

电针太阳穴对形觉剥夺性近视小鼠眼参数和睫状体 β -catenin 与 integrin β 1 表达的影响

陈 禄¹, 滕 悦¹, 蒋文君², 毕宏生²

引用:陈禄,滕悦,蒋文君,等. 电针太阳穴对形觉剥夺性近视小鼠眼参数和睫状体 β -catenin 与 integrin β 1 表达的影响. 国际眼科杂志, 2025, 25(11):1735-1739.

基金项目:山东省自然科学基金项目(No.ZR2021LZY045)
作者单位:¹(250014) 中国山东省济南市, 山东中医药大学;
²(250002) 中国山东省济南市, 山东中医药大学附属眼科医院
山东省眼病防治研究院 山东省中西医结合眼病防治重点实验室
作者简介:陈禄,女,在读硕士研究生,研究方向:眼科疾病临床与基础研究。
通讯作者:蒋文君,女,博士,研究员,硕士研究生导师,研究方向:眼科学基础. jiangwenjun@sdutcm.edu.cn; 毕宏生,男,博士,教授,主任医师,博士研究生导师,山东省眼病防治研究院院长,山东中医药大学附属眼科医院院长,研究方向:中西医结合临床眼科疾病、白内障与眼视光学研究. hongshengbi@126.com
收稿日期:2025-05-22 修回日期:2025-09-19

摘要

目的:探讨电针针刺太阳穴对形觉剥夺性近视(FDM)小鼠的眼参数和睫状体组织中连环蛋白 β 1(β -catenin)、整合素 β 1(integrin β 1)表达的影响。
方法:选取3周龄健康 C57BL/6J 小鼠 48 只,随机分为正常(NC)组、FDM 组、假针(sham)组及电针针刺太阳穴(Taiyang)组 4 组,每组 12 只小鼠。FDM 组、sham 组、Taiyang 组小鼠右眼均配戴半透明自制眼罩诱导近视;同时 Taiyang 组在太阳穴给予电针刺激;sham 组使用细木棒模拟针刺操作(不刺入皮肤);正常组不做任何处理。利用红外验光仪、光学相干断层扫描(OCT)检测造模前、造模 4 wk 小鼠的屈光度和眼轴长度;利用实时荧光定量 PCR(qPCR)、蛋白免疫印记(WB)检测造模 4 wk 小鼠睫状体组织中 β -catenin、integrin β 1 的表达情况。
结果:造模 4 wk 后,与 NC 组相比,FDM 组、sham 组屈光度均显著降低(均 $P<0.05$),眼轴长度均显著增加(均 $P<0.05$), β -catenin、integrin β 1 的表达均增加;与 FDM 组和 sham 组相比,Taiyang 组的屈光度显著增加(均 $P<0.05$),眼轴长度显著缩短(均 $P<0.05$), β -catenin、integrin β 1 的表达降低。
结论:电针针刺太阳穴能有效控制 FDM 小鼠近视的进展,其机制可能与睫状体组织 β -catenin、integrin β 1 的表达水平相关。

关键词:形觉剥夺性近视;电针;睫状体;连环蛋白 β 1(β -catenin);整合素 β 1(integrin β 1)

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2025.11.04

Effect of electroacupuncture at the Taiyang acupoint on refractive parameters and the expression of β -catenin and integrin β 1 in ciliary body in mice with form-deprivation myopia

Chen Lu¹, Teng Yue¹, Jiang Wenjun², Bi Hongsheng²

Foundation item: Natural Science Foundation of Shandong Province (No.ZR2021LZY045)
¹Shandong University of Traditional Chinese Medicine, Jinan 250014, Shandong Province, China; ²Affiliated Eye Hospital of Shandong University of Traditional Chinese Medicine; Shandong Academy of Eye Disease Prevention and Therapy; Shandong Provincial Key Laboratory of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine for Prevention and Therapy of Ocular Diseases, Jinan 250002, Shandong Province, China
Correspondence to: Jiang Wenjun. Affiliated Eye Hospital of Shandong University of Traditional Chinese Medicine; Shandong Academy of Eye Disease Prevention and Therapy; Shandong Provincial Key Laboratory of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine for Prevention and Therapy of Ocular Diseases, Jinan 250002, Shandong Province, China. jiangwenjun@sdutcm.edu.cn; Bi Hongsheng. Affiliated Eye Hospital of Shandong University of Traditional Chinese Medicine; Shandong Academy of Eye Disease Prevention and Therapy; Shandong Provincial Key Laboratory of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine for Prevention and Therapy of Ocular Diseases, Jinan 250002, Shandong Province, China. hongshengbi@126.com
Received:2025-05-22 Accepted:2025-09-19

Abstract

• **AIM:** To investigate the effects of electroacupuncture at the Taiyang on refractive parameters and the expression of β -catenin and integrin β 1 in the ciliary body of mice with form-deprivation myopia (FDM).
• **METHODS:** A total of 48 3-week-old healthy C57BL/6J mice were randomly divided into 4 groups: normal control (NC), FDM group, sham acupuncture (sham), and electroacupuncture at Taiyang acupoint (Taiyang), with 12 mice in each group. Mice in the FDM, sham, and Taiyang groups, wore translucent custom-made eye masks on the right eye to induce myopia. The Taiyang group received electroacupuncture stimulation at the Taiyang acupoint, while the sham group underwent non-penetrating stimulation with a blunt wooden stick. No intervention was performed on the NC group. Refraction

and axial length were measured by infrared autorefractor and optical coherence tomography (OCT) before modeling and at 4 wk after modeling. The expression levels of β -catenin and integrin $\beta 1$ in the ciliary body of mice at 4 wk after modeling were detected using quantitative real-time PCR (qPCR) and Western blotting (WB).

• RESULTS: After modeling for 4 wk, compared with the NC group, the FDM and sham groups showed significantly decreased refractive power (both $P < 0.05$), elongated axial length (both $P < 0.05$), and increased β -catenin and integrin $\beta 1$ expression. Compared with the FDM and sham groups, the Taiyang group showed significantly increased refractive power (both $P < 0.05$), shortened axial length (both $P < 0.05$), and decreased β -catenin and integrin $\beta 1$ expression.

• CONCLUSION: Electroacupuncture stimulation at the Taiyang acupoint effectively delayed the progression of myopia in FDM mice, and this effect may be partially mediated through modulating the expression of β -catenin and integrin $\beta 1$ in the ciliary body.

• KEYWORDS: form - deprivation myopia; electroacupuncture; ciliary body; β -catenin; integrin $\beta 1$

Citation: Chen L, Teng Y, Jiang WJ, et al. Effect of electroacupuncture at the Taiyang acupoint on refractive parameters and the expression of β -catenin and integrin $\beta 1$ in ciliary body in mice with form - deprivation myopia. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)*, 2025, 25(11): 1735-1739.

0 引言

全球儿童青少年近视患病率高达 30.5%, 预计 2050 年患病人数将突破 7.4 亿^[1], 近视已成为全球公共卫生问题。睫状肌收缩是视力调节的先决条件, 其持续收缩不仅通过张力传递导致眼轴延长, 还可引发痉挛及调节滞后, 共同促进近视的进展^[2-3]。研究发现, 透镜诱导性近视 (lens-induced myopia model, LIM) 豚鼠模型睫状肌组织中的连环蛋白 $\beta 1$ (β -catenin) 及整合素 $\beta 1$ (integrin $\beta 1$) 表达显著上调, 可能通过感知眼球内部机械应力, 增加睫状肌的收缩而促进近视^[4]。临床实践证实, 针刺太阳穴、攒竹穴等组穴可通过改善眼周血液循环、放松睫状肌及眼外肌等作用, 有效改善近视儿童青少年屈光状态和裸眼视力^[5-7]。我院前期研究亦表明, 利用眼周经皮穴位电刺激仪同时刺激太阳、攒竹等眼周穴位, 可有效降低近视临床前期儿童的近视发生率^[8]。然而, 既往研究多采用针刺组穴的干预方式^[9-11], 针刺太阳穴 (单穴) 对近视的作用效果尚未见报道, 其机制亦不明确。

本研究通过建立形觉剥夺性近视 (form - deprivation myopia, FDM) 小鼠模型, 探讨电针针刺太阳穴 (单穴) 对 FDM 小鼠屈光度和眼轴长度的影响, 并检测睫状体 β -catenin 和 integrin $\beta 1$ 表达水平的变化, 研究针刺太阳穴 (单穴) 对近视的改善效果和作用机制, 为临床应用电针治疗近视奠定实验基础。

1 材料和方法

1.1 材料

1.1.1 实验动物 3 周龄 SPF 级健康雄性 C57BL/6J 小鼠 48 只购于济南朋悦实验动物繁育有限公司, 饲养于山东

中医药大学附属眼科医院实验动物中心, 体质量 11.21 ± 0.56 g。动物可自由摄食及饮水, 室内环境 12/12 h 昼夜节律交替, 照明 250-300 Lx, 室温 22 ± 2 °C。动物饲养与实验处理经山东中医药大学附属眼科医院动物伦理委员会批准通过 (审批号: AWE-2022-055)。

1.1.2 主要仪器与试剂 针灸针 (苏州医疗用品厂)、电子针疗仪 (苏州医疗用品厂); 红外验光仪 (德国 Striatech); 全域扫频光学相干断层扫描 (optical coherence tomography, OCT) 仪 (图湃医疗科技); Light Cycler480 II 实时荧光定量 PCR 仪 (瑞士 Roche); 逆转录试剂盒 (南京诺唯赞); β -actin 引物 (上海生工); β -catenin 一抗 (Cell Signaling Technology), integrin $\beta 1$ 一抗 (英国 Abcam); 山羊抗兔 IgG 二抗 (山东思科捷)。

1.2 方法

1.2.1 动物分组及模型建立 将 48 只小鼠按照随机数字表法分为正常 (NC) 组、FDM 组、假针 (sham) 组、电针针刺太阳穴 (Taiyang) 组, 每组 12 只, 实验前排除眼球发育不全、屈光间质浑浊的动物。用胶水将自制半透明眼罩固定于 FDM 组、sham 组、Taiyang 组小鼠右眼眼周, 建立 FDM 模型。为防止眼罩脱落, 小鼠均需配戴伊丽莎白圈, 同时每日检查眼罩 3 次, 若发现眼罩脱落则立即重新固定, 造模持续 4 wk。

1.2.2 电针组干预方式 Taiyang 组小鼠从造模之日起每日上午 9:00-11:00 接受电针针刺太阳穴干预治疗。太阳穴位于双侧外眼角与耳之间的颞窝处, 针灸针在此向内下方斜刺 1-2 mm^[12], 同时连接电针仪, 设置连续波、强度 2 mA、脉长 0.1 s、频率 2 Hz, 持续 30 min, 连续干预 5 d 后暂停 2 d, 5 次/周, 持续 4 wk。Sham 组小鼠使用木制细棒代替针灸针 (不刺入皮肤), 其余操作同 Taiyang 组; NC 组与 FDM 组不进行针刺干预。

1.2.3 屈光度及眼轴长度测量 检测造模前、造模 4 wk 各组小鼠的屈光度和眼轴长度。小鼠结膜囊内滴入 5 g/L 复方托吡卡胺滴眼液, 间隔 5 min 滴 1 次, 共 3 次; 待睫状肌麻痹后利用红外验光仪检测屈光度, 利用 OCT 测量眼轴长度, 连续重复测量 3 次取平均值, 全过程由相同技师进行操作。计算屈光度变化幅度 = (Taiyang 组屈光度 - FDM 组屈光度) / FDM 组屈光度 $\times 100\%$, 眼轴长度变化幅度 = (Taiyang 组眼轴长度 - FDM 组眼轴长度) / FDM 组眼轴长度 $\times 100\%$ 。

1.2.4 取材方式 造模 4 wk 后, 腹腔注射大剂量戊巴比妥处死各组小鼠。将摘除的右眼放入 PBS 里冲洗后, 清理干净眼外肌等眼周组织, 沿角巩膜缘稍后方环剪开眼球, 去除眼前节部分的晶状体, 轻轻撕离虹膜, 最后使用刮刀将睫状体从角巩膜缘内侧面剥离, 用于后续实验。

1.2.5 实时荧光定量 PCR 每组随机选取 6 只小鼠右眼的睫状体组织, 使用 RNA 快速提取试剂盒提取各小鼠睫状体中的总 RNA, 从每份 RNA 样本中准确吸取 600 ng, 并两两等质量混合, 混合样本逆转录成 cDNA 后, 采用实时荧光定量 PCR (qPCR) 检测睫状体组织中 β -catenin 与 integrin $\beta 1$ 的 mRNA 表达水平。以 β -actin 为内参, 采用 $2^{-\Delta\Delta Ct}$ 法定量分析各组小鼠睫状体组织中 β -catenin 与 integrin $\beta 1$ 的 mRNA 相对表达量, 引物序列见表 1。

1.2.6 Western Blot 分析 每组随机选取 6 只小鼠右眼的睫状体组织, 提取各小鼠睫状体中的总蛋白, 使用 BCA 法测定蛋白浓度后, 从每份蛋白质样本中精确吸取 100 μ g,

并两两等质量混合,混合样本进行蛋白变性。吸取蛋白上层上样,随后进行电泳、转膜。使用脱脂奶粉配置的封闭液封闭1 h,并使用TBST洗脱3次后,进行一抗、二抗的孵育。将PVDF膜置于显影液中2 min,随后进行曝光,计算蛋白条带灰度值与内参蛋白条带灰度值的比值,以NC组为基准进行归一化处理,以表示各组β-catenin、integrin β1的蛋白相对表达量。

统计学分析:采用SPSS 27.0软件对数据进行统计分析。计量数据采用 $\bar{x}\pm s$ 表示。多组间比较采用单因素方差分析(ANOVA),事后两两比较采用LSD-*t*检验。检验水准: $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 各组小鼠屈光度变化 造模前,各组小鼠右眼屈光度基线值差异均无统计学意义(均 $P>0.05$)。造模4 wk后,NC组的屈光度向生理性远视发展,FDM组、sham组的右眼屈光度较NC组更低,向近视方向漂移(均 $P<0.05$),Taiyang组右眼屈光度较FDM组、sham组显著回升(均 $P<0.05$),较FDM组变化幅度增加76.90%,见表2。

2.2 各组小鼠眼轴长度变化 造模前,各组小鼠右眼眼轴长度差异均无统计学意义(均 $P>0.05$)。造模4 wk后,FDM组、sham组的右眼眼轴长度较NC组显著增大(均 $P<0.05$),Taiyang组右眼眼轴长度较FDM组、sham组显著减小(均 $P<0.05$),较FDM组变化幅度减少1.22%,见表2。

2.3 各组小鼠睫状体β-catenin及integrin β1 mRNA表达结果 造模4 wk后,FDM组、sham组小鼠睫状体β-catenin、integrin β1 mRNA的表达较NC组增加(均 $P<0.05$),FDM组与sham组无明显差别($P>0.05$),Taiyang组表达较FDM组、sham组降低(均 $P<0.05$),见图1。

2.4 各组小鼠睫状体β-catenin及integrin β1蛋白表达结果 造模4 wk后,FDM组、sham组小鼠睫状体β-catenin、integrin β1蛋白的表达较NC组增加(均 $P<0.05$),FDM组与sham组无明显差别($P>0.05$),Taiyang组表达较FDM组、sham组降低(均 $P<0.05$),见图2。

表1 所需引物及引物序列

名称	引物序列
β-catenin	F:5'-ATGGAGCCGGACAGAAAAGC-3'
	R:5'-CTTGCCACTCAGGGAAGGA-3'
integrin β1	F:5'-TTCAGACTTCCGCATTTGGCT-3'
	R:5'-CAGCCAATCAGCGATCCACA-3'
β-actin	F:5'-GTGCTATGTTGCTCTAGACTTCG-3'
	R:5'-ATGCCACAGGATTCCATACC-3'

表2 各组小鼠造模前后屈光度和眼轴长度比较

组别	屈光度(D)		眼轴长度(mm)	
	造模前	造模4 wk	造模前	造模4 wk
NC组	2.31±0.31	8.91±0.51	3.05±0.07	3.24±0.02
FDM组	2.37±0.30	4.71±0.61 ^a	3.06±0.04	3.29±0.02 ^a
sham组	2.32±0.53	4.54±0.63 ^a	3.04±0.06	3.30±0.03 ^a
Taiyang组	2.10±0.57	8.33±0.88 ^{a,e,e}	3.03±0.05	3.25±0.01 ^{e,e}
<i>F</i>	0.87	143.89	0.61	20.55
<i>P</i>	0.46	<0.05	0.62	<0.05

注:^a $P<0.05$ vs 造模4 wk NC组;^e $P<0.05$ vs 造模4 wk FDM组;^e $P<0.05$ vs 造模4 wk sham组。

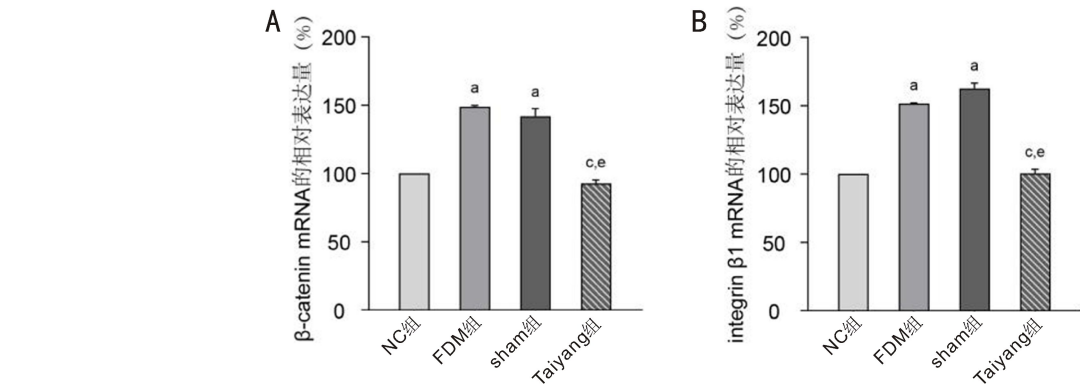


图1 各组小鼠睫状体β-catenin及integrin β1 mRNA表达水平 A:qPCR检测造模4 wk各组小鼠睫状体β-catenin mRNA相对表达水平;B:qPCR检测造模4 wk各组小鼠睫状体integrin β1 mRNA相对表达水平;^a $P<0.05$ vs 造模4 wk NC组;^e $P<0.05$ vs 造模4 wk FDM组;^e $P<0.05$ vs 造模4 wk sham组。

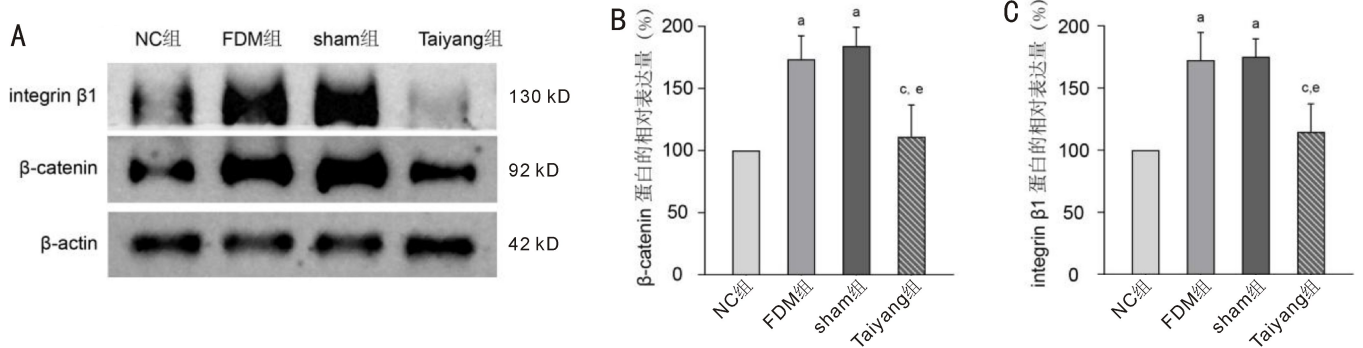


图2 各组小鼠睫状体β-catenin、integrin β1蛋白表达水平 A:WB检测造模4 wk各组小鼠睫状体β-catenin、integrin β1蛋白表达结果;B:造模4 wk各组小鼠β-catenin蛋白相对表达水平;C:造模4 wk各组小鼠integrin β1蛋白相对表达水平;^a $P<0.05$ vs 造模4 wk NC组;^e $P<0.05$ vs 造模4 wk FDM组;^e $P<0.05$ vs 造模4 wk sham组。

3 讨论

针刺作为一种传统的中医疗法,可通过刺激特定穴位调节人体的气血、经络,有效防治近视、疼痛、神经性疾病等多种病症。研究表明,正常小鼠的屈光度呈远视化发展状态,从 3 周龄的 3.51 D 发育为 7 周龄的 11.83 D,而 4 wk 形觉剥夺会使小鼠屈光度由 3 周龄的 3.13 D 仅增至 7 周龄的 5.14 D^[13],相较正常小鼠远视化程度降低,称为向近视方向漂移。本研究首次采用电针针刺太阳穴(单穴)干预 FDM 小鼠,结果发现,FDM 组小鼠较 NC 组屈光度下降且眼轴长度增长,该变化趋势与既往文献报道一致;同时电针针刺太阳穴(单穴)可有效抑制 FDM 小鼠屈光度的降低和眼轴长度的增长,并降低 FDM 小鼠睫状体中 β -catenin、integrin β 1 的表达水平。这一发现为运用针刺太阳穴(单穴)的方法治疗近视提供了实验基础,从而为近视的防控提供了新思路,同时初步揭示了其作用机制。

临床研究证实,揸针或电针针刺太阳穴、攒竹穴等组穴可使低度近视青少年的屈光状态在 1-3 mo 改善约 41%,但未能显著抑制眼轴增长^[6,14]。此外,动物研究也表明,基于体针结合眼针的原理,电针针刺太阳穴+合谷穴可有效抑制 LIM 豚鼠屈光度下降(电针组 *vs* 近视组: -2.17 D *vs* -4.83 D)和眼轴增长(电针组 *vs* 近视组: 8.24 mm *vs* 8.37 mm),抑制幅度分别达 55.07% 和 1.55%^[15],该效果在其他研究中亦得到验证^[16-17]。与上述采用组穴干预的方式不同,本研究聚焦于单一穴位(太阳穴)对近视的防治效果,首次在 FDM 小鼠模型中证实,电针针刺太阳穴(单穴)可有效抑制屈光度的降低和眼轴长度的增长。鉴于小鼠屈光状态向生理性远视发展^[13],屈光度变化仅具有参考价值,从其眼轴长度变化来看,电针针刺太阳穴(单穴)抑制近视发展的效果与电针针刺组穴的效果相当。这不仅为临床上应用针刺太阳穴(单穴)的方法治疗近视提供了疗效验证,也为针刺治疗近视的精准化、标准化取穴提供了科学依据。

本研究发现,FDM 小鼠睫状体组织中 β -catenin、integrin β 1 的表达水平较正常组升高,而电针针刺太阳穴(单穴)干预后,可使 β -catenin、integrin β 1 的表达降低。 β -catenin 作为经典 Wnt 信号通路的关键调节蛋白,是维持睫状体等眼组织正常发育的关键因子^[18-19],可通过参与细胞的增殖、凋亡等行为参与近视的发生发展^[20-21]。遗传学研究报道,在具有欧洲血统的近视患者人群中, β -catenin(又名 CTNNB1)的 c. 2038T>A 和 c. 2038_2041dupAGCT 等突变与近视密切相关^[22-23]。此外,在 FDM 大鼠、LIM 豚鼠等近视模型中发现,其睫状体、脉络膜、巩膜等多种眼组织的 β -catenin 表达较正常组显著上调,并伴有睫状体萎缩、脉络膜及巩膜重塑等病理改变^[4,24-25]。体外研究进一步表明,在源于 FDM 大鼠及豚鼠的原代脉络膜、巩膜成纤维细胞中, β -catenin 表达上调,可通过激活 Wnt/ β -catenin 信号通路,下调转化生长因子- β (transforming growth factor- β , TGF- β)-1/I 型胶原蛋白(collagen type I, Col I)的表达水平,从而抑制成纤维细胞的增殖及胶原合成^[19,24-26]。这提示 FDM 动物模型的脉络膜、巩膜等组织中的 β -catenin 上调,可通过激活 Wnt/ β -catenin 信号通路,下调 TGF- β 1/Col I 的表达,从而抑制成纤维细胞的增殖及胶原合成,促进近视时的脉络膜与巩膜重塑。integrin β 1 是整合素家族中的一种跨膜蛋白,参与细胞与细胞外基质(extracellular matrix, ECM)

的相互作用。动物研究发现,在 LIM 豚鼠的睫状体组织中 integrin β 1 的表达较正常组显著上调^[4],然而,亦有研究报道,FDM 豚鼠及树鼯巩膜组织中 integrin β 1 的表达下调^[27-28],这种表达差异可能与不同组织对近视发展的反应机制不同有关。细胞学研究发现,在成骨细胞中 integrin β 1 与纤连蛋白(fibronectin, FN)-1 结合,可促进 β -catenin 由细胞质向细胞核转位,而核内的 β -catenin 可与 T 细胞因子/淋巴增强因子(T-cell factor/lymphoid enhancer-binding factor, TCF/LEF)家族转录因子结合,从而促进细胞周期蛋白 D1(Cyclin D1)等 Wnt 反应基因的表达,激活 Wnt/ β -catenin 信号通路,最终诱导成骨细胞的增殖分化^[29]。这提示 FDM 小鼠睫状体中 β -catenin、integrin β 1 的表达增加可能通过以下协同作用共同导致 Wnt/ β -catenin 信号通路的异常激活:(1) β -catenin 自身过表达直接激活 Wnt/ β -catenin 信号通路;(2) integrin β 1 可促进 β -catenin 由细胞质向细胞核转位,进一步激活 Wnt/ β -catenin 信号通路,导致睫状体 ECM 重塑。此外,睫状体 Wnt/ β -catenin 的异常激活,还可能通过促进非色素睫状上皮(non-pigmented ciliary epithelium, NPCE)细胞的异常增殖分化,引发睫状体发育异常^[30],进而导致调节功能下降,而调节功能的减退可能会进一步诱发睫状肌的代偿性持续收缩,引发近视。最后,睫状肌的持续收缩会增加房水的流出阻力,而 β -catenin 也可通过加强色素睫状上皮(pigmented ciliary epithelium, PCE)细胞与 NPCE 细胞间的黏附连接,促进房水分泌量异常增加^[31],进一步升高眼内压。这可能是流行病学调查研究显示眼内压增高与近视关系密切的分子机制^[32]。以上研究结果均提示,FDM 小鼠近视程度加深,可能与睫状体组织中 β -catenin、integrin β 1 表达增加而诱导的 Wnt/ β -catenin 信号通路过度激活有关,电针针刺太阳穴可能通过降低 FDM 小鼠睫状体组织中 β -catenin、integrin β 1 的表达水平,抑制 Wnt/ β -catenin 信号通路过度激活,从而抑制 ECM 重塑、提高睫状肌的调节能力,最终延缓近视发展。

然而,本研究尚存在一定的局限性:(1) FDM 小鼠模型虽已得到广泛认可,但小鼠睫状肌解剖结构与人类存在一定差异^[33],其作用效果尚需相关临床试验进一步评估;(2) 对屈光度、眼轴长度及关键分子表达水平监测的时间点较少,未能全面评估近视发展中相关数据的动态变化,后续研究需扩大样本量、增加监测时间点,从而系统阐明近视进展的动态病理过程;(3) 电针针刺太阳穴抑制近视发展的作用机制尚需进一步研究证实。

综上所述,与传统的针刺组穴治疗近视相比,本研究报道电针针刺太阳穴(单穴)可显著抑制 FDM 小鼠屈光度和眼轴长度的变化。睫状体结构功能异常会导致近视的发生,而电针针刺太阳穴(单穴)可能通过降低睫状体 β -catenin、integrin β 1 表达,抑制 Wnt/ β -catenin 信号通路过度激活,从而提高睫状肌的调节能力、抑制 ECM 重塑,最终降低近视发生的风险。单穴刺激不仅为针刺治疗近视的精准化取穴提供了科学依据,更因其电针参数可量化、操作简便等优势,显著降低了对传统针灸手法的高要求,极大地提升了临床应用的可实施性和易推广性,为临床青少年近视防控提供了新的思路,但电针针刺太阳穴(单穴)影响睫状体的具体机制尚未完全阐明,仍需进一步研究。

利益冲突声明:本文不存在利益冲突。

作者贡献声明:陈禄动物及分子实验,数据分析,初稿撰写及修改;滕悦动物造模及数据分析;蒋文君、毕宏生选题及技术指导,论文修改及审阅,经费支持。所有作者阅读并同意最终的文本。

参考文献

[1] Liang JH, Pu YQ, Chen JQ, et al. Global prevalence, trend and projection of myopia in children and adolescents from 1990 to 2050: a comprehensive systematic review and meta-analysis. *Br J Ophthalmol*, 2025,109(3):362-371.

[2] Cheng X, Xu J, Brennan NA. Accommodation and its role in myopia progression and control with soft contact lenses. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2019,39(3):162-171.

[3] Meng ZY, Yang L, Zhou P. Ciliary muscles contraction leads to axial length extension—The possible initiating factor for myopia. *PLoS One*, 2024,19(4):e0301844.

[4] Wu SS, Hao JW, Guo DD, et al. Characterization of lncRNA and mRNA profiles in ciliary body in experimental myopia. *Exp Eye Res*, 2024,241:109849.

[5] 陶晓雁, 张才纯, 杨金亮, 等. 毫针治疗青少年近视临床观察. 北京中医药大学学报(中医临床版), 2006,6:39-41.

[6] 张芮, 慕璟玉, 张亚妮, 等. 电针对初次确诊低度近视儿童的短期临床疗效观察. 新疆中医药, 2023,41(4):16-20.

[7] 刘世交, 孟纯雪, 纳千禧, 等. 中医治疗近视研究进展. 山西中医药大学学报, 2024,25(8):939-944.

[8] 姜倩, 徐福如, 蒋文君, 等. 眼周经皮穴位电刺激预防近视临床前期儿童发展为近视的疗效. 中国针灸, 2025,45(2):173-178.

[9] Hao JW, Xie YX, Wei HX, et al. Electroacupuncture slows experimental myopia progression by improving retinal mitochondrial function: a study based on single-cell RNA sequencing. *Adv Biol (Weinh)*, 2024,8(12):e2400269.

[10] Yang ZH, Hao JW, Liu JP, et al. Electroacupuncture alleviates ciliary muscle cell apoptosis in lens-induced myopic guinea pigs through inhibiting the mitochondrial signaling pathway. *Int J Ophthalmol*, 2023,16(12):1942-1951.

[11] 陈嘉荣, 卢阳佳, 黄泳, 等. 针灸治疗近视取穴规律文献研究. 中医杂志, 2011,52(16):1413-1416.

[12] 鲁凡, 丁宁, 吴霞, 等. 电针对干眼模型小鼠眼表形态结构及干扰素调节因子5的影响. 江苏中医药, 2024,56(6):69-74.

[13] 纪风涛, 李隼, 祝银玲, 等. C57BL/6 小鼠形觉剥夺性近视动物模型的建立. 中华眼科杂志, 2009,45(11):1020-1026.

[14] 陈雨, 夏佳宜, 刘昉. 揸针治疗学龄期儿童近视的临床疗效观察. 中医临床研究, 2023,15(34):116-119.

[15] Liu YJ, Hao Q, Lu XZ, et al. Electroacupuncture improves retinal function in myopia guinea pigs probably via inhibition of the RhoA/ROCK2 signaling pathway. *Heliyon*, 2024,10(15):e35750.

[16] 郝一宪, 李士玲, 魏慧霞, 等. 电针干预对透镜诱导型近视豚鼠睫状肌中 MMP-3、TIMP-3 及 Col3α1 表达的影响. 眼科新进展, 2021,41(8):706-711.

[17] 刘一洁, 郝琪, 卢秀珍, 等. 电针对负透镜诱导型近视豚鼠视网膜中 MMP-3 和 TIMP-3 及 Col3α1 表达的影响. 国际眼科杂志, 2024,24(9):1373-1380.

[18] Tucci V, Kleefstra T, Hardy A, et al. Dominant β -catenin mutations cause intellectual disability with recognizable syndromic features. *J Clin Invest*, 2014,124(4):1468-1482.

[19] Ma M, Zhang Z, Du E, et al. Wnt signaling in form deprivation myopia of the mice retina. *PLoS One*, 2014,9(4):e91086.

[20] 王泽, 颀瑞萍, 刘雪. Wnt 信号通路在近视发病中作用及机制的研究进展. 国际眼科杂志, 2025,25(1):99-103.

[21] Ma QM, Yu JL, Zhang X, et al. Wnt/ β -catenin signaling pathway—a versatile player in apoptosis and autophagy. *Biochimie*, 2023,211:57-67.

[22] Li N, Xu YF, Li GQ, et al. Exome sequencing identifies a de novo mutation of CTNNB1 gene in a patient mainly presented with retinal detachment, lens and vitreous opacities, microcephaly, and developmental delay: Case report and literature review. *Medicine (Baltimore)*, 2017,96(20):e6914.

[23] Hysi PG, Choquet H, Khawaja AP, et al. Meta-analysis of 542,934 subjects of European ancestry identifies new genes and mechanisms predisposing to refractive error and myopia. *Nat Genet*, 2020,52(4):401-407.

[24] Li M, Yuan Y, Chen QZ, et al. Expression of Wnt/ β -catenin signaling pathway and its regulatory role in type I collagen with TGF- β 1 in scleral fibroblasts from an experimentally induced myopia guinea pig model. *J Ophthalmol*, 2016,2016:5126560.

[25] Suo NC, Lei CL, Zhang YC, et al. Effects of latanoprost on the expression of TGF- β 1 and Wnt/ β -catenin signaling pathway in the choroid of form-deprivation myopia rats. *Cell Mol Biol (Noisy-le-grand)*, 2020,66(6):71-75.

[26] Liu Z, Xiu YH, Qiu FF, et al. Canonical Wnt signaling drives myopia development and can be pharmacologically modulated. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2021,62(9):21.

[27] McBrien NA, Metlapally R, Jobling AI, et al. Expression of collagen-binding integrin receptors in the mammalian sclera and their regulation during the development of myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2006,47(11):4674-4682.

[28] Liu X, Yuan Y, Wu Y, et al. Extracellular matrix stiffness modulates myopia scleral remodeling through integrin/F-actin/YAP axis. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2025,66(2):22.

[29] Yang CL, Wang C, Zhou J, et al. Fibronectin 1 activates WNT/ β -catenin signaling to induce osteogenic differentiation via integrin β 1 interaction. *Lab Invest*, 2020,100(12):1494-1502.

[30] Koso H, Iida A, Tabata Y, et al. CD138/syndecan-1 and SSEA-1 mark distinct populations of developing ciliary epithelium that are regulated differentially by Wnt signal. *Stem Cells*, 2008,26(12):3162-3171.

[31] Youkilis JC, Bassnett S. Single-cell RNA-sequencing analysis of the ciliary epithelium and contiguous tissues in the mouse eye. *Exp Eye Res*, 2021,213:108811.

[32] Wang P, Chen S, Liu Y, et al. Lowering intraocular pressure: a potential approach for controlling high myopia progression. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2021,62(14):17.

[33] Pucker AD, Jackson AR, McHugh KM, et al. Morphological ciliary muscle changes associated with form deprivation-induced myopia. *Exp Eye Res*, 2020,193:107963.