodiagnosis Photodyn Ther*, 2024,47:104084.
[19] Lubis PM, Prabaniswara MP, Victor AA. Comparison of

micropulse subthreshold laser plus anti-VEGF versus anti-VEGF alone in diabetic macular edema: Systematic review. *Indian J Ophthalmol*, 2023,71(11):3448–3453.

[20] Bonfiglio V, Rejdak R, Nowomiejska K, et al. Efficacy and safety of subthreshold micropulse yellow laser for persistent diabetic macular edema after vitrectomy: a pilot study. *Front Pharmacol*, 2022, 13: 832448.

[21] Vujosevic S, Frizziero L, Martini F, et al. Single retinal layer changes after subthreshold micropulse yellow laser in diabetic macular edema. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging Retina*, 2018, 49(11): e218–e225.

[22] Vujosevic S, Gatti V, Muraca A, et al. Optical coherence tomography angiography changes after subthreshold micropulse yellow laser in diabetic macular edema. *Retina*, 2020,40(2):312–321.

[23] Cai H, Tian M, Huang Z, et al. The efficacy and safety of intraocular anti-vegf injections versus anti-vegf combined with steroids or steroid monotherapy for macular edema secondary to retinal vein occlusion: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Front Med (lausanne)*, 2026,12:1727801.

[24] Cai X, Zhao J, Dang Y, et al. Combination therapy with anti-vegf and intravitreal dexamethasone implant for macular edema secondary to retinal vein occlusion. *Curr Eye Res*, 2024,49(8):872–878.

[25] Eng VA, Leng T. Subthreshold laser therapy for macular oedema from branch retinal vein occlusion: focused review. *Br J Ophthalmol*, 2020,104(9):1184–1189.

[26] Feng XX, Li YQ, Wu M, et al. Efficacy of subthreshold micropulse laser photocoagulation therapy versus anti-vascular endothelial growth factor therapy for refractory macular edema secondary to non-ischemic branch retinal vein occlusion. *J Int Med Res*, 2023, 51(8):3000605231194462.

[27] Ayachit A, Rao S, Egbal S, et al. Neovascular age-related macular degeneration management – Beyond anti-VEGF. *Indian J Ophthalmol*, 2026,74(5):653–660.

[28] Deng YH, Qiao LF, Du MY, et al. Age-related macular degeneration: Epidemiology, genetics, pathophysiology, diagnosis, and targeted therapy. *Genes Dis*, 2022,9(1):62–79.

[29] Drakon AK, Kurguzova AG, Sheludchenko VM, et al. Pharmacological and physiotherapeutic methods of treating non-exudative age-related macular degeneration. *Vestn Oftalmol*, 2021, 137(5): 262–267.

[30] Huang Z, Deng KY, Deng YM, et al. Long-term outcomes of drusenoid pigment epithelium detachment in intermediate AMD treated with 577 nm subthreshold micropulse laser: a preliminary clinical study. *Int J Ophthalmol*, 2022,15(3):474–482.

[31] Querques G, Sacconi R, Gelormini F, et al. Subthreshold laser treatment for reticular pseudodrusen secondary to age-related macular degeneration. *Sci Rep*, 2021,11:2193.

[32] Luttrull JK, Chang DB, Margolis BW, et al. Laser resensitization of medically unresponsive neovascular age-related macular degeneration: Efficacy and Implications. *Retina*, 2015,35(6):1184–1194.

[33] Gedik B, Erol MK, Bulut M, et al. Proximal nailfold

videocapillaroscopy findings of patients with idiopathic macular telangiectasia type 2. *Indian J Ophthalmol*, 2024, 72(Suppl 1): S148–S152.

[34] Pradhan A, Sen A, Chowdhury R, et al. Optical coherence tomography angiography characteristics of bilateral macular telangiectasia type 1: revealing the aneurysmo occlusive variety. *Retin Cases Brief Rep*, 2026,20(2):198–207.

[35] Chandran K, Giridhar A, Desai S, et al. Relevance of multicolor imaging, its component channels, and fundus autofluorescence in describing macular telangiectasia type-2 (MacTel) lesion characteristics. *Indian J Ophthalmol*, 2024,72(Suppl 1):S125–S134.

[36] Tapia Quijada HE, Mantolan Sarmiento C, Serrano García M, et al. Atypical bilateral presentation in idiopathic macular telangiectasia type 1. *Arch Soc Esp Oftalmol*, 2021,96(11):602–606.

[37] Venkatesh R, Reddy NG, Mishra P, et al. The preproliferative stage in type 2 macular telangiectasia (MacTel type 2). *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2022,260(1):121–132.

[38] Çoban Karataş M, Yılmaz G, Yüce Sezen A, et al. Clinical features of untreated type 2 macular telangiectasia and efficacy of anti-vascular endothelial growth factor therapy in macular neovascularization. *Turk J Ophthalmol*, 2022,52(1):45–49.

[39] Lavinsky D, Wang J, Huie P, et al. Nondamaging retinal laser therapy: rationale and applications to the macula. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2016,57(6):2488–2500.

[40] 陈元国, 栗江陵, 何玉清, 等. 孔源性视网膜脱离玻璃体切除术视网膜下液的研究进展. *临床眼科杂志*, 2024,32(5):461–464.

[41] Meng QY, Cheng ZX, Hao YH. The effect of subretinal fluid on macular microstructure and visual acuity after surgery for rhegmatogenous retinal detachment. *J Investig Surg*, 2026,39:2594557.

[42] Belin PJ, Mundae R, Tzu JH, et al. External drainage of subretinal fluid during rhegmatogenous retinal detachment repair. *Retina*, 2021,41(9):1828–1832.

[43] Kim JM, Lee EJ, Cho GE, et al. Delayed absorption of subretinal fluid after retinal reattachment surgery and associated choroidal features. *Korean J Ophthalmol*, 2017,31(5):402–411.

[44] Esposti G, Luigi Esposti P, Costantino F, et al. Subthreshold micropulse laser for long-lasting submacular fluid after rhegmatogenous retinal detachment surgery. *J Ophthalmic Vis Res*, 2022, 17(3): 390–396.

[45] Chen ZL, Wang Y, Wang G, et al. Safety and efficacy of subthreshold micropulse yellow laser for persistent subretinal fluid after scleral buckling a randomized clinical trial. *Sci Rep*, 2024,14:20874.

[46] Orski M, Gawęcki M. Current management options in Irvine-gass syndrome: a systemized review. *J Clin Med*, 2021,10(19):4375.

[47] 钟雯, 喻晓兵, 戴虹. 全黄斑覆盖微脉冲激光治疗继发于 Irvine-Gass 综合征的难治性黄斑水肿疗效观察. *中华眼底病杂志*, 2021,37(8):594–598.

[48] Verdina T, D'Aloisio R, Lazzarini A, et al. The role of subthreshold micropulse yellow laser as an alternative option for the treatment of refractory postoperative cystoid macular edema. *J Clin Med*, 2020,9(4):1066.