

不同强度有氧运动对原发性开角型青光眼患者黄斑区视网膜血管密度的影响

王媛¹, 郝冰¹, 刘益帆¹, 冉文瑛¹, 朱冬梅¹, 孙兵兵², 王东伟²

引用:王媛,郝冰,刘益帆,等.不同强度有氧运动对原发性开角型青光眼患者黄斑区视网膜血管密度的影响.国际眼科杂志2022;22(1):118-122

作者单位:(450006)中国河南省郑州市,郑州大学附属郑州中心医院¹眼科;²心脏康复科

作者简介:王媛,女,博士,副主任医师,研究方向:眼屈光与眼外伤。

通讯作者:王媛. benghan4037148@163.com

收稿日期:2021-06-28 修回日期:2021-12-07

摘要

目的:探讨不同强度有氧运动对原发性开角型青光眼(POAG)患者黄斑区视网膜血管密度的影响。

方法:前瞻性病例对照研究。纳入2019-01/2021-04于我院诊断为POAG患者48例88眼。招募本院学生、职工及其他科室患者家属43例86眼为正常对照组。使用免散瞳眼底照相机行免散瞳眼底照相检查。采用黄斑血管分割法进行黄斑区血管密度测定。根据黄斑区血管密度将POAG患者分为低血管密度组和高血管密度组,各24例。指导48例POAG的患者进行跑台负荷运动,比较高强度(76%~87%HR_{max})、中等强度(64%~75%HR_{max})和低强度(52%~63%HR_{max})运动下患者的黄斑区血管密度水平。

结果:正常对照组患者的黄斑区血管密度明显高于POAG组患者;与高血管密度组患者相比,低血管密度组患者的年龄、收缩压均明显较高,体质量明显较低;低血管密度组和高血管密度组患者,在中等强度有氧运动下的黄斑区视网膜血管密度均明显高于低强度和高强度有氧运动;收缩压和有氧运动是黄斑区血管密度的影响因素;以上比较结果均有差异($P<0.05$)。

结论:收缩压和有氧运动是黄斑区血管密度的影响因素,中等强度有氧运动可使低血管密度组和高血管密度组患者的黄斑区血管密度明显增加。

关键词:有氧运动;原发性开角型青光眼;黄斑区;视网膜血管密度

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2022.1.26

Effects of different intensity aerobic exercises on macular retinal vascular density in patients with primary open angle glaucoma

Yuan Wang¹, Bing Hao¹, Yi-Fan Liu¹, Wen-Ying Ran¹, Dong-Mei Zhu¹, Bing-Bing Sun², Dong-Wei Wang²

Rehabilitation, Zhengzhou Central Hospital Affiliated to Zhengzhou University, Zhengzhou 450006, Henan Province, China

Correspondence to: Yuan Wang. Department of Ophthalmology, Zhengzhou Central Hospital Affiliated to Zhengzhou University, Zhengzhou 450006, Henan Province, China. benghan4037148@163.com

Received: 2021-06-28 Accepted: 2021-12-07

Abstract

• **AIM:** To explore the effects of different intensity aerobic exercises on macular retinal vascular density in patients with primary open angle glaucoma (POAG).

• **METHODS:** Prospective case-control study, 88 eyes of 48 patients with POAG diagnosed in our hospital from January 2019 to April 2021 were included (POAG group), 43 cases (86 eyes) were included in the normal control group (control group). The fundus photographic examination without mydriasis was performed with a mydriatic fundus camera, and the operation and film reading were carried out by a special ophthalmologist. Macular vascular density was measured by macular vascular segmentation method. According to macular vascular density, 48 patients with POAG were divided into low vascular density group and high vascular density group, with 24 cases in each group. 48 patients with POAG were instructed to perform treadmill load exercise to compare the vascular density levels in macular area of patients with high intensity (76% - 87% HR_{max}), moderate intensity (64%-75% HR_{max}) and low intensity (52%-63% HR_{max}).

• **RESULTS:** The vascular density in macular area of control group was significantly higher than that of POAG group; Compared with the high vascular density group, the age and systolic blood pressure were significantly higher in the low vascular density group, and the body weight was significantly lower; In both low and high vascular density groups, the retinal vascular density of macular area under moderate intensity aerobic exercise was significantly higher than that of low intensity and high intensity aerobic exercise; Systolic blood pressure and aerobic exercise were the influencing factors of vascular density in macular area; the above results showed statistically significant differences ($P<0.05$).

• **CONCLUSION:** Systolic blood pressure and aerobic exercise are factors affecting macular vascular density, and moderate intensity aerobic exercise can significantly increase macular vascular density.

• **KEYWORDS:** aerobic exercise; primary open angle glaucoma; macular area; retinal blood vessel density

¹Department of Ophthalmology; ²Department of Cardiac

Citation: Wang Y, Hao B, Liu YF, *et al.* Effects of different intensity aerobic exercises on macular retinal vascular density in patients with primary open angle glaucoma. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2022;22(1):118-122

0 引言

流行病学调查发现,青光眼是世界第二大致盲原因,且致盲性不可逆^[1]。原发性开角型青光眼(primary open angle glaucoma, POAG)和原发性闭角型青光眼(primary angle closure glaucoma, PACG)是两种常见的青光眼。其中 POAG 是一种以特征性视神经萎缩和视野缺损为主要特征的疾病。该疾病病程缓慢,无明显症状,早期不易发现。我国部分 POAG 患者就诊时其视功能已发生损害,且损伤不可逆,甚至已到晚期。因此,早期发现 POAG 并进行及时治疗尤为重要。大量临床研究已证实^[2-3],高血压是青光眼视神经病变进展的重要危险因素,降低眼压可有效缓解疾病进展。然而,一些研究表明^[4],即使眼压已降至目标水平,部分青光眼患者仍会出现视野缺陷。近年来基础及临床研究发现血管因素也是青光眼性视神经病变进展的重要因素^[5]。运动锻炼已被证实是最经济有效预防疾病和延长寿命的方法,长期规律的运动锻炼对人体有诸多益处^[6]。受此启发,眼科学者尝试研究运动锻炼对青光眼的治疗和控制是否有益。本研究利用免散瞳眼底照相技术,采用黄斑血管分割法进行黄斑区血管密度测定,分析有氧运动对 POAG 患者黄斑区血管密度的影响。

1 对象和方法

1.1 对象 前瞻性病例对照研究,纳入 2019-01/2021-04 于我院诊断为 POAG 患者 48 例 88 眼,纳入标准:依据诊断标准参考《我国原发性青光眼诊断和治疗专家共识(2014 年)》^[7],初次诊断为 POAG。招募本院学生、职工及其他科室患者家属 43 例 86 眼为正常对照组,纳入标准:(1) Goldmann 压平眼压计测量眼压 ≤ 21 mmHg (1 mmHg = 0.133 kPa),两眼差值 < 5 mmHg; (2) BCVA ≥ 1.0 ; (3) 标准自动视野计检查视野正常;双眼杯盘比 < 0.6 ,且差值 < 0.2 ; (4) 球镜度数为 $-6 \sim +5$ D。POAG 组及正常对照组排除标准:(1) 合并糖尿病或高血压;(2) 曾行抗青光眼手术、眼底激光治疗、白内障手术等眼内手术;(3) 既往使用抗青光眼药物。本研究遵守《赫尔辛基宣言》关于人体受试者研究的规定,所有受试者均被告知研究目的,并于研究之前签署知情同意书,本研究通过本院伦理委员会批准(No.2019-ZZ-026-01)。

1.2 方法

1.2.1 一般资料及血压检查 所有受试者均记录年龄、身高、体质量,并计算体质量指数(body mass index, BMI) = 体质量/身高² (kg/m²)。患者安静休息 10 min,上臂置于心脏水平,测量血压,相隔约 2 min 左右进行第 2 次测量,计算 2 次测量的平均值,并记录舒张压和收缩压。若 2 次读数相差大于 5 mmHg,再次测量,计算 3 次测量的平均数并记录。

1.2.2 眼底检查 由专门的眼科医师使用免散瞳眼底照相行免散瞳眼底照相检查。采用黄斑血管分割法进行黄斑区血管密度测定,见图 1。黄斑区和无血管区均以黄斑中心为中心,其中黄斑区的直径为 2 个视盘的圆形区域,无血管区的直径为 1 个视盘直径的圆形区域,两区域之间

为血管密度测量区域。黄斑中心定位主要使用 Haj 等^[8]方法,见图 1A。利用 Foracchia 等^[9]的方法分割视盘区域,提取方形黄斑区,以便进行后续分割,见图 1B。采用复合伽玛校正、阴影校正和各向异性耦合扩散滤波进行对比度增强,去除非血管区域和噪声。然后利用相位一致性分割从黄斑区提取的血管,见图 1C;最后,连接不连续的血管;利用像素卷积法计算血管宽度,见图 1D。利用以上分割结果进行患眼的血管密度测量。血管密度计算公式:血管密度 = 血管像素/黄斑区内所有像素。Staal 等^[10]和 Hoover 等^[11]数据库已对该方法进行了标准眼底成像测试,平均灵敏度为 0.851,准确度为 0.889。

1.2.3 眼底摄像的标准化 本研究遵循中华医学会眼科学分会制定的统一标准^[12]:(1) 每个图像视野为 45°;(2) 每眼拍摄 2 个眼底图像;(3) 黄色实线表示距离图像中心 1 个视盘直径范围的距离,黄色虚线表示距离图像中心 2 个视盘直径范围的距离,见图 2。

1.2.4 有氧运动 通过最大心率百分比划分心率区间是运动监控的有效方法^[13]。本研究采用美国运动医学会(ASCM)对最大心率百分比的计算方法^[14]:每分钟最大心率 = $206.9 - 0.67 \times$ 年龄。根据 ASCM 推荐的运动处方划分标准界定高强度(76% ~ 87% HRmax)、中等强度(64% ~ 75% HRmax)和低强度(52% ~ 63% HRmax)。具体操作如下:根据 ASCM 规定的不同强度运动心率区间,调整跑台速度,使受试者于 1 min 内达到目标心率范围,期间时刻关注受试者状态,尽量保证受试者心率稳定在规定区间范围。每次总运动时间为 30 min。运动后恢复期测量黄斑区视网膜血管密度。为减少周围环境因素对测试的干扰,所有试验于 4、5、9、10 mo 上午实施。测试持续 1 mo,每天均保证运动 30 min,参考 Thom 等^[15]的研究。

统计学分析:采用 SPSS 20.0 统计学软件分析数据,计数资料以 $n(\%)$ 表示,采用 χ^2 检验进行比较。计量资料以 $(\bar{x} \pm s)$ 表示,首先采用单因素方差进行多组间比较,若差异有统计学意义,则采用事后 LSD- t 检验进行两两比较。将有氧运动变量纳入和剔除分别建立影响黄斑区视网膜血管密度的二元 Logistic 回归模型,并利用受试者工作特征曲线(receiver operating characteristic curve, ROC)评价模型区分度,利用 Bootstrap 重复取样的方法进行内部验证。 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 正常对照组与 POAG 组患者一般资料及有氧运动前黄斑区血管密度比较 正常对照组与 POAG 组患者的性别、年龄、身高、体质量、BMI、收缩压、舒张压比较差异均无统计学意义($P > 0.05$),具有可比性。正常对照组的黄斑区血管密度明显高于 POAG 组有氧运动前黄斑区血管密度,差异具有统计学意义($P < 0.01$),见表 1。

2.2 POAG 患者有氧运动前低血管密度组和高血管密度组一般资料比较 入组的 48 例 POAG 患者参与有氧运动前的黄斑区血管密度值为 0.02517 ~ 0.29161,以中位数 0.09376 为界将 POAG 组患者分为低血管密度组(24 例,黄斑区血管密度 < 0.09376)和高血管密度组(24 例,黄斑区血管密度 ≥ 0.09376),两组患者的性别、身高、BMI、舒张压比较差异均无统计学意义($P > 0.05$);与高血管密度组患者相比,低血管密度组患者的年龄、收缩压均明

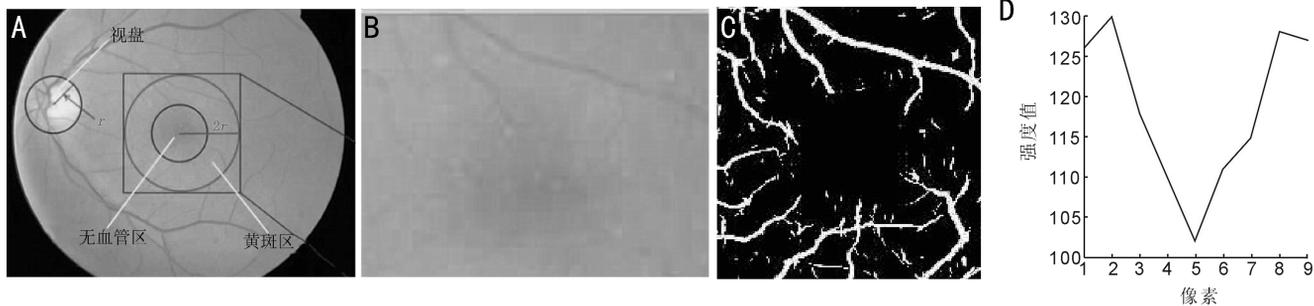


图1 黄斑区血管分割法 A:黄斑中心定位;B:提取黄斑区;C:分割阈值;D:视网膜图像中血管的灰度分布。

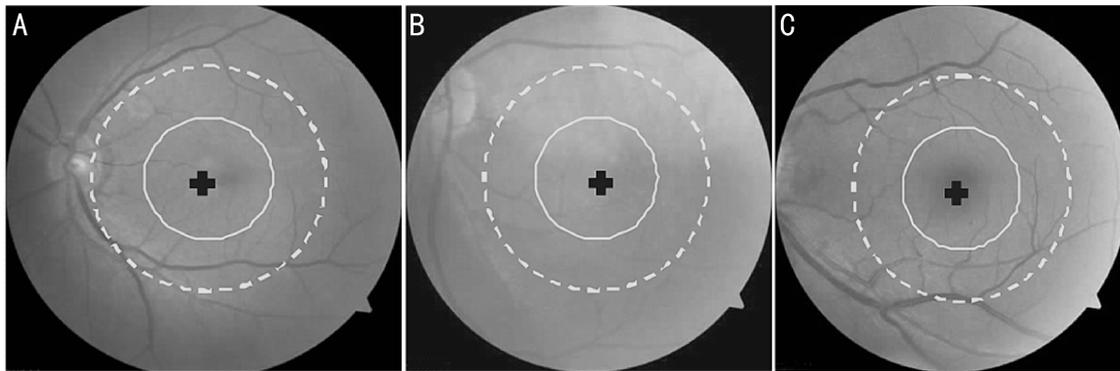


图2 眼底摄像要求 A:合格:黄斑中心凹距离图像中心 < 1个视盘直径;B:勉强合格:黄斑中心凹距离图像中心缘 1~2个视盘直径;C:不合格:黄斑中心凹距离图像中心 > 2个视盘直径。

表1 正常对照组与 POAG 组患者一般资料及有氧运动前黄斑区血管密度比较

组别	例数	年龄 ($\bar{x} \pm s$, 岁)	男/女 (例)	身高 ($\bar{x} \pm s$, cm)	体质量 ($\bar{x} \pm s$, kg)	BMI ($\bar{x} \pm s$, kg/m ²)	收缩压 ($\bar{x} \pm s$, mmHg)	舒张压 ($\bar{x} \pm s$, mmHg)	黄斑区血管 密度($\bar{x} \pm s$)
对照组	43	54.04±7.53	23/20	166.34±6.74	75.44±12.08	26.52±2.77	134.56±18.31	81.04±11.79	0.13±0.03
POAG 组	48	56.36±9.28	26/22	165.29±6.56	74.67±11.66	27.28±3.15	138.82±19.24	83.07±10.65	0.08±0.02
t/χ^2		1.300	0.017	0.752	0.309	1.216	1.079	0.863	9.443
<i>P</i>		0.197	0.896	0.454	0.758	0.227	0.284	0.390	<0.01

表2 POAG 患者中有氧运动前低血管密度组和高血管密度组一般资料比较

组别	例数	年龄 ($\bar{x} \pm s$, 岁)	男/女 (例)	身高 ($\bar{x} \pm s$, cm)	体质量 ($\bar{x} \pm s$, kg)	BMI ($\bar{x} \pm s$, kg/m ²)	收缩压 ($\bar{x} \pm s$, mmHg)	舒张压 ($\bar{x} \pm s$, mmHg)
低血管密度组	24	57.36±9.28	12/12	165.50±6.57	73.69±6.28	26.79±2.63	135.12±11.56	81.71±8.17
高血管密度组	24	49.75±8.41	14/10	168.04±7.25	78.38±7.03	28.06±3.73	129.62±6.38	82.73±7.51
<i>t</i>		2.977	0.182	1.272	2.437	1.363	2.041	0.450
<i>P</i>		0.005	0.669	0.210	0.019	0.179	0.047	0.655

显较高,体质量明显较低,差异均有统计学意义($P < 0.05$),见表2。

2.3 低血管密度组和高血管密度组患者在不同强度有氧运动 1mo 后的黄斑区视网膜血管密度比较 将低血管密度组和高血管密度组分别随机分成 3 组,每组 8 例,分别进行高强度、中等强度和低强度负荷运动。比较两组患者在不同强度有氧运动 1mo 后的黄斑区视网膜血管密度,结果发现,低血管密度组患者在不同强度有氧运动 1mo 后的黄斑区视网膜血管密度比较差异有统计学意义($F = 14.063, P < 0.01$),中等强度有氧运动患者分别与低强度和高强度相比,黄斑区视网膜血管密度均明显增加,差异均有统计学意义($P < 0.05$);而低强度和高强度有氧运动患者的黄斑区视网膜血管密度差异无统计学意义($P > 0.05$)。高血管密度组患者在不同强度有氧运动 1mo 后的

黄斑区视网膜血管密度差异有统计学意义($F = 12.672, P < 0.01$),中等强度有氧运动患者分别与低强度和高强度相比,黄斑区视网膜血管密度均明显增加,差异均有统计学意义($P < 0.05$);而低强度和高强度有氧运动患者的黄斑区视网膜血管密度差异无统计学意义($P > 0.05$)。低强度和高强度有氧运动患者中,与低血管密度组患者相比,高血管密度组患者的黄斑区视网膜血管密度均明显增加,差异有统计学意义($P < 0.05$);而中等强度有氧运动患者中,低血管密度组和高血管密度组患者的黄斑区视网膜血管密度差异无统计学意义($P > 0.05$),见表3。

2.4 影响黄斑区视网膜血管密度的二元 Logistic 回归分析

将以上低血管密度组和高血管密度组比较差异有统计学意义的变量纳入二元 Logistic 回归分析,以年龄、体质量、收缩压、有氧运动为自变量,以黄斑区血管密度值为因

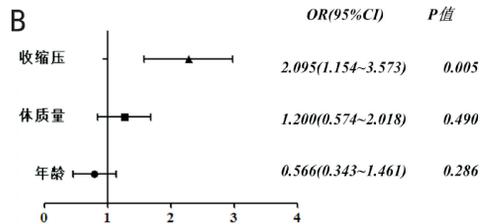
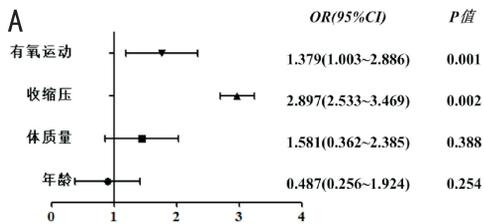


图3 影响黄斑区视网膜血管密度的二元 Logistic 回归分析模型森林图。A:模型1(纳入有氧运动的森林图);B:模型2(未纳入有氧运动的森林图)。

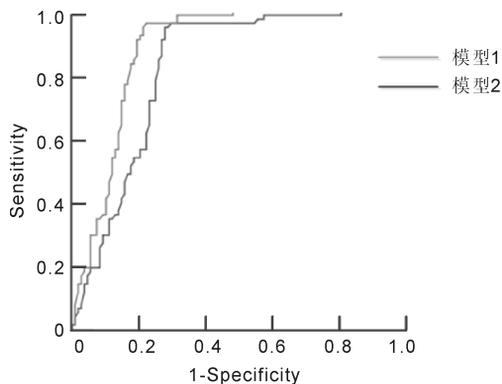


图4 影响黄斑区视网膜血管密度的二元 Logistic 回归模型的 ROC 工作曲线。

表3 低血管密度组和高血管密度组患者在不同强度有氧运动1mo后的黄斑区视网膜血管密度比较 $\bar{x} \pm s$

组别	例数	低强度	中等强度	高强度
低血管密度组	8	0.12±0.02	0.25±0.05	0.13±0.03
高血管密度组	8	0.16±0.02	0.28±0.06	0.17±0.04
<i>t</i>		4.000	1.086	2.263
<i>P</i>		0.001	0.294	0.039

表4 影响黄斑区视网膜血管密度的二元 Logistic 回归分析赋值变量表

变量	赋值
年龄	≥53.56岁=0, <53.56岁=1
体质量	≥76.04 kg=0, <76.04 kg=1
收缩压	≥132.37 mmHg=0, <132.37 mmHg=1
有氧运动	低强度=0, 中等强度=1, 高强度=2

变量,行二元 Logistic 回归分析,结果显示收缩压、有氧运动是黄斑区血管密度的影响因素($P<0.05$),见图3,表4。

2.5 ROC 预测模型评价 通过 ROC 对上述模型进行评价,模型1曲线下面积(AUC)为0.868(95%CI:0.807~0.915),预测灵敏度为83.9%,特异度为87.5%。模型2 AUC为0.758(95%CI:0.713~0.852),预测灵敏度为72.9%,特异度为75.3%,提示模型1具有更高的预测价值,见图4。

2.6 两个模型的内部验证校准图 两个模型的内部数据验证结果显示,校准图中标准曲线与预测曲线贴合较好,提示预测的黄斑区视网膜血管密度与实际检测情况存在良好的一致性,见图5。

3 讨论

大量研究认为血管因素在青光眼的发生发展中发挥

重要作用^[16]。作为视网膜上视觉最敏锐部位,黄斑在视觉功能中发挥重要作用,一旦黄斑区视网膜发生异常变性、出血等,会严重损伤患者的视觉功能。影响人体视觉功能的关键因素是 POAG 引起的眼底黄斑部病理变化。因此,研究 POAG 患者视网膜组织结构变化有助于早期发现黄斑部病变,从而为疾病的早期诊断、治疗提供指导作用。本研究利用免散瞳眼底照相相对眼底进行检查,并使用黄斑血管分割法进行黄斑区血管密度测定,通过与同年龄段健康受试者相比发现,POAG 患者的黄斑区血管密度明显低于同年龄段健康受试者。

非药物治疗具有安全、简便、易行、可持续等优点,可对 POAG 患者进行提前干预,有效改善预后,降低治疗费用。Okuno 等^[17]测量 10 名健康志愿者在 6min 马斯特二阶梯试验后的眼血流发现,15min 时视网膜血流增加,直到 60min 时这种变化不再显著。另一项研究^[18]与该研究相仿,受试者通过骑自行车训练达到靶心率并持续 20min,进行有氧运动,有氧运动增加了视网膜血流。Harris 等^[19]研究也发现,运动与视网膜血流速度增加有关。以上研究均说明,适当运动可增加视网膜血流。而较少研究运动强度对血管密度的影响。为此本研究比较低血管密度组和高血管密度组患者在不同强度有氧运动 1mo 后的黄斑区视网膜血管密度,结果发现,低血管密度组和高血管密度组患者,在中等强度有氧运动下的黄斑区视网膜血管密度明显高于低强度和高强度有氧运动。分析原因可能是,与低强度和高强度运动相比,中等强度有氧运动时大部分血液被配送到与运动有关的大肌肉群,机体通过提高血管密度,从而增加视网膜血流来维持运动过程中理想的视力。再一次佐证了以往研究结果。

为了解影响黄斑区血管密度的影响因素,本研究进一步将入组的 48 例 POAG 患者分为低血管密度组和高血管密度组,并对两组患者的临床资料进行比较发现,低血管密度组患者的年龄和收缩压均明显高于高血管密度组,体质量明显低于高血管密度组。与张浩等^[20]研究有相同的发现。Logistic 回归分析结果显示,收缩压、有氧运动是黄斑区血管密度的影响因素,与以往研究结果一致^[21]。为进一步探究有氧运动对黄斑区血管密度的预测价值,本研究基于 Logistic 回归分析结果分别建立两个预测模型,模型1将有氧运动纳入研究,模型2未纳入有氧运动。模型评价结果显示,预测模型1曲线下面积(AUC)为0.868(95%CI:0.807~0.915),预测灵敏度为83.9%,特异度为87.5%。模型2 AUC为0.758(95%CI:0.713~0.852),预测灵敏度为72.9%,特异度为75.3%,提示模型1具有更高的预测价值。采用 ROC 曲线及内部数据对模型进行验证,结果显示模型稳定、预测价值较好。

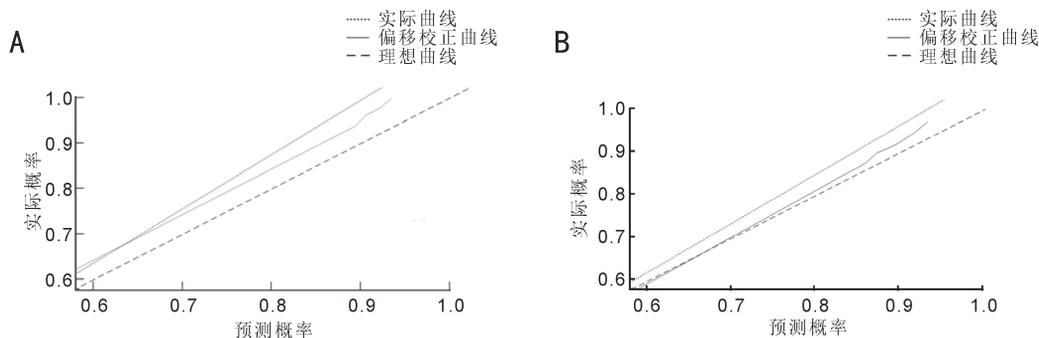


图5 两个模型的内部验证校准图 A:模型1(纳入有氧运动的森林图);B:模型2(未纳入有氧运动的森林图)。

综上所述,收缩压和有氧运动是黄斑区血管密度的影响因素,中等强度有氧运动可使低血管密度组和高血管密度组患者的黄斑区血管密度明显增加。

参考文献

- 1 Do AT, Parikh H, Panarelli JF. Subconjunctival microinvasive glaucoma surgeries: an update on the Xen gel stent and the PreserFlo MicroShunt. *Curr Opin Ophthalmol* 2020;31(2):132-138
- 2 Vig N, Ameen S, Bloom P, et al. Micropulse transscleral cyclophotocoagulation; initial results using a reduced energy protocol in refractory glaucoma. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2020;258(5):1073-1079
- 3 Alaghaband P, Galvis E, Ramirez A, et al. The effect of high-intensity focused ultrasound on aqueous humor dynamics in patients with glaucoma. *Ophthalmol Glaucoma* 2020;3(2):122-129
- 4 Vinciguerra R, Rehman S, Vallabh NA, et al. Corneal biomechanics and biomechanically corrected intraocular pressure in primary open-angle glaucoma, ocular hypertension and controls. *Br J Ophthalmol* 2020;104(1):121-126
- 5 尹文惠, 李素霞, 董春晓, 等. 穿透性角膜移植术后发生继发性青光眼的因素及治疗方法. *眼科新进展* 2020;40(3):230-234
- 6 Katsura Y, Takeda N, Hara T, et al. Comparison between eccentric and concentric resistance exercise training without equipment for changes in muscle strength and functional fitness of older adults. *Eur J Appl Physiol* 2019;119(7):1581-1590
- 7 中华医学会眼科学分会青光眼学组, 中华医学会中华眼科杂志编辑委员会. 我国原发性青光眼诊断和治疗专家共识. *中华眼科杂志* 2008;44(9):862-863
- 8 Haj Najeeb B, Deak GG, Schmidt-Erfurth UM, et al. RAP study, report 1: novel subtype of macular neovascularisation type III, cilioretinal MNV₃. *Br J Ophthalmol* 2021;105(1):113-117
- 9 Foracchia M, Grisan E, Ruggeri A. Detection of optic disc in retinal

images by means of a geometrical model of vessel structure. *IEEE Trans Med Imaging* 2004;23(10):1189-1195

- 10 Staal J, Abramoff MD, Niemeijer M, et al. Ridge-based vessel segmentation in color images of the retina. *IEEE Trans Med Imaging* 2004;23(4):501-509
- 11 Hoover A, Kouznetsova V, Goldbaum M. Locating blood vessels in retinal images by piece-wise threshold probing of a matched filter response. *Proc AMIA Symp* 1998;931-935
- 12 中华医学会眼科学分会眼底病学组, 中国医师协会眼科医师分会眼底病专业委员会. 我国糖尿病视网膜病变筛查的图像采集及阅片指南(2017年). *中华眼科杂志* 2017;53(12):890-896
- 13 叶卫兵, 马楚虹. 运动训练与最大心率. *中国运动医学杂志* 2005;24(3):381-383
- 14 Steven Jonas, Edward M. Phillips, 黄力平主译. 运动保健处方. 北京: 人民军医出版社 2013: 99-101
- 15 Thom NJ, Campbell MJ, Reyes C, et al. Effect of acute aerobic exercise on ocular measures of attention to emotionally expressive faces. *Int J Behav Med* 2021;28(3):372-381
- 16 张阳, 李元媛. 光相断层扫描血管成像技术在青光眼损害评价中的作用. *中华实验眼科杂志* 2021;39(4):365-368
- 17 Okuno T, Sugiyama T, Kohyama M, et al. Ocular blood flow changes after dynamic exercise in humans. *Eye (Lond)* 2006;20(7):796-800
- 18 Price EL, Gray LS, Humphries L, et al. Effect of exercise on intraocular pressure and pulsatile ocular blood flow in a young normal population. *Optom Vis Sci* 2003;80(6):460-466
- 19 Harris A, Arend O, Bohnke K, et al. Retinal blood flow during dynamic exercise. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 1996;234(7):440-444
- 20 张浩, 张鑫鹏, 赵芊, 等. 无视网膜病变2型糖尿病患者黄斑区血管密度及其影响因素. *眼科新进展* 2020;40(11):1074-1078
- 21 王茜, 陈冰. 糖尿病视网膜病变黄斑区血流密度和黄斑中心凹无血管区面积的变化及其意义. *医学临床研究* 2020;37(2):255-258