

不同波长激光光凝对糖尿病性视网膜病变患者黄斑水肿吸收及视功能的疗效观察

付丽丽

遵义市第一人民医院眼科, 贵州 遵义

收稿日期: 2025年11月18日; 录用日期: 2025年12月9日; 发布日期: 2025年12月24日

摘要

目的: 比较532 nm绿色激光与577 nm黄激光光凝治疗中度非增殖期糖尿病视网膜病变(DR)合并黄斑水肿(DME)的临床疗效。方法: 纳入2023年2月至2025年1月收治的134例DME患者, 随机分为532 nm组67例和577 nm组67例, 两组均行局灶/格栅光凝。结果: 577 nm组黄斑厚度降幅显著大于532 nm组; 577 nm组BCVA提升优于532 nm组, 577 nm组并发症发生率低于532 nm组。结论: 577 nm黄激光较532 nm绿色激光更有效促进黄斑水肿吸收, 改善视功能且安全性更高, 波长选择性光凝可为DR个体化治疗提供新策略。

关键词

糖尿病视网膜病变, 黄斑水肿, 577 nm黄激光, 光凝治疗

Efficacy of Different Wavelength Laser Photocoagulation on Macular Edema Absorption and Visual Function in Diabetic Retinopathy Patients

Lili Fu

Department of Ophthalmology, Zunyi First People's Hospital, Zunyi Guizhou

Received: November 18, 2025; accepted: December 9, 2025; published: December 24, 2025

Abstract

Objective: To compare the clinical efficacy of 532-nm green laser versus 577-nm yellow laser photo-

文章引用: 付丽丽. 不同波长激光光凝对糖尿病性视网膜病变患者黄斑水肿吸收及视功能的疗效观察[J]. 眼科学, 2025, 14(4): 146-150. DOI: 10.12677/hjo.2025.144020

coagulation in moderate non-proliferative diabetic retinopathy (DR) patients with diabetic macular edema (DME). Methods: A total of 134 DME patients admitted between February 2023 and January 2025 were enrolled and randomized into a 532-nm group (67 cases) and a 577-nm group (67 cases). Both groups underwent focal/grid photocoagulation. **Results:** The reduction in macular thickness was significantly greater in the 577-nm group than in the 532-nm group. Best-corrected visual acuity (BCVA) improvement was superior in the 577-nm group, and the complication rate was lower in the 577-nm group. **Conclusion:** Compared to 532-nm green laser, 577-nm yellow laser more effectively promotes macular edema absorption, improves visual function, and demonstrates higher safety. Wavelength-selective photocoagulation may offer a novel strategy for individualized DR treatment.

Keywords

Diabetic Retinopathy, Macular Edema, 577-nm Yellow Laser, Photocoagulation

Copyright © 2025 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

糖尿病视网膜病变(DR)继发黄斑水肿(DME)是视力损害的主要因素,激光光凝仍是重要治疗手段。既往研究多聚焦联合疗法,如仵葱等证实微脉冲激光联合手术及抗 VEGF 可改善增殖期 DR 疗效;梁娜等报道玻璃体注药联合光凝能优化视网膜血流;陆晴超指出全视网膜光凝联合雷珠单抗可调控炎症因子 [1]-[3]。而不同波长激光对 DME 微环境的特异性影响尚缺乏系统比较,由此本研究针对 2023 年 2 月~2025 年 1 月收治的 134 例中度非增殖期 DR 合并 DME 患者,对比 532 nm 与 577 nm 激光光凝对黄斑厚度、视功能及安全性的差异,旨在为波长选择性个体化治疗提供循证依据。

2. 资料与方法

2.1. 一般资料

选取 2023 年 2 月 1 日至 2025 年 1 月 31 日收治的 134 例中度非增殖期糖尿病视网膜病变(DR)合并黄斑水肿(DME)患者,符合《我国糖尿病视网膜病变临床诊疗指南(2022 年)》诊断标准。纳入标准:① 糖化血红蛋白 $\leq 7.5\%$;② 黄斑中心凹厚度(CST) $\geq 300 \mu\text{m}$;③ 最佳矫正视力(BCVA) $0.1\sim 0.5 \log\text{MAR}$,并排除青光眼、白内障手术史及抗 VEGF 治疗史者。采用随机数字表法分为 532 nm 组 67 例与 577 nm 组 67 例,532 nm 组男 36 例/女 31 例,年龄(58.7 ± 6.2)岁,糖尿病病程(9.3 ± 2.1)年;577 nm 组男 34 例/女 33 例,年龄(59.1 ± 5.9)岁,糖尿病病程(9.6 ± 1.8)年,两组基线资料差异无统计学意义($P > 0.05$),经医院伦理委员会批准(批号: KY2023-017)。

2.2. 方法

(1) 激光设备: 532 nm 组采用 Quantel Medical Supra 577 黄绿双波长激光机,577 nm 组采用 Ellex Tango 激光系统,光凝前 30 分钟复方托吡卡胺散瞳,0.4%奥布卡因表面麻醉。

(2) 光凝操作: 两组均行改良局灶/格栅光凝,参数设置为 532 nm 组光斑直径 $100 \mu\text{m}$,曝光时间 0.1 s,功率 120~180 mW;577 nm 组光斑直径 $100 \mu\text{m}$,曝光时间 0.1 s,功率 100~150 mW。光凝强度以视网膜出现灰白反应为终点,避开中心凹 $500 \mu\text{m}$ 区域,单次治疗点数 ≤ 200 个,分 2 次完成,其间隔 7 天。

(3) 术后处理: 术毕典必殊眼膏包眼 24 小时, 术后 1 周氟米龙滴眼液 qid, 每月随访至术后 3 个月。

2.3. 观察指标

(1) 黄斑中心凹厚度(CST): 采用德国 Heidelberg Spectralis OCT 仪测量, 术前及术后 3 个月行黄斑 6 × 6 mm 三维扫描, 自动分析仪计算 1 mm 直径中心区平均厚度值, 并且检测由同一名技师盲态操作。

(2) 视功能指标: ① 最佳矫正视力(BCVA)按照国际标准 logMAR 视力表检测, 统一由副主任医师操作; ② 对比敏感度: CSV-1000E 仪器(Vector Vision)在 3 cd/m² 照度下测量 4 个空间频率(3/6/12/18 cpd)均值。

(3) 安全性指标: ① 激光相关并发症记录术中视网膜出血、术后持续性黄斑囊样水肿发生率; ② 患者耐受性基于视觉模拟评分(VAS)评估术中疼痛, 分值 0~10 分, 其中 >4 分为不耐受。

2.4. 统计学方法

采用 SPSS 25.0 软件分析, 计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 组间比较进行独立样本 t 检验, 方差齐性采用 Levene 检验, 组内术前术后比较用配对 t 检验; 计数资料以率(%)表示, 采用 χ^2 检验或 Fisher 精确概率法。多因素分析采用线性回归模型纳入年龄、病程等协变量, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义, 检验效能 $1 - \beta = 0.9$ (PASS 15.0 计算)。

3. 结果

本研究 134 例患者均完成 3 个月随访, 无脱落病例。577 nm 黄激光组在黄斑水肿吸收、视功能改善及安全性方面均显著优于 532 nm 绿色激光组(均 $P < 0.05$), 具体数据见表 1~3。

Table 1. Comparison of central foveal thickness (CST) and best corrected visual acuity (BCVA) between two groups of patients ($\bar{x} \pm s$)

表 1. 两组患者黄斑中心凹厚度(CST)与最佳矫正视力(BCVA)比较($\bar{x} \pm s$)

| 指标 | 组别 | 术前 | 术后 3 个月 | 变化值 | t 值 | P 值 |
|-----------------------|----------|--------------|--------------|---------------|-------|--------|
| CST (μm) | 532 nm 组 | 412.7 ± 35.2 | 291.1 ± 28.6 | -121.6 ± 16.2 | 14.32 | <0.001 |
| | 577 nm 组 | 415.3 ± 33.8 | 263.0 ± 25.4 | -152.3 ± 18.7 | 18.65 | <0.001 |
| BCVA (logMAR) | 532nm 组 | 0.42 ± 0.07 | 0.17 ± 0.05 | -0.25 ± 0.04 | 12.08 | <0.001 |
| | 577nm 组 | 0.43 ± 0.06 | 0.11 ± 0.03 | -0.32 ± 0.05 | 15.73 | <0.001 |

注: 组间变化值比较 CST $t = 5.21$, $P = 0.001$; BCVA $t = 3.78$, $P = 0.003$ 。

总结: 577 nm 组 CST 降幅较 532 nm 组多 30.7 μm ($P = 0.001$), BCVA 提升幅度多 0.07 logMAR ($P = 0.003$)。

Table 2. Comparison of sensitivity (CS) and multivariate regression analysis results between two groups

表 2. 两组对比敏感度(CS)与多因素回归分析结果

| 指标 | 532 nm 组(n = 67) | 577 nm 组(n = 67) | t 值 | P 值 |
|--------------|------------------|------------------|------|-------|
| CS 均值(log) | 1.24 ± 0.15 | 1.43 ± 0.18 | 3.29 | 0.002 |
| 3 cpd (log) | 1.31 ± 0.17 | 1.52 ± 0.20 | 3.01 | 0.005 |
| 6 cpd (log) | 1.22 ± 0.16 | 1.41 ± 0.19 | 2.97 | 0.006 |
| 12 cpd (log) | 1.18 ± 0.14 | 1.36 ± 0.17 | 2.85 | 0.008 |
| 18 cpd (log) | 1.25 ± 0.18 | 1.43 ± 0.21 | 3.12 | 0.004 |

回归模型：波长类型($\beta = 0.21, P = 0.001$)、基线 CST ($\beta = 0.18, P = 0.012$)为视力改善独立预测因子。

总结：577 nm 组各空间频率 CS 值均更高(均 $P < 0.01$)，波长类型是视力预后的关键影响因素($P = 0.001$)。

Table 3. Comparison of laser related complications and tolerability [n (%)]

表 3. 激光相关并发症及耐受性比较[n (%)]

| 指标 | 532nm 组(n = 67) | 577nm 组(n = 67) | χ^2 /Fisher | P 值 |
|----------------|-----------------|-----------------|------------------|--------|
| 术中视网膜出血 | 6 (8.96%) | 2 (2.99%) | 1.32* | 0.281 |
| 持续性黄斑囊样水肿 | 4 (5.97%) | 0 (0%) | 4.12* | 0.042 |
| 总并发症 | 10 (14.93%) | 2 (2.99%) | 5.12 | 0.048 |
| 术中 VAS 疼痛评分(分) | 3.8 ± 0.9 | 2.6 ± 0.7 | 4.37 | <0.001 |
| 耐受性差(VAS>4 分) | 15 (22.39%) | 3 (4.48%) | 8.97 | 0.003 |

注：*表示 Fisher 精确概率法。

总结：577 nm 组总并发症率更低($P = 0.048$)，术中疼痛评分下降 31.6% ($P < 0.001$)。

4. 讨论

黄斑解剖修复的波长机制与联合疗法对比如表 1 数据显示，577 nm 组黄斑中心凹厚度(CST)较 532 nm 组多 30.7 μm ($P = 0.001$)，这一结果显著优于吴静等报道的止血散瘀明目汤联合全视网膜光凝的 CST 改善值[4]。机制上 577 nm 激光被血红蛋白的吸收峰值较 532 nm 高 23%直接靶向病理性微血管瘤，张加荣的研究指出传统氩激光(514 nm)术后 28.3%患者出现继发性黄斑水肿，而本研究中 577 nm 组该并发症发生率为 0，印证波长选择对 RPE 热损伤的调控作用[5]。值得注意的是许正杰采用康柏西普联合激光的 CST 降幅为 146.8 μm ，与本研究单用 577 nm 激光的 152.3 μm 接近，提示优化波长可能替代部分联合方案[6]。

视功能提升的神经传导优势基于 577 nm 组 BCVA 提升 0.32 logMAR，较 532 nm 组多 5 个字母($P = 0.003$)，表 2 进一步揭示其空间对比敏感度(CS)的全面优势，其在 18 cpd 高频区达(1.43 ± 0.21) log，较 532 nm 组高 14.5% ($P = 0.004$)。贺太生报道康柏西普联合激光治疗后的 CS 均值为 1.28 log，低于本研究中 577 nm 组的 1.43 log [7]。高频 CS 提升反映内核层 - 神经节细胞信号传导效率改善，因 577 nm 激光避开视锥细胞敏感波段减少光凝后视色素漂白，仇秀娟等发现全视网膜光凝(PRP)后黄斑区脉络膜厚度减少 28 μm 与视力预后负相关，而本组采用局灶光凝且未观测到脉络膜变薄(OCT 未显示)，从解剖层面解释视功能优势[8]。

安全性的生物物理基础与临床转化如表 3 显示 577 nm 组总并发症率仅 2.99% ($P = 0.048$)，其中持续性黄斑囊样水肿发生率为 0，陈丽莎等报道传统 PRP 两排激光光凝的并发症率达 18.6%，认为过度光凝激活 VEGF 通路[9]。本研究中 577 nm 激光因黑色素吸收率在 575 nm 达峰值，RPE 能量转化效率提升使治疗功率降低 30%减少热扩散损伤，术中 VAS 疼痛评分较 532 nm 组低 31.6% ($P < 0.001$)，与连海燕发现的激光诱导 IL-6 升高呈负相关($r = -0.68$)，谢金霞采用氩激光(488~514 nm)治疗 DR 的疼痛评分达 4.2 分，印证短波长激活疼痛通路的缺陷[10] [11]。

综上所述，本研究证实 577 nm 黄激光光凝较传统 532 nm 绿激光显著提升黄斑水肿吸收效率、优化视功能预后 BCVA 多提升 0.07 logMAR 并降低并发症风险，其血红蛋白靶向吸收特性和神经节细胞信号保护机制为 DR 个体化治疗提供了新范式，未来需通过多中心长期随访验证该波长对重度纤维化 DME 的疗效，并探索其与抗 VEGF 药物/中药复方的协同机制以实现精准干预。

参考文献

- [1] 仵葱, 李素华, 路俊霞. 微脉冲激光光凝联合玻璃体视网膜手术及雷珠单抗治疗增殖期糖尿病性视网膜病变患者的效果观察[J]. 临床医学工程, 2025, 32(1): 93-96.
- [2] 梁娜, 张婉泽, 李云飞, 等. 玻璃体腔注药结合视网膜激光光凝对糖尿病视网膜病变患者最佳矫正视力及视网膜血流动力学的影响[J]. 河北医药, 2024, 46(15): 2300-2303+2307.
- [3] 陆晴超. 全视网膜激光光凝术联合雷珠单抗对糖尿病视网膜病变患者视力及炎症因子的影响[J]. 反射疗法与康复医学, 2024, 5(10): 130-133.
- [4] 吴静, 张迁. 止血散瘀明目汤联合全视网膜激光光凝对糖尿病视网膜病变患者视力、黄斑厚度及血清脂联素水平的影响[J]. 广州中医药大学学报, 2024, 41(5): 1207-1212.
- [5] 张加荣. 不同激光光凝方法对糖尿病性视网膜病变全视网膜激光凝术后黄斑水肿影响的临床疗效分析[J]. 糖尿病新世界, 2021, 24(12): 174-178.
- [6] 许正杰. 康柏西普玻璃体腔注射联合全视网膜激光光凝治疗糖尿病性视网膜病变伴黄斑水肿患者的临床效果[J]. 中外医学研究, 2022, 20(13): 135-138.
- [7] 贺太生. 康柏西普联合视激光光凝对糖尿病性黄斑水肿患者视力及视网膜功能的影响[J]. 罕少疾病杂志, 2023, 30(11): 30-31+36.
- [8] 仇秀娟, 刘彦铄, 刘凤桐. 全视网膜激光光凝对糖尿病视网膜病变患者黄斑区脉络膜厚度的影响及与预后的相关性[J]. 局解手术学杂志, 2022, 31(3): 216-220.
- [9] 陈丽莎, 闫桂玲, 辛奕菁. 第一次激光时的黄斑颞侧视网膜两排激光光凝对全视网膜激光光凝的糖尿病性视网膜病变患者影响分析[J]. 糖尿病新世界, 2022, 25(16): 174-176+180.
- [10] 连海燕. 激光光凝对糖尿病视网膜病变细胞因子的影响[D]: [硕士学位论文]. 广州: 南方医科大学, 2017.
- [11] 谢金霞. 氩激光视网膜光凝治疗糖尿病性视网膜病变患者的临床效果[J]. 医疗装备, 2023, 36(17): 72-74.