

红光治疗对近视儿童等效球镜度、眼轴长度及脉络膜厚度影响的 Meta 分析

李颯, 刘鹤, 曹文捷

上海健康医学院附属嘉定区中心医院 眼科, 上海 201800

摘要: **目的** 探讨红光治疗对于近视儿童等效球镜度、眼轴长度及脉络膜厚度的影响。 **方法** 检索 PubMed、Web of Science、Cochrane Library、Embase、中国知网、万方数据库、中国生物医学文献数据库、维普网、临床试验注册中心从建库至 2022 年 10 月 28 日期间发表的关于红光治疗近视的研究。使用 Cochrane 手册对纳入文献进行偏倚风险评价及质量评价, 并使用 Revman 5.3 软件进行 Meta 分析、STATA 12.0 软件检测发表偏倚。 **结果** 共计纳入 9 篇文献(1 425 只眼), 其中 6 项为随机对照试验, 3 项为队列研究。Meta 分析显示, 红光治疗对等效球镜度(spherical equivalent, SE)及眼轴(axial length, AL)增加的抑制效果好于单光镜治疗(SE: $WMD = 0.41$, 95% CI 为 $0.29 \sim 0.54$, $I^2 = 65\%$, $P < 0.000 01$; AL: $WMD = -0.21$, 95% CI 为 $-0.26 \sim -0.15$, $I^2 = 73\%$, $P < 0.000 01$), 红光治疗对脉络膜厚度(choroidal thickness, CHT)的增加优于单光镜治疗($WMD = 26.05$, 95% CI : $22.11 \sim 29.99$, $I^2 = 45\%$, $P < 0.000 01$)。 **结论** 红光治疗疗效优于单光镜治疗, 但长期使用不良反应仍有待进一步观察。

关键词: 红光治疗; 近视; 眼轴; 等效球镜度; 脉络膜厚度; Meta 分析

中图分类号: R778.1

文献标志码: A

文章编号: 1673-3770(2024)03-0074-08

引用格式: 李颯, 刘鹤, 曹文捷. 红光治疗对近视儿童等效球镜度、眼轴长度及脉络膜厚度影响的 Meta 分析[J]. 山东大学耳鼻喉眼学报, 2024, 38(3):74-81. LI Yang, LIU Dong, CAO Wenjie. Meta-analysis of the effect of red-light therapy on spherical equivalent, axial length, and choroidal thickness in myopic children[J]. Journal of Otolaryngology and Ophthalmology of Shandong University, 2024, 38(3):74-81.

Meta-analysis of the effect of red-light therapy on spherical equivalent, axial length, and choroidal thickness in myopic children

LI Yang, LIU Dong, CAO Wenjie

Department of Ophthalmology, Jiangding Distric Central Hospital Affiliated Shanghai University of Medicine & Health Science, Shanghai 201800, China

Abstract: **Objective** To explore the effect of red-light therapy on equivalent sphere, axial length and choroidal thickness in myopic children. **Methods** We searched PubMed, Web of Science, Cochrane Library, Embase, CNKI, Wanfang, CBM, Vip, and Clinical trial registry on red-light therapy for myopia control published from the establishment of the database to October 28, 2022. The Cochrane Handbook was used for risk of bias and quality evaluation of the included literature, and Revman 5.3 software was used for Meta-analysis, and STATA 12.0 software was used to detect publication bias. **Results** A total of 1425 eyes from nine articles were included, of which five were randomized controlled trials and three were control studies. Meta-analysis showed that the inhibitory effect of red-light on the increase in spherical equivalent (SE) and axial length (AL) was better than that of the single-focus spectacles group (SE: $WMD = 0.41$, 95% CI : $0.29-0.54$, $I^2 = 65\%$, $P < 0.000 01$; AL: $WMD = -0.21$, 95% CI : $-0.26 \sim -0.15$, $I^2 = 73\%$, $P < 0.000 01$), the increase of choroidal thickness (CHT) in red-light therapy group was superior to that in single-focus spectacles group ($WMD = 26.05$, 95% CI : $22.11-29.99$, $I^2 = 45\%$, $P < 0.000 01$). **Conclusion** The control effect of red-light therapy was better than that of the single-focus spectacles, but long-term use of adverse reations still need to be further observed.

Key words: Red-light therapy; Myopia; Axis length; Spherical equivalent; Choroidal thickness; Meta-analysis

预计到 2050 年,全球范围内将有 50 亿近视人群和 10 亿高度近视人群^[1]。眼轴(axial length, AL)增长导致的高度近视会引起眼部组织尤其是眼底的病理性改变,常常伴随着开角型青光眼、近视性黄斑变性、视网膜脱离、脉络膜新生血管等一系列并发症,因此有效控制近视的发展对保持眼睛健康和生活质量至关重要^[2]。脉络膜是位于视网膜和巩膜之间的一个高度血管化的组织层,对于调节巩膜新陈代谢以及进一步影响细胞外间质重塑方面起着关键作用,而巩膜缺氧微环境会诱导 AL 的增长、近视的发生。脉络膜的增厚可能与巩膜大分子的合成机制有关,因此在眼球生长的稳态控制中可能起着重要作用。控制近视的最终目的就是为了控制眼球的生长。临床试验表明^[3],控制近视的有效方法包括阿托品、角膜塑形镜和周边离焦矫正隐形眼镜,然而,现有的治疗方法并不一定适用于所有近视儿童,其临床使用受到年龄、近视程度和其他因素的限制。此外,不同方法减缓近视进展的有效性存在个体差异。

室外光可以降低儿童近视的患病率^[4]。动物实验表明^[5],高强度的环境光可以减缓恒河猴近视的进展。光对屈光发育的影响受波长、强度和其他性质的影响^[6-7],研究表明^[8],与其他波长相比,红光在减少恒河猴近视进展方面更有效。增加室外明亮光线的的时间已经被确定为一个有效的保护因素^[9],作为一种补充室外光照的替代方案,有研究^[10]建议使用波长为 650 nm 的红光装置对视网膜进行短时间的直接照射以控制近视。650 nm 的红光治疗仪曾广泛应用于弱视治疗,治疗过程中观察到脉络膜厚度(choroidal thickness, CHT)和血流量的增加,以及 AL 增长的稳定。CHT 的增加可能在眼球生长的稳态控制中起着重要作用。数篇已发表的报告显示^[11-15],650 nm 红光治疗在控制眼轴生长和防止等效球镜度(spherical equivalent, SE)增加方面有明显的疗效,然而这些研究的样本量较少,且缺乏系统评价。鉴于此,本研究采用 Meta 分析综合红光治疗对 SE、AL 及 CHT 的影响,为进一步探讨红光治疗对近视防控的作用机制及可行性提供循证依据。

1 资料与方法

1.1 资料

检索 PubMed、Web of Science、Cochrane Library、Embase、中国知网、万方数据库、中国生物医学文献数据库、维普网、临床试验注册中心从建库至 2022

年 10 月 28 日期间发表的关于红光治疗进行近视控制的研究。英文检索关键词包括“myopia”“refractive error”“red light”“spherical equivalent”“axial length”“choroidal thickness”“correct”“control”“therapy”“treatment”。中文检索关键词包括“近视”“屈光不正”“红光治疗”“等效球镜度”“眼轴”“脉络膜厚度”“矫正”“控制”“治疗”。

纳入标准:①研究选取随机对照试验(randomized controlled trial, RCT)及队列研究;②<18 岁的近视学龄儿童(等效球镜度:-0.50~-10 m⁻¹),双眼散光-2.50 m⁻¹及以下,双眼屈光参差≤1.50 m⁻¹,最佳矫正视力为 5.0 及以上;③研究分为红光治疗组(干预措施为波长为 635~650 nm,2 次/d,每次 3 min,2 次光照时间间隔 4 h 以上)与单光镜治疗组(单纯配戴传统单焦框架眼镜患者);④结局指标为 SE、AL 和 CHT,指标完整;⑤随访周期≥6 个月。排除标准:①眼部疾病如斜视或弱视,以及更严重的全身性疾病如内分泌、心脏及呼吸系统疾病;②既往或正在使用阿托品、渐进性近视镜片或角膜塑形术治疗;③影响眼底正常结构的眼部疾病如视网膜色素上皮增生、黄斑前膜等;④畏光、注意力缺陷和多动症等。⑤无法提供完整数据的文献;⑥会议报告。

1.2 方法

1.2.1 文献筛选流程及资料提取

文献的筛选由两位独立研究人员完成,如果数据提取、文献质量评价争议较大时,交由第三位研究人员决定是否选用。

1.2.2 文献质量评价

为了评估纳入文献的偏倚风险和质量,两位独立研究人员独立使用 Revman 软件内置的 Cochrane 偏倚风险评估工具,根据《Cochrane 干预措施系统评价手册》的标准,从随机分配方法、分配方案隐藏、盲法、结果数据完整性、选择性研究报告及其他偏倚来源等方面进行定性判断,并将风险等级划分为高、低或不清楚。随机分配偏倚风险的评定如下:若文献明确提及随机分配,则为低风险;若未提及随机分配,则视为高风险。对于分配方案隐藏的偏倚风险,若文献中注明分配隐藏,则为低风险;若未注明,则评定为不清楚;队列研究归为高风险。在盲法偏倚风险的评定中,若文献中注明使用盲法,则为低风险;若未注明,则评定为不清楚,队列研究同样归为高风险。所有研究结果数据均完整,完整性风险评定为低。由于所有研究结局指标统一,选择性研究报告风险也被评定为低。其他偏倚均评为低风险。

1.3 统计学处理

采用 Revman5.3 软件完成 Meta 分析。数据采用 $\bar{x} \pm s$ 表示, 计算各个组的加权均数标准差 (weighted mean differences, *WMD*) 和 95% 置信区间 (confidence intervals, *CI*), 评估红光治疗组与单光镜治疗组治疗前、治疗后 6 个月 SE、AL 和 CHT 的变化效应值指标, 检验水准为 $\alpha = 0.05$ 。研究组的异质性检验采用 I^2 , 若 $I^2 \leq 50\%$ 表明异质性不具有统计学意义, 使用固定效应模型进行分析; 若 $I^2 > 50\%$ 表明各项研究间的异质性具有统计学意义, 使用随机效应模型进行分析; 采用剔除法进行敏感性分析, 连续变量的效应量指标为均数差 (mean

difference, *MD*) 并计算 95% *CI*; 发表偏倚采用 STA-TA 12.0 软件进行 Egger 检验。

2 结果

2.1 文献检索结果

共检索出相关文献 2 221 篇, 其中中文文献 363 篇、英文文献 1 858 篇, 去重、阅读标题和摘要后纳入文献 398 篇, 阅读全文后排除不相关或无法进行数据提取的文献, 纳入 18 篇文献, 剔除与纳入标准不符的文献, 最终纳入 9 篇, 文献筛选流程见图 1。

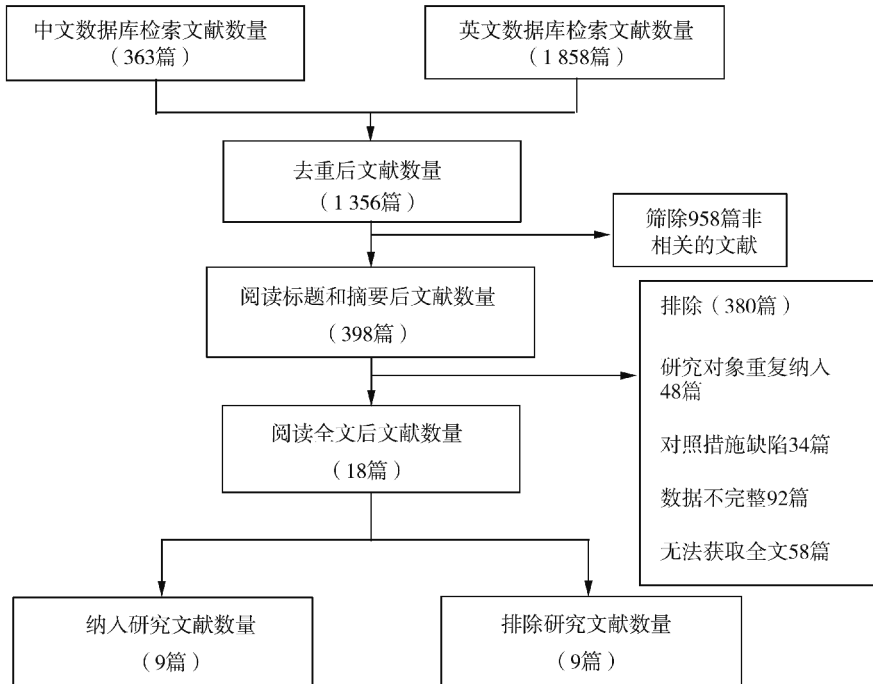


图 1 文献筛选流程
Figure 1 Literature screening process

2.2 纳入研究基本特征及文献偏倚质量评价

在符合纳入标准的 9 篇文献中, 包括 6 篇 RCT 和 3 篇队列研究 (其中 2 篇采用前瞻性设计, 1 篇为回顾性研究), 纳入研究的基本特征见表 1。文献质量评价结果显示 (图 2), 6 项 RCT 均采用了随机分

配, 结局数据报道完整, 并排除失访病例对结局指标的影响, 因此这些研究的偏倚风险被认为是较低的。有 3 篇采用队列研究, 患者或其家属在充分了解研究目的后自行选择治疗方式, 偏倚风险较高。

表 1 纳入研究基本特征
Table 1 Basic features of the study

文献	研究类型	眼别	样本量/例		年龄/岁		等效球镜度/ m^{-1}		眼轴长度/mm		脉络膜厚度/ μm		红光波长/nm	随访时间/月
			红光治疗组	单光镜治疗组	红光治疗组	单光镜治疗组	红光治疗组	单光镜治疗组	红光治疗组	单光镜治疗组	红光治疗组	单光镜治疗组		
Xiong 等 ^[16]	随机对照研究	左眼	74	74	7~15	7~14					288.61±59.59	286.81±63.67	650±10	6
Dong 等 ^[12]	随机对照研究	双眼均值	53	55	7~12	7~12	-3.13±1.91	-2.82±1.86	24.7±1.04	24.60±0.96			650	6
Tian 等 ^[13]	随机对照研究	右眼	91	88	6~12	6~12	-2.00±1.48	-2.00±1.11	24.31±0.92	24.20±0.85	290.50±81.85	296.00±80.00	650	6

续表

文献	研究类型	眼别	样本量/例		年龄/岁		等效球镜度/ m^{-1}		眼轴长度/mm		脉络膜厚度/ μm		红光波长/nm	随访时间/月
			红光治疗组	单光镜治疗组	红光治疗组	单光镜治疗组	红光治疗组	单光镜治疗组	红光治疗组	单光镜治疗组	红光治疗组	单光镜治疗组		
Zhou 等 ^[14]	队列研究	右眼	105	56	4~13	3~14	-3.09±1.74	-3.11±1.66	24.76±1.28	24.75±1.35			635	6,9
Jiang 等 ^[15]	随机对照研究	右眼	117	129	8~13	8~13	-2.49±0.92	-2.61±1.04	24.54±0.67	24.62±0.87	215.31±58.52	215.50±57.71	650	6,12
刘丹 等 ^[17]	随机对照研究	右眼/左眼	102	105	7~14	7~14	-1.75±0.93	-1.25±1.11	24.19±0.78	24.17±0.86	249.58±40.42	252.78±48.87	650	6
赖伟霞 等 ^[18]	队列研究	右眼	11	5	3~10	3~10	-6.36±0.30	-6.28±0.34	25.60±1.06	25.38±0.87			650	6
闫艺 等 ^[11]	随机对照研究	右眼	60	60	7~12	7~12	-2.52±1.15	-2.53±1.15	24.24±10.92	24.37±0.79			650	6,12
陈培正 等 ^[19]	队列研究	右/左	120	120	3~15	3~15	-2.28	-3.70	23.78	24.40			650	6

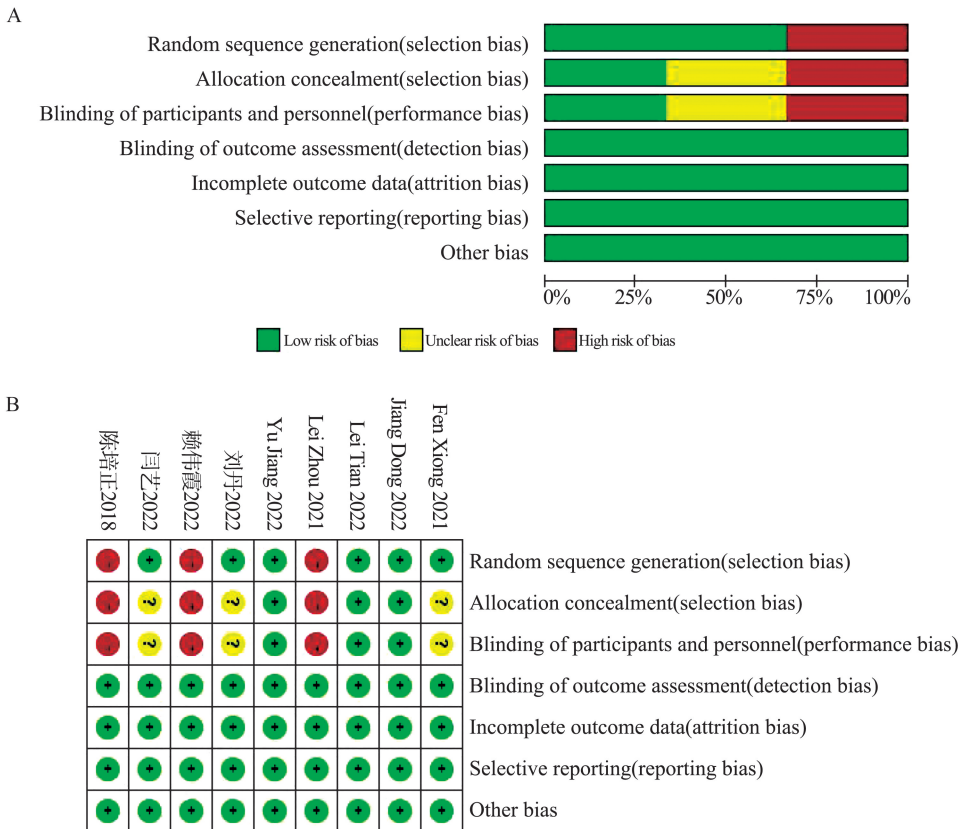


图 2 文献质量评估篇
 A: 偏倚风险百分图; B: 偏倚风险总结图

Figure 2 Literature quality assessment
 A: Bias risk percentage graph; B: Bias risk summary chart

2.3 Meta 分析结果

2.3.1 SE

8 项研究对红光治疗组及单光镜治疗组治疗前、治疗后 6 个月 SE 的差值变化进行分析,正值代表远视漂移改变,负值代表近视漂移改变,由于各研

究之间存在一定程度的异质性 ($I^2 = 65\%$),因此采用随机效应模型进行 Meta 分析。结果显示,红光治疗组对 SE 抑制效果优于单光镜治疗组,差异具有统计学意义 ($WMD = 0.41, 95\% CI: 0.29 \sim 0.54, P < 0.000 01$),见图 3。

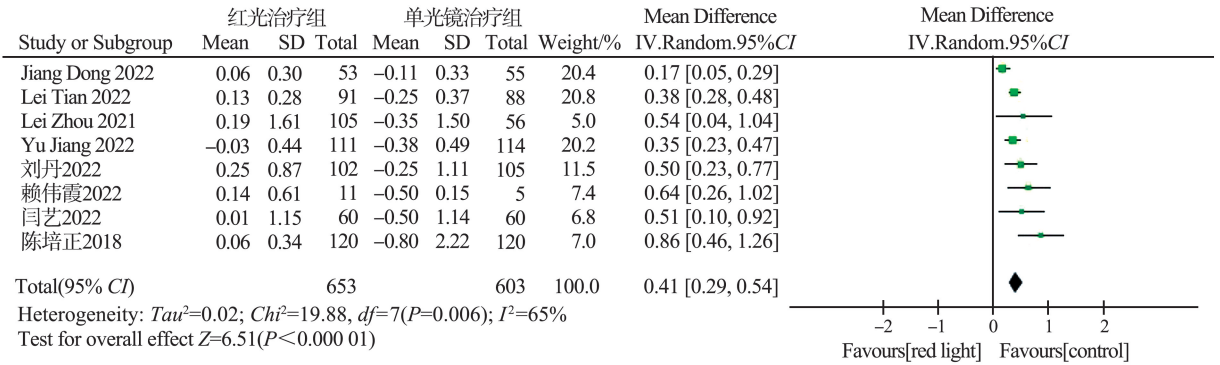


图 3 红光治疗组及单光镜治疗组对 SE 影响的比较

Figure 3 Comparison of the effects of red-light therapy group and single-focus spectacles group on SE

2.3.2 AL

8 项研究对红光治疗组及单光镜治疗组治疗前、治疗后 6 个月 AL 的差值变化进行分析,正值代表眼轴增长,负值代表眼轴缩短,各研究之间有异质

性 ($I^2 = 73%$),故采用随机效应模型进行分析。Meta 分析结果显示,红光治疗对 AL 抑制效果优于单光镜治疗组,差异有统计学意义 ($WMD = -0.21$, $95%CI: -0.26 \sim -0.15$, $P<0.00001$),见图 4。

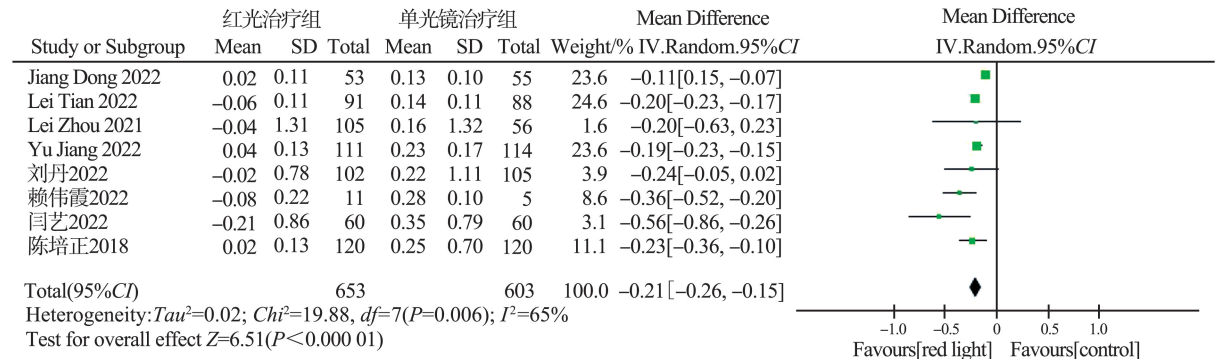


图 4 红光治疗组及单光镜治疗组对 AL 影响的比较

Figure 4 Comparison of the effects of red-light therapy group and single-focus spectacles group on AL

2.3.3 CHT

4 项研究对红光治疗组及单光镜治疗组治疗前、治疗后 6 个月 CHT 的差值变化进行分析,正值代表脉络膜增厚,负值代表脉络膜变薄,各研究间无异质性 ($I^2 = 45%$),因此采用固定效应模型进行

分析。Meta 分析结果显示红光治疗对 CHT 的增加效果优于对照组,差异有统计学意义 ($WMD = 26.05$, $95%CI: 22.11 \sim 29.99$, $I^2 = 45%$, $P<0.00001$),见图 5。

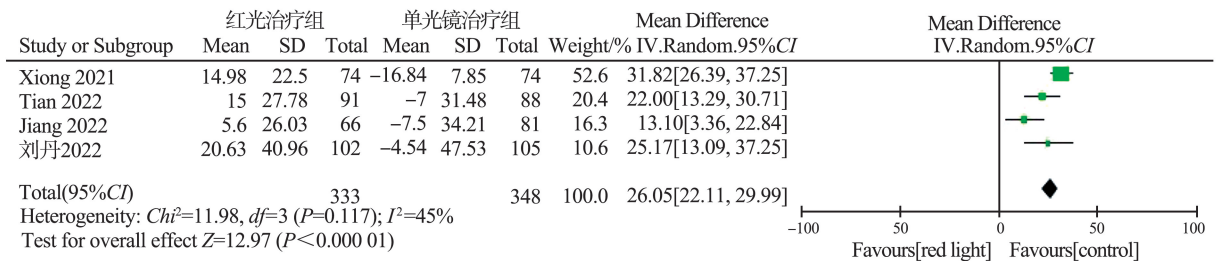


图 5 红光治疗组及单光镜治疗组对 CHT 影响的比较

Figure 5 Comparison of the effects of red-light therapy group and single-focus spectacles group on CHT

2.4 敏感性分析

对纳入的 8 项研究进行敏感性分析,以评估 SE 和 AL 的变化(表 2)。通过逐一剔除文献的方法,结果发现 SE 和 AL 的合并效应量较为稳定,仅在排除了 Dong 等^[12]的研究后,SE 和 AL 的合并效应

量异质性降低,说明该研究是异质性来源。Dong 等^[12]的研究是基于双眼均值进行的,而其他研究是采用右眼或左眼进行研究,可能是其异质性的来源。由于涉及 CHT 的 4 项研究无明显异质性,故未进行敏感性分析。

表 2 不同结局指标的敏感性分析
 Table 2 Sensitivity analysis of different outcome indicators

结局指标	剔除文献	MD(95%CI)	Z	P	I ² /%
SE	Dong 等 ^[12]	0.44 (0.34, 0.54)	8.58	<0.000 01	29
	Tian 等 ^[13]	0.45 (0.28, 0.62)	5.21	<0.000 01	69
	Zhou 等 ^[14]	0.41 (0.28, 0.54)	6.15	<0.000 01	69
	Jiang 等 ^[15]	0.45 (0.29, 0.61)	5.43	<0.000 01	70
	刘丹等 ^[17]	0.41 (0.27, 0.54)	5.87	<0.000 01	68
	赖伟霞等 ^[18]	0.39 (0.27, 0.52)	6.08	<0.000 01	66
	闫艺等 ^[11]	0.41 (0.28, 0.54)	6.08	<0.000 01	69
	陈培正等 ^[19]	0.37 (0.26, 0.48)	6.55	<0.000 01	56
AL	Dong 等 ^[12]	-0.22 (-0.27, -0.17)	9.39	<0.000 01	41
	Tian 等 ^[13]	-0.22 (-0.30, -0.14)	5.59	<0.000 01	74
	Zhou 等 ^[14]	-0.21 (-0.26, -0.15)	7.11	<0.000 01	77
	Jiang 等 ^[15]	-0.22 (-0.30, -0.15)	5.70	<0.000 01	76
	刘丹等 ^[17]	-0.21 (-0.26, -0.15)	6.98	<0.000 01	77
	赖伟霞等 ^[18]	-0.19 (-0.24, -0.14)	6.93	<0.000 01	71
	闫艺等 ^[11]	-0.19 (-0.24, -0.14)	7.49	<0.000 01	69
	陈培正等 ^[19]	-0.20 (-0.27, -0.14)	6.63	<0.000 01	76

2.5 不同结局指标的发表偏倚

采用 STATA 12.0 软件对 SE 和 AL 变化差值的发表偏倚进行 Egger 检验。结果显示,红光治疗组和单光镜治疗组 SE 和 AL 变化值均不存在发表偏倚 (SE: $t = 2.11, P = 0.08$, AL: $t = -1.40, P = 0.211$), 因 CHT 纳入文献 4 篇, 故未进行 Egger 检验。

3 讨论

本研究旨在评估红光治疗在控制近视进展方面的疗效, 共纳入 9 项研究, 涉及 1 425 只眼, 其中红光治疗组 733 眼, 单光镜治疗组 692 眼, 研究对象的年龄范围为 3~15 岁。所有符合纳入标准的文献主要涉及亚洲人群。Meta 分析结果显示, 与单光镜治疗组相比, 红光治疗组无论是 AL 的增长, 还是 SE 和 CHT 的增加都更有优势, 且差异有统计学意义, 表明红光治疗可以有效控制近视的发展。

近视的发病机制尚不清楚, 户外阳光会刺激释放视网膜中多巴胺, 这一过程可促进眼球缓慢生长, 从而降低近视的风险^[20]。有研究支持了这样的理论, 即室内和室外光谱成分的差异可能导致在户外活动时间较少的儿童近视率较高^[15]。来自 LCA 的色度信号可以促进眼睛的正常生长速度和眼睛的屈光发育, 因此眼睛暴露与光的色度操控可能对儿童近视的管理或预防具有重要价值。光的光谱成分对屈光发育的影响在多种动物模型上进行了研究^[21]。例如, 当幼年恒河猴戴上带有红色滤光片的眼镜或在红色光线下成长时, 它们的远视程度会持续增加。红色 Led 灯发出的光线对树鼩的眼轴生长起

到抑制性刺激作用。然而, 与猴子和树鼩相比, 鸡、豚鼠和鱼在红光环境下趋向于近视, 而在蓝光环境下趋向于远视, 上述结果的不一致性提示, 物种差异和实质性的方法差异可能是导致这些差异的原因。在我们所收集的红光治疗的研究中, 近视患者在接受 635~650 nm 的红光治疗后, AL 增长缓慢, 并产生远视漂移的现象, 这个结果与最接近人类的灵长类动物——树鼩^[21]的研究结果一致。

氧化应激和炎症可能是近视调节途径改变的原因, 缺氧性近视引起的氧化损伤可以改变眼睛生长过程中一氧化氮和多巴胺的神经调节^[22]。红光治疗对近视眼抑制作用的机制可能包括红光治疗有助于保护患者免受氧化应激的影响, 减少近视眼伴随的炎症反应^[23]。低照度的红光治疗对一氧化氮系统有明显影响, 并能降低氧化应激的严重程度^[25]。低照度的红光治疗可以降低白细胞介素 (interleukins, IL)-1 和肿瘤坏死因子- α 等炎性细胞因子的水平。此外, 高度近视可明显增加 IL-1 和 IL-6 的水平^[24], 这可能与近视控制机制有关。

脉络膜具有滋养视网膜及通过调节其厚度改变屈光状态的功能^[25]。此外, 脉络膜在传递视网膜信号至巩膜的过程中起着至关重要的作用, 可进一步改变巩膜细胞外间质的合成及眼球大小, 从而导致屈光改变, 在近视的病因学中占据关键地位。在我们的研究中, 随着红光治疗的持续, CHT 逐渐增加。研究发现^[11], 巩膜缺氧微环境会诱导巩膜成纤维细胞向肌成纤维细胞分化, 导致细胞外基质重塑, 从而引发近视形成, 此次的多项研究^[13, 15-17]显

示出 CHT 的增加,这可能是 650 nm 红光的温热效应以及 650 nm 的红光照射后脉络膜循环血量增加所致。650 nm 红光作为非侵入性控制近视进展的方法,具有无创、方便、简单的特点,在我们收集的研究中,未发现与光照相关的不良反应,这表明红光治疗有望成为控制近视进展的新方法。

本研究仍存在一些局限性,由于各项研究的基本特征、实验设计不同,使得一些研究存在高度的异质性,对于伴有高度异质性的 Meta 分析,纳入的文献数量较少,未通过分亚组使异质性更好的解释,仅仅通过剔除个别病例进行敏感性分析,寻找异质性可能来源于眼别的差异。目前关于红光治疗近视的相关文献较少,且集中在亚洲,一定程度上影响结论的准确性,近视通常在儿童期发展,因此半年的研究时间不足以广泛采用红光治疗作为近视控制的治疗策略。治疗效果的可持续性、停止治疗后的反弹现象以及长期红光治疗近视儿童的潜在风险和不良反应仍有待于充分阐明。

参考文献:

- [1] 熊翩翩,王佳琳,孙姣,等. 高度近视豹纹状眼底视网膜脉络膜血流改变及相关性分析[J]. 山东大学耳鼻喉眼学报, 2023, 37(2): 114-121. doi: 10.6040/j.issn.1673-3770.0.2022.421
- XIONG Pianpian, WANG Jialin, SUN Jiao, et al. Analysis of retinal choroidal blood flow changes and correlation with tessellated fundus in highly myopic eyes[J]. Journal of Otolaryngology and Ophthalmology of Shandong University, 2023, 37(2): 114-121. doi:10.6040/j.issn.1673-3770.0.2022.421
- [2] Morgan IG, French AN, Ashby RS, et al. The epidemics of myopia: Aetiology and prevention[J]. Prog Retin Eye Res, 2018, 62: 134-149. doi:10.1016/j.preteyeres.2017.09.004
- [3] Cooper J, Tkatchenko AV. A review of current concepts of the etiology and treatment of myopia[J]. Eye Contact Lens, 2018, 44(4): 231-247. doi:10.1097/ICL.0000000000000499
- [4] Huang PC, Hsiao YC, Tsai CY, et al. Protective behaviours of near work and time outdoors in myopia prevalence and progression in myopic children: a 2-year prospective population study[J]. Br J Ophthalmol, 2020, 104(7): 956-961. doi:10.1136/bjophthalmol-2019-314101
- [5] Yang XW, Yang YF, Wang Y, et al. Protective effects of sunlight exposure against PRK-induced myopia in infant rhesus monkeys[J]. Ophthalmic Physiol Opt, 2021, 41(4): 911-921. doi:10.1111/opo.12826
- [6] Rucker F. Monochromatic and white light and the regulation of eye growth[J]. Exp Eye Res, 2019, 184: 172-182. doi:10.1016/j.exer.2019.04.020
- [7] Zhu QR, Liu LQ. Relationship between myopia and light exposure[J]. Sichuan Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban, 2021, 52(6): 901-906. doi:10.12182/20211160205
- [8] Hung LF, Arumugam B, She ZH, et al. Narrow-band, long-wavelength lighting promotes hyperopia and retards vision-induced myopia in infant rhesus monkeys[J]. Exp Eye Res, 2018, 176: 147-160. doi:10.1016/j.exer.2018.07.004
- [9] Wu PC, Chen CT, Lin KK, et al. Myopia prevention and outdoor light intensity in a school-based cluster randomized trial[J]. Ophthalmology, 2018, 125(8): 1239-1250. doi:10.1016/j.ophtha.2017.12.011
- [10] Xiong F, Mao T, Liao HF, et al. Orthokeratology and low-intensity laser therapy for slowing the progression of myopia in children[J]. Biomed Res Int, 2021, 2021: 8915867. doi:10.1155/2021/8915867
- [11] 闫艺,薛文娟,赵延军,等. 650 nm 半导体激光控制青少年近视进展的研究[J]. 临床眼科杂志, 2021, 29(2): 132-137
- YAN Yi, XUE Wenjuan, ZHAO Yanjun, et al. Effect of 650 nm semiconductor laser on juvenile myopia control[J]. Journal of Clinical Ophthalmology, 2021, 29(2): 132-137
- [12] Dong J, Zhu ZT, Xu HF, et al. Myopia control effect of repeated low-level red-light therapy in Chinese children: a randomized, double-blind, controlled clinical trial[J]. Ophthalmology, 2023, 130(2): 198-204. doi:10.1016/j.ophtha.2022.08.024
- [13] Tian L, Cao K, Ma DL, et al. Investigation of the efficacy and safety of 650 nm low-level red light for myopia control in children: a randomized controlled trial[J]. Ophthalmol Ther, 2022, 11(6): 2259-2270. doi:10.1007/s40123-022-00585-w
- [14] Zhou L, Xing C, Qiang W, et al. Low-intensity, long-wavelength red light slows the progression of myopia in children: an Eastern China-based cohort[J]. Ophthalmic Physiol Opt, 2022, 42(2): 335-344. doi:10.1111/opo.12939
- [15] Jiang Y, Zhu ZT, Tan XP, et al. Effect of repeated low-level red-light therapy for myopia control in children: a multicenter randomized controlled trial[J]. Ophthalmology, 2022, 129(5): 509-519. doi:10.1016/j.ophtha.2021.11.023
- [16] Xiong F, Mao T, Liao HF, et al. Orthokeratology and low-intensity laser therapy for slowing the progression of myopia in children[J]. Biomed Res Int, 2021, 2021: 8915867. doi:10.1155/2021/8915867
- [17] 刘丹. 红光治疗控制儿童近视进展的临床研究[D]. 大

- 理: 大理大学, 2022. doi:10.27811/d.cnki.gdixy.2022.000271
- [18] 赖伟霞, 贾亦悦, 张雨艺, 等. 低强度红光在低龄高度近视儿童中的疗效研究[J]. 眼科新进展, 2022, 42(9): 727-730. doi:10.13389/j.cnki.rao.2022.0149
LAI Weixia, JIA Yiyue, ZHANG Yuyi, et al. Efficacy of low-level red light in young children with high myopia [J]. *Recent Advances in Ophthalmology*, 2022, 42(9): 727-730. doi:10.13389/j.cnki.rao.2022.0149
- [19] 陈培正, 张宏亮, 王晶晶, 等. 艾尔兴哺光仪控制青少年、儿童近视疗效分析[J]. 实用中西医结合临床, 2018, 18(10): 63-64. doi:10.13638/j.issn.1671-4040.2018.10.030
CHEN Peizheng, ZHANG Hongliang, WANG Jingjing, et al. Analysis of therapeutic effect of Aierxing light feeding instrument on myopia control of teenagers and children[J]. *Practical Clinical Journal of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine*, 2018, 18(10): 63-64. doi:10.13638/j.issn.1671-4040.2018.10.030
- [20] Zadnik K, Mutti DO. Outdoor activity protects against childhood myopia-let the Sun shine In[J]. *JAMA Pediatr*, 2019, 173(5): 415-416. doi:10.1001/jamapediatrics.2019.0278
- [21] Chen HY, Wang W, Liao Y, et al. Low-intensity red-light therapy in slowing myopic progression and the rebound effect after its cessation in Chinese children: a randomized controlled trial [J]. *Albrecht Von Graefes Arch Fur Klin Und Exp Ophthalmol*, 2023, 261(2): 575-584. doi:10.1007/s00417-022-05794-4
- [22] Dai LL, Yang WC, Qin XY, et al. Serum metabolomics profiling and potential biomarkers of myopia using LC-QTOF/MS[J]. *Exp Eye Res*, 2019, 186: 107737. doi:10.1016/j.exer.2019.107737
- [23] Jówko E, P aszewski M, Cie liński M, et al. The effect of low level laser irradiation on oxidative stress, muscle damage and function following neuromuscular electrical stimulation. A double blind, randomised, crossover trial [J]. *BMC Sports Sci Med Rehabil*, 2019, 11: 38. doi:10.1186/s13102-019-0147-3
- [24] Yuan JS, Wu SJ, Wang YW, et al. Inflammatory cytokines in highly myopic eyes[J]. *Sci Rep*, 2019, 9(1): 3517. doi:10.1038/s41598-019-39652-x
- [25] 尤冉, 郭笑霄, 王薇, 等. 高度近视患者黄斑区视网膜劈裂分型与脉络膜特征分析[J]. 山东大学耳鼻喉眼学报, 2023, 37(3): 83-87. doi:10.6040/j.issn.1673-3770.0.2022.528
YOU Ran, GUO Xiaoxiao, WANG Wei, et al. Association of macular retinoschisis severity with choroidal parameters in patients with high myopia[J]. *Journal of Otolaryngology and Ophthalmology of Shandong University*, 2023, 37(3): 83-87. doi:10.6040/j.issn.1673-3770.0.2022.528

(编辑:曾婕)