

· 调查研究 ·

# AI 辅助中国偏远基层社区老年人青光眼筛查对医疗费用和医保基金的影响: 基于海南省昌江黎族自治县的卫生经济学分析

肖璇<sup>1</sup> 何运臻<sup>2</sup> 陈宁江<sup>2</sup><sup>1</sup>武汉大学人民医院眼科中心 430060; <sup>2</sup>卡尔蔡司(上海)管理有限公司中国数字创新中心 200131

通信作者: 肖璇, Email: xiaoxuan1111@163.com

**【摘要】** 目的 预测中国偏远基层地区老年原发性闭角型青光眼(PACG)患者人群人工智能(AI)辅助筛查对医疗费用、医保基金支出的影响。方法 纳入海南省昌江黎族自治县 19 395 名 65 岁及以上老年人,借鉴浙江温州青光眼人群筛查的卫生经济学模型,将 PACG 按照严重程度分为原发性房角关闭可疑状态、原发性房角关闭、PACG、单眼致盲和双眼致盲 5 个状态,并结合青光眼相关文献提供的流行病学、转移概率和治疗依从性、筛查和转诊依从性、AI 筛查的敏感性和特异性以及县中西医结合医院 2016—2019 年医疗费用数据和医疗保险报销比例对卫生经济学模型进行调整,拟合昌江县 PACG 患者在 AI 辅助筛查与无筛查 2 种方案下未来 15 年内的健康转归、医疗费用与医保基金支出情况。结果 以无筛查方案为对照,实施 AI 辅助 PACG 筛查,未来 15 年内可延缓患者疾病进展,减少 PACG 患者 134 例和盲患者 9 例,分别占 43% 和 50%。在 AI 辅助筛查方案下,阳性患者的早诊断、早治疗短期内将引起医疗费用和医保基金支出过快增长,超过同时期无筛查方案下的费用。从第 3 年开始,医保基金支出将由增长扭转为下降,控费效应显现,从第 10 年开始,医疗费用同样发生由增长变为下降的转折。而在无筛查方案下,由于大量 PACG 患者进展至晚期,医疗费用持续上涨,并于第 14 年将超过筛查方案的医疗费用。结论 卫生经济学分析预测 PACG 人群 AI 辅助筛查在中国偏远基层地区不仅具有良好的成本效益,而且可延缓疾病进展,长期可节省医疗费用与医保基金支出。

**【关键词】** 青光眼筛查; 卫生经济学; 人工智能; 基层社区医疗

基金项目: 昌江县域眼底筛查慢病管理项目(2019—2024)

DOI:10.3760/ema.j.cn115989-20191122-00507

## Impact of artificial intelligence-assisted community-based screening for senile glaucoma on health expenses and medical insurance expenditures in rural areas: health economic evidence from Changjiang Li autonomous county, Hainan province

Xiao Xuan<sup>1</sup>, He Yunzhen<sup>2</sup>, Chen Ningjiang<sup>2</sup><sup>1</sup>Eye Center, Renmin Hospital of Wuhan University, Wuhan 430060, China; <sup>2</sup>Carl Zeiss (Shanghai) Co., Ltd., Zeiss Digital Partners, Shanghai 200131, China

Corresponding author: Xiao Xuan, Email: xiaoxuan1111@163.com

**[Abstract]** **Objective** To predict the financial impact of artificial intelligence (AI)-assisted community-based screening for primary angle-closure glaucoma (PACG) among the elderly on health expenses and medical insurance expenditures in remote areas of China. **Methods** A total of 19 395 people aged more than 65 years old from Changjiang Li autonomous county, Hainan province were enrolled. A health economic model for glaucoma screening in Wenzhou, Zhejiang province was adopted. PACG was classified as suspected primary angle closure, primary angle closure, PACG, monocular blindness and binocular blindness according to its severity. The model was adjusted in combination with the epidemiology, metastasis probability and treatment compliance, screening and referral compliance, sensitivity and specificity of AI screening from glaucoma related literature and using data on local epidemiology and health costs of glaucoma from the Changjiang Hospital of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine from 2016 to 2019. The health outcome, total health expenses and medical insurance expenditures of AI-assisted community-based screening and no screening for PACG in 15 years were compared and analyzed.

**Results** It is found that the AI-assisted community-based screening would prevent disease progression and reduce the number of PACG patients by 43% (134 cases) and blind patients by 50% (9 cases) in 15 years in comparison with no screening. Under the AI-assisted community-based screening system, the early diagnosis and intervention of positive PACG patients will cause the dramatic increase of both total health expenses and medical insurance expenditures compared with no screening in the short term. It was predicted that the increasing trend of medical insurance expenditure would turn to a downward trend and show cost saving advantage at the third year, whereas the declining trend of total health expense would not occur until 10 years later. Without screening, a large number of PACG patients would progress to advanced stages, so the medical costs would continue to rise and exceed the medical costs of the screening system at the 14th year. **Conclusions** The AI-assisted community-based screening for PACG is cost-effective and can prevent disease progression, save health expenses and medical insurance expenditures in the long run in remote areas of China.

[**Key words**] Glaucoma screening; Health economics; Artificial intelligence; Grassroots community healthcare

[**Fund program**] Chronic Disease Management Project of Fundus Screening in Changjiang (2019–2024)

DOI: 10. 3760/cma. j. cn115989-20191122-00507

青光眼是一种因视网膜神经节细胞和视神经纤维丢失而导致视野缺损和视力下降的慢性、不可逆性眼病,是全球主要的致盲眼病<sup>[1]</sup>。2015年,我国青光眼流行病学特征以原发性闭角型青光眼(primary angle-closure glaucoma, PACG)为主,其患病率约为1.40%,患病人数约为714万人<sup>[2]</sup>。随着人口老龄化进程的加快,估计2020年我国PACG患者数量高达750万人<sup>[3]</sup>。可见,以PACG为主的青光眼已成为我国一个重要的公共卫生问题。考虑到青光眼视力和视野丢失的不可逆性,早发现、早诊断和早干预对青光眼的防治至关重要,可有效延缓患者的视神经损害<sup>[4-5]</sup>。然而早期青光眼症状隐匿导致了我国青光眼患者的总体诊断率不足10%,明显低于国际上的50%诊断率<sup>[6]</sup>,即90%患者仍处于未被诊断的危险状态<sup>[7]</sup>。这一现状决定了青光眼防控工作需延伸至社区,通过人群筛查尽早发现无症状的“危险房角”人群和早期患者,从而将治疗窗口提前。长期以来,我国基层眼科防控体系薄弱、眼科医师缺乏且专业技能不足<sup>[8]</sup>,致使基层眼病综合防控工作举步维艰。近年来,如何基于人工智能(artificial intelligence, AI)影像诊断来弥补基层硬件与能力短缺、辅助人群筛查已成为国内外眼科领域探讨的热点<sup>[9-10]</sup>。文献报道当前辅助青光眼筛查的AI应用主要基于机器学习算法来自动读取、分析眼底照相或光相干断层扫描(optical coherence tomography, OCT)图片,根据视网膜神经纤维层厚度、杯盘比、视盘出血等来智能判断是否青光眼可疑并给出转诊建议<sup>[11]</sup>。AI辅助诊断的优势是简单快捷,不需要过多依赖医生个人经验,同时提高诊断准确率。我国一项研究选取48 116份彩色眼底照片训练和验证青光眼深度学习系统,结果显示该系统鉴别青光眼可转诊病

例的敏感性和特异性分别高达95.6%和92.0%,受试者工作特征曲线下面积为0.986<sup>[12]</sup>。国外有研究通过Meta分析也显示青光眼深度学习模型的受试者工作特征曲线下面积为0.923~0.957<sup>[11]</sup>。智能诊疗技术在人群筛查中的适宜性、经济性尚不明确,缺乏相关实证研究,而决策者希望了解AI辅助人群筛查对卫生系统医疗费用、医疗保险基金将带来怎样的影响<sup>[13]</sup>。基于此,本研究以海南省昌江黎族自治县(简称昌江县)为例,利用卫生经济学模型预测AI辅助的偏远地区老年PACG患者人群筛查对医疗费用、医保基金支出的影响,以期能为政府卫生决策提供依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 海南省昌江县基本情况

昌江县位于海南省西北偏西部,土地总面积1 617平方公里,下辖8个乡镇共179个自然村。2017年全县人口23.2万人,其中0~14岁47 676人,占20.55%,15~64岁164 929人,占71.09%,65岁及以上19 395人,占8.36%。2017年国民生产总值总量为114.44亿元,在全省19个市或县中排名第13<sup>[14]</sup>。该县基本医疗卫生服务主要由2家综合性二级甲等医院承担,分别为昌江黎族自治县人民医院(开放床位315张,现有卫生技术人员428人,其中高级职称35人)和昌江黎族自治县中西医结合医院(开放病床近400张,拥有卫生技术人员402人,其中高级职称48人,中级职称75人)<sup>[15]</sup>。2017年全县门、急诊1 232 160人次,出院25 742人。绝大多数眼科患者由昌江黎族自治县中西医结合医院收治,而昌江黎族自治县人民医院的眼科患者主要以白内障和翼状胬肉为主。

### 1.2 昌江县 AI 辅助青光眼人群筛查拟实施方案

依托武汉大学人民医院昌江医疗集团眼病慢病管理办公室,本项目拟为全县范围内 65 岁以上老年人提供青光眼筛查,并打造“社区筛查-AI 辅助诊断-专家远程确诊-县域内治疗或随访管理”的基层眼科慢病管理模式。计划由昌江黎族自治县人民医院和昌江黎族自治县中西医结合医院的眼科医师、技师和护士组成筛查小组,指导培训各个社区卫生服务中心或乡镇卫生院开展筛查工作。将眼科检查数据输入青光眼 AI 筛查系统,智能分析具有重要临床意义的杯盘比、视盘出血等参数后给出评估报告,由眼科医生云端复核审查完成初步诊断。初筛阳性患者将通过绿色通道转诊至县医院进一步复查,包括裂隙灯显微镜检查、眼底照相、OCT、视野检查等,所有检查资料网络发送至武汉大学人民医院眼科中心,由青光眼专家远程阅片并做出最终诊断(图 1)。

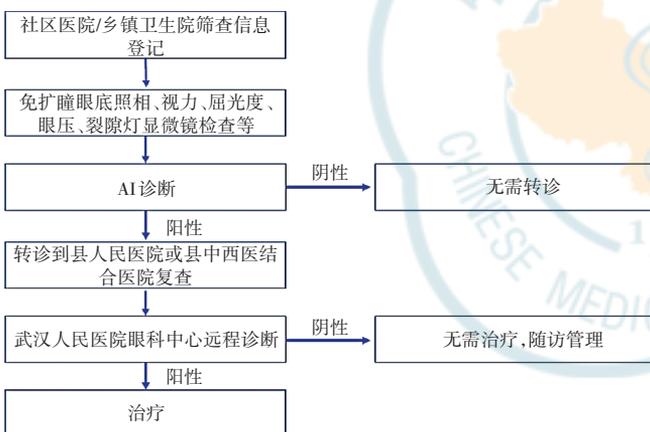


图 1 昌江县 AI 辅助青光眼人群筛查流程图 AI:人工智能  
Figure 1 Flowchart of AI-assisted glaucoma screening in Changjiang Li autonomous county AI:artificial intelligence

此外,筛查过程拟采取以下质量控制措施:(1)制定规范的组织管理、加强青光眼筛查工作的宣传力度和科普常识;(2)开展内部人员培训。昌江医疗集团眼病慢病管理办公室制定筛查工作执行方案,并组织专家对参与青光眼筛查的工作人员开展操作技术培训,确保筛查眼科医生掌握可疑青光眼、青光眼的诊断标准;(3)建立电子档案,社区数据由检查仪器直接连接网络上传;(4)规范诊断治疗,落实《中国原发性闭角型青光眼诊治方案专家共识

(2019 年)》、《我国原发性青光眼诊断和治疗专家共识(2014 年)》等诊疗规范和指南<sup>[16-17]</sup>; (5)制定社区随诊制度,进行月度上报和考核。

### 1.3 卫生经济学模型构建

构建决策分析模型是一种常用的卫生经济学评价方法,其原理是拟合 2 种或 2 种以上卫生干预方案的成本和效果,进而评价不同方案的投入产出比以及预测其对医疗费用、医保基金支出的影响。其中,源自数学建模领域的马尔可夫模型是常用的决策分析模型。本研究采用浙江温州青光眼人群筛查的马尔可夫模型<sup>[19]</sup>,模拟昌江县青光眼患者随时间变化的疾病进展,以及在这个进展过程中所产生的医疗费用。本研究选择该模型主要原因为:(1)可完整、准确地拟合 PACG 患者终生的疾病转归;(2)已公开发表,有效性、科学性及其可靠性经过同行评审的检验。

本研究中的模型基于国际分类方法,将 PACG 按照严重程度分为原发性房角关闭可疑状态(suspected primary angle closure, PACS)、原发性房角关闭(primary angle closure, PAC)、PACG、单眼致盲和双眼致盲 5 个状态。处于每个状态的患者都有一定比例接受相应的临床治疗,治疗方案参照《中国原发性闭角型青光眼诊治方案专家共识(2019 年)》<sup>[16]</sup>,PACS 和 PAC 患者首选激光周边虹膜切开术或切除术。部分效果不佳者,进一步联合药物治疗。若疾病进展为 PACG,则根据病情采取单独内科治疗、复合式小梁切除术或两者联合治疗。此外,任何一个状态都有可能发生死亡。最终,模型由 11 个健康状态构成,拟合了青光眼患者终生的自然疾病进程,并涵盖了可能出现的临床治疗措施(图 2)。模型每模拟循环 1 个周期的时长为 1 年,总共模拟 15 个周期。

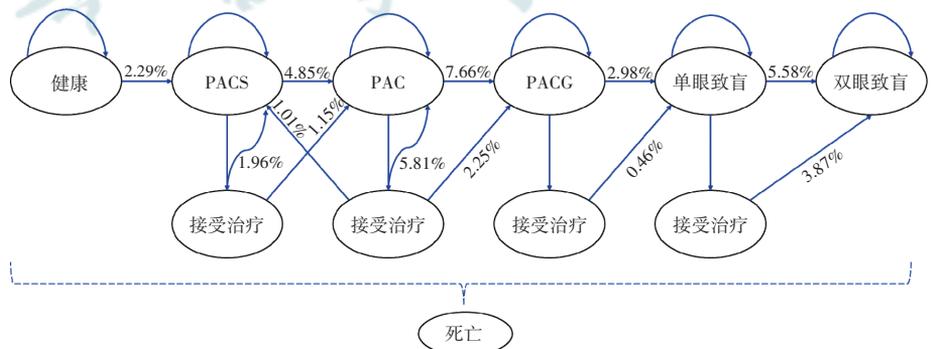


图 2 青光眼患者疾病进展的马尔可夫模型示意图 箭头表示一个状态转移到另一个状态的方向,箭头旁的数字代表相应的转移概率 PACS:原发性可疑房角关闭状态;PAC:原发性房角关闭;PACG:原发性闭角型青光眼

Figure 2 Schematic diagram of the Markov model simulating the progression of glaucoma The arrow indicated the direction of transition from one state to another, and the number next to the arrow represented the corresponding transition probability PACS: suspected primary angle closure; PAC: primary angle closure; PACG: primary angle-closure glaucoma

#### 1.4 卫生经济学模型关键参数设置

为了确保模型充分反映昌江县实际情况,本研究对温州模型进行适当的“本土化调整”,代入昌江县当地的部分费用参数。

**1.4.1 流行病学参数** 基于已有文献的 Meta 分析结果,中国农村地区的 PACS、PAC 和 PACG 在总体人群中的患病率分别为 8.618%、1.797% 和 0.592%<sup>[18]</sup>。结合昌江县 65 岁以上人口数 19 395 人,可估算得到 65 岁以上已有 PACS、PAC 和 PACG 患者分别约为 1 671、349 和 115 例,其余 17 260 人是当前未患、但未来可能发生青光眼事件的人群。

**1.4.2 转移概率和治疗依从性参数** 转归概率代表每经历一个周期,患者从当前状态转移到下一个状态的可能性大小。转移概率主要来自经过严格设计的临床试验、前瞻性或回顾性队列研究,从而确保模型的科学性。同时,为了简化模型,本研究规定模型遵从以下假设:(1)实施筛查与不实施筛查 2 种干预方式下,早期 PACS 和 PAC 患者接受临床治疗的依从性不同。

其中,经筛查发现的早期阳性患者有 32% 的比例进一步转诊治疗。而在无筛查情况下,PACS 和 PAC 阶段患者通过机会性筛查,有一定概率提早接受临床治疗;(2)早期 PACS 和 PAC 患者接受临床治疗可能会出现治疗效果不佳而返回未治疗状态;(3)每个阶段只接受一次临床治疗;(4)晚期青光眼患者盲事件线性发展,即先单眼、后双眼。青光眼患者不同状态之间的转移概率见表 1。

#### 1.4.3 筛查和转诊依从性参数

参照浙江温州青光眼筛查研究<sup>[18]</sup>,昌江县 65 岁以上居民每年参与青光眼人群筛查的比例设定为 86%,而经筛查发现的阳性患者的转诊治疗率为 57%。

#### 1.4.4 AI 诊断的敏感性与特异性参数

当前尚无随机临床试验或真实世界研究证明青光眼 AI 筛查的准确性,因此本研究采用 Li 等<sup>[12]</sup>报道的眼底照片深度学习算法诊断的敏感性(95.60%)和特异性(92.00%)来模拟 AI 辅助青光眼筛查的准确性参数,主

要原因是:(1)基于深度学习的眼底图像识别技术是当前主流的青光眼人工智能模型之一<sup>[11]</sup>;(2)该模型已经我国患者的 48 116 份眼底照片训练和验证,样本量足够大,可充分反映我国患者眼底特征。

**1.4.5 医疗成本参数** 青光眼患者接受临床治疗的费用主要来自昌江黎族自治县中西医结合医院、温州青光眼人群筛查模型以及专家咨询。其中,PACG 患者、进展至单眼致盲或双眼致盲患者的平均治疗费用是基于昌江黎族自治县中西医结合医院 2016—2019 年青光眼病案首页数据计算而得。医疗费用大致分为急性期住院治疗和门诊长期服药 2 类。其中,急性期住院治疗的费用涵盖检查检验、诊察、床日、护理、手术、中西药物、材料等项目。患者长期门诊随访与服药的成本已换算成每年费用(表 2,3)。

**1.4.6 医保支付比例参数** 由于我国基本医疗保险支付政策以住院为主,因此本研究假定昌江县基本医疗保险的报销范围仅覆盖住院治疗,相应的偿付比例如表 4 所示。

表 1 青光眼患者不同状态之间的转移概率  
Table 1 Transferring probability between different states of glaucoma patients

状态间转移	筛查情境		无筛查情境	
	转移概率(%)	来源	转移概率(%)	来源
健康				
从健康到 PACS	2.29	[19]	2.29	[19]
原发性房角关闭可疑状态 PACS				
从 PACS 到治疗后 PACS	32.00	[20]	2.20	[18]
从 PACS 到 PAC	4.85	[20-22]	4.85	[20-22]
从治疗后 PACS 到 PAC	1.15	[23]	-	-
从治疗后 PACS 到 PACS	1.96	[23]	-	-
原发性房角关闭 PAC				
从 PAC 到治疗后 PAC	32.00	[20]	2.20	[18]
从 PAC 到 PACG	7.66	[20]	7.66	[20]
从治疗后 PAC 到 PACG	2.25	[18,20]	-	-
从治疗后 PAC 到 PAC	5.81	[20]	-	-
原发性闭角型青光眼 PACG				
从 PACG 到治疗后 PACG	80.00	[18]	30.00	[6]
从 PACG 到单眼致盲	2.98	[18,24-25]	2.98	[18,24-25]
从治疗后 PACG 到单眼致盲	0.46	[26]	0.46	[26]
单眼致盲				
从单眼致盲到单眼致盲接受治疗	80.00	假设	80.00	假设
从单眼致盲到双眼致盲	5.58	[18]	5.58	[18]
从单眼致盲接受治疗到双眼致盲	3.87	[18]	3.87	[27]

注:PACS:原发性房角关闭可疑状态;PAC:原发性房角关闭;PACG:原发性闭角型青光眼;-:无数据  
Note:PACS:suspected primary angle closure;PAC:primary angle closure;PACG:primary angle-closure glaucoma;-:no data

## 2 结果

### 2.1 青光眼患者长期健康转归

由马尔可夫模型拟合的昌江县老年 PACG 患者在 AI 辅助筛查与不筛查 2 种方案下未来 15 年的分布, PACS、PAC 和 PACG 患者例数均呈现先增加后减少的变化趋势(图 3)。健康人群每年发展为 PACS 的比例相同, 因此 2 种方案下的 PACS 患者例数在早期均保持增长, 并且筛查方案下 PACS 患者上升更为显著, 这与 AI 辅助筛查方案下对更多的 PACS 患者进行早干预从而延缓疾病进展, 以及 PAC 阶段患者因有效治疗后恢复至 PACS 有关。筛查可以实现早期青光眼患者的早发现、早诊断和早干预, 患者的疾病进展将得到有效减缓, 因此 AI 辅助筛查方案下 PAC、PACG、单眼与双眼致盲患者例数上升的速率、幅度均低于无筛查方案。

昌江县每年不同分期青光眼的分布拟合结果显示, 第 1 年, AI 辅助筛查方案与无筛查方案 PACG、单眼致盲、双眼致盲青光眼患者分布相同, 表明筛查的效果尚不明显; 但从第 2 年开始, 得益于前期 PACS 和 PAC 筛查阳性患者的早期干预, AI 辅助筛查方案下进展到 PACG 的患者例数低于无筛查方案; 15 年后, 预计在 AI 辅助筛查方案下昌江县 PACS、PAC、PACG、单眼致盲和双眼致盲的患者分别为 3 049、677、176、8 和 1 例, 而无筛查方案下相应的患者分别为 2 570、922、310、16 和 2 例; AI 辅助筛查方案将更多的患者控制在早期 PACS 阶段。最终, 以无筛查方案为对照, 15 年内 AI 辅助筛查方案可减少 PACG 患者 134 例, 占 43%, 防止盲患者 9 例, 占 50%(表 5)。

表 2 住院治疗平均费用  
Table 2 Average cost of hospital stay

患病状态	平均费用(元/次)	来源
青光眼相关诊断费用	107.96	[18]
PACS 或 PAC 的住院治疗	712.95	[18]
PACG 的住院治疗	3 901.76	昌江县中西医结合医院 2016—2019 年病案数据
单眼致盲的住院治疗	6 737.40	昌江县中西医结合医院 2016—2019 年病案数据
双眼致盲的住院治疗	8 509.32	昌江县中西医结合医院 2016—2019 年病案数据

注: PACS: 原发性房角关闭可疑状态; PAC: 原发性房角关闭; PACG: 原发性闭角型青光眼  
Note: PACS: suspected primary angle closure; PAC: primary angle closure; PACG: primary angle-closure glaucoma

表 3 长期门诊服药费用  
Table 3 Cost of long-term outpatient medication treatment

患病状态	平均费用(元/年)	来源
PACS、PAC	12.02	[19]
PACG	2 400.00	咨询专家
单眼致盲	2 400.00	假设与 PACG 相同
双眼致盲	2 400.00	假设与 PACG 相同

注: PACS: 原发性房角关闭可疑状态; PAC: 原发性房角关闭; PACG: 原发性闭角型青光眼  
Note: PACS: suspected primary angle closure; PAC: primary angle closure; PACG: primary angle-closure glaucoma

表 4 昌江县基本医保报销比例  
Table 4 Reimbursement rate of basic medical insurance in Changjiang Li autonomous county

医疗服务项目	平均报销比例(%)	来源
PACS 或 PAC 的住院治疗	65	假定与 PACG 相同
PACG 的住院治疗	65	昌江县中西医结合医院 2016—2019 年病案数据
单眼致盲的住院治疗	76	昌江县中西医结合医院 2016—2019 年病案数据
双眼致盲的住院治疗	82	昌江县中西医结合医院 2016—2019 年病案数据

注: PACS: 原发性房角关闭可疑状态; PAC: 原发性房角关闭; PACG: 原发性闭角型青光眼  
Note: PACS: suspected primary angle closure; PAC: primary angle closure; PACG: primary angle-closure glaucoma

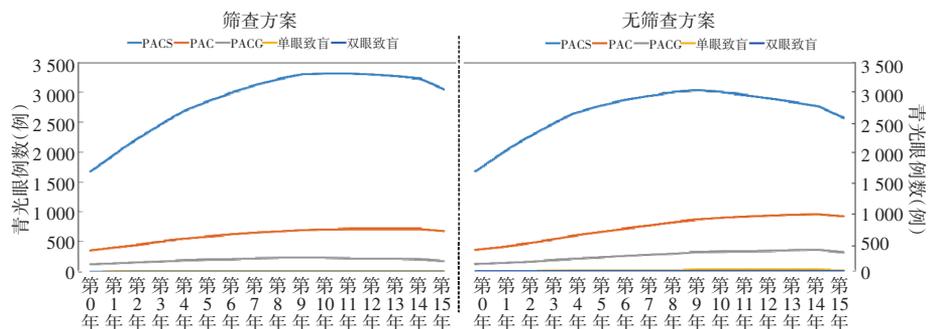


图 3 不同方案下昌江县青光眼患者的长期健康转归 PACS: 原发性房角关闭可疑状态; PAC: 原发性房角关闭; PACG: 原发性闭角型青光眼

Figure 3 Long-term outcome of glaucoma patients in Changjiang Li autonomous county under two plans PACS: suspected primary angle closure; PAC: primary angle closure; PACG: primary angle-closure glaucoma

表 5 昌江县青光眼患者健康转归的模型拟合结果 (n, 例)  
Table 5 Simulation modeling results of outcomes of glaucoma patients in Changjiang Li autonomous county under two plans (n, case)

时间	AI 辅助筛查方案									无筛查方案								
	PACS 未治疗	PACS 治疗	PAC 未治疗	PAC 治疗	PACG 未治疗	PACG 治疗	单眼致盲 未治疗	单眼致盲 治疗	双眼致盲	PACS 未治疗	PACS 治疗	PAC 未治疗	PAC 治疗	PACG 未治疗	PACG 治疗	单眼致盲 未治疗	单眼致盲 治疗	双眼致盲
第 0 年	1 671	0	349	0	115	0	0	0	0	1 671	0	349	0	115	0	0	0	0
第 1 年	1 722	235	350	48	93	40	1	3	0	1 923	34	391	7	107	26	1	3	0
第 2 年	1 674	546	343	106	77	74	1	5	0	2 139	73	440	15	102	52	1	5	0
第 3 年	1 598	867	336	163	70	101	1	7	0	2 324	115	496	23	102	75	1	8	0
第 4 年	1 521	1 172	332	216	66	124	1	9	1	2 480	159	555	32	106	98	1	10	1
第 5 年	1 428	1 428	325	259	63	135	1	10	1	2 564	201	605	41	109	113	1	12	1
第 6 年	1 347	1 650	320	295	62	144	1	10	1	2 623	243	653	51	115	128	1	13	1
第 7 年	1 276	1 843	317	327	62	152	1	11	1	2 659	284	699	61	123	142	1	15	2
第 8 年	1 214	2 010	316	355	63	159	1	11	2	2 676	323	742	71	132	157	1	16	2
第 9 年	1 157	2 153	315	380	63	166	1	12	2	2 676	361	781	82	141	172	1	17	2
第 10 年	1 086	2 236	308	395	62	162	1	11	2	2 615	390	801	92	143	177	1	18	2
第 11 年	1 021	2 298	302	406	61	158	0	11	2	2 543	416	816	101	146	182	1	18	3
第 12 年	960	2 341	296	415	60	154	0	11	2	2 464	439	826	109	150	186	1	18	3
第 13 年	903	2 369	290	422	60	150	0	10	2	2 379	458	832	118	152	191	1	18	3
第 14 年	850	2 383	284	427	59	147	0	10	2	2 289	475	833	126	155	195	1	19	3
第 15 年	766	2 283	265	412	53	123	0	8	1	2 103	467	795	127	140	170	1	15	2

注: AI: 人工智能; PACS: 原发性房角关闭可疑状态; PAC: 原发性房角关闭; PACG: 原发性闭角型青光眼  
Note: AI: artificial intelligence; PACS: suspected primary angle closure; PAC: primary angle closure; PACG: primary angle-closure glaucoma

2.2 昌江县青光眼患者长期医疗费用及医保基金支出预测

根据模型拟合的每年青光眼各个疾病状态患者的分布与就诊情况, 结合青光眼诊治的平均医疗费用, 估计 AI 辅助筛查与无筛查 2 种方案下每年医疗资源的耗费情况。AI 辅助筛查方案下, 由于大量无症状/轻微症状的 PACS、PAC 阶段患者被提前诊断进而转诊治疗, 因此前期医疗费用涨幅较大, 增速较快, 年医疗费用从第 1 年的 514 265.24 元/年快速增长至第 4 年的 801 867.62 元/年; 模型预测随着眼科慢病管理, 节省医疗费用的效应逐渐显现, 年医疗费用增速逐渐放缓, 并在第 9 年达到峰值 848 494.46 元/年, 从第 10 年开始, 费用开始由增长扭转为下降。在无筛查方案下, 由于未早发现、早治疗, 大量早期患者进展到

PACG, 甚至致盲阶段, 因此医疗费用持续上涨, 并在第 14 年 (739 839.19 元/年) 开始反超 AI 辅助筛查方案下的费用 (735 381.15 元/年) (图 4, 表 6, 7)。

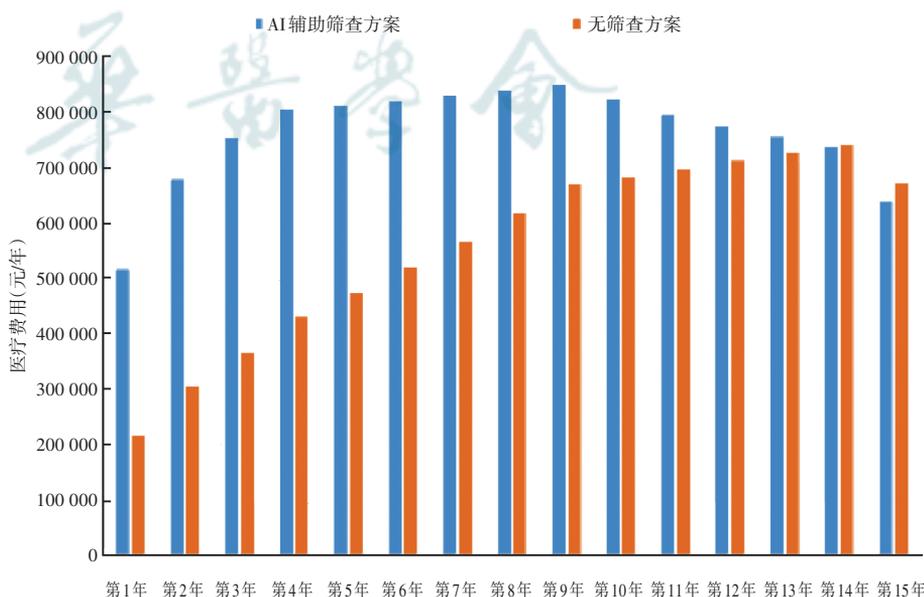


图 4 2 种方案下拟合昌江县青光眼患者总医疗费用对比  
Figure 4 Comparison of total medical expense of glaucoma patients in Changjiang Li autonomous county under two plans

**表 6 AI 辅助筛查方案下昌江县青光眼患者未来 15 年的医疗费用预测 (元/年)**  
**Figure 6 Prediction of medical expense of glaucoma patients in Changjiang Li autonomous county in the next 15 years with AI-assisted community-based screening ( yuan/year)**

时间	PACS 住院费用	PACS 门诊服药	PAC 住院费用	PAC 门诊服药	PACG 住院费用	PACG 门诊服药	单眼致盲 住院费用	单眼致盲 门诊服药	双眼致盲 住院费用	双眼致盲 门诊服药	合计
第 1 年	167 575.26	2 824.84	33 965.65	33 965.65	156 018.31	95 967.96	17 657.58	6 289.99	0.00	0.00	514 265.24
第 2 年	229 480.06	6 567.10	45 228.65	45 228.65	141 583.12	178 407.24	18 566.98	12 325.41	1 109.10	312.82	678 809.13
第 3 年	246 174.24	10 423.70	48 536.81	48 536.81	119 058.75	242 997.58	16 988.90	17 243.59	1 890.99	828.82	752 680.19
第 4 年	244 950.01	14 087.48	49 346.38	49 346.38	106 127.08	296 504.26	16 116.56	21 398.67	2 502.18	1 488.61	801 867.62
第 5 年	233 492.35	17 158.63	48 715.75	48 715.75	94 822.85	324 655.23	15 057.20	23 407.94	2 811.58	2 098.78	810 936.05
第 6 年	221 161.62	19 833.38	48 142.20	48 142.20	89 645.82	346 756.86	14 684.27	24 969.39	3 038.57	2 698.04	819 072.35
第 7 年	209 659.31	22 150.02	47 772.23	47 772.23	87 777.34	365 459.88	14 676.17	26 283.19	3 221.48	3 275.29	828 047.12
第 8 年	199 372.83	24 151.03	47 595.86	47 595.86	87 589.23	382 143.80	14 850.29	27 453.06	3 379.73	3 826.28	837 957.97
第 9 年	190 219.64	25 874.90	47 561.50	47 561.50	88 233.70	397 526.22	15 111.22	28 532.49	3 523.22	4 350.07	848 494.46
第 10 年	178 775.51	26 870.72	46 772.57	46 772.57	84 019.98	387 750.81	14 459.38	27 379.19	3 378.68	4 478.32	820 657.74
第 11 年	168 373.21	27 613.53	46 035.67	46 035.67	81 701.47	378 060.53	14 054.03	26 336.30	3 241.72	4 543.63	795 995.76
第 12 年	158 812.11	28 137.24	45 314.32	45 314.32	80 431.08	369 086.92	13 786.98	25 428.70	3 120.36	4 562.33	773 994.36
第 13 年	149 944.60	28 470.63	44 583.71	44 583.71	79 596.85	360 987.46	13 585.90	24 650.00	3 015.86	4 548.02	753 966.76
第 14 年	141 664.86	28 638.45	43 828.35	43 828.35	78 886.66	353 703.32	13 411.97	23 981.40	2 926.56	4 511.23	735 381.15
第 15 年	128 167.61	27 435.78	41 198.01	41 198.01	66 542.31	295 519.83	11 179.02	19 004.94	2 291.54	3 586.06	636 123.11
合计	2 867 823.22	310 237.45	684 597.65	684 597.65	1 442 034.55	4 775 527.89	224 186.47	334 684.25	39 451.57	45 108.31	

注: AI: 人工智能; PACS: 原发性房角关闭可疑状态; PAC: 原发性房角关闭; PACG: 原发性闭角型青光眼  
 Note: AI: artificial intelligence; PACS: suspected primary angle closure; PAC: primary angle closure; PACG: primary angle-closure glaucoma

**表 7 无筛查方案下昌江县青光眼患者未来 15 年的医疗费用预测 (元/年)**  
**Table 7 Prediction of medical expense of glaucoma patients in Changjiang Li autonomous county in the next 15 years without screening ( yuan/year)**

时间	PACS 住院费用	PACS 门诊服药	PAC 住院费用	PAC 门诊服药	PACG 住院费用	PACG 门诊服药	单眼致盲 住院费用	单眼致盲 门诊服药	双眼致盲 住院费用	双眼致盲 门诊服药	合计
第 1 年	24 583.94	414.41	4 982.89	84.00	99 877.03	61 435.06	17 657.58	6 289.99	0.00	0.00	215 324.91
第 2 年	28 284.31	877.31	5 576.70	174.95	106 256.83	123 817.96	20 249.12	12 924.62	1 109.10	312.82	299 583.72
第 3 年	31 467.95	1 378.35	6 286.54	274.55	102 416.53	180 816.31	20 502.06	19 039.14	2 012.14	862.99	365 056.58
第 4 年	34 185.34	1 908.40	7 076.82	383.86	101 848.98	234 704.08	21 097.89	24 803.53	2 808.84	1 607.38	430 425.13
第 5 年	35 842.99	2 416.29	7 779.16	494.54	99 708.38	272 149.58	21 103.56	28 432.89	3 311.46	2 343.95	473 582.80
第 6 年	37 066.84	2 919.17	8 480.22	611.14	101 935.50	307 154.17	21 893.70	31 774.79	3 748.38	3 113.30	518 697.22
第 7 年	37 914.24	3 410.96	9 160.45	733.00	107 124.31	341 788.03	23 219.99	35 065.26	4 162.83	3 905.05	566 484.13
第 8 年	38 436.07	3 886.72	9 805.18	859.23	114 096.54	377 185.86	24 882.75	38 432.24	4 579.38	4 717.05	616 881.02
第 9 年	38 677.46	4 342.54	10 403.77	988.83	122 010.06	413 848.92	26 736.15	41 931.64	5 010.33	5 550.88	669 500.57
第 10 年	37 994.69	4 690.96	10 755.34	1 100.90	122 618.15	425 292.06	26 912.46	42 253.94	5 044.56	5 921.33	682 584.38
第 11 年	37 126.05	5 001.29	11 035.07	1 209.84	124 586.17	436 176.67	27 375.37	42 669.92	5 082.92	6 232.38	696 495.68
第 12 年	36 111.47	5 273.66	11 243.97	1 314.67	127 283.44	447 037.64	27 978.44	43 208.83	5 135.78	6 499.36	711 087.25
第 13 年	34 984.96	5 508.71	11 384.65	1 414.53	130 098.86	457 951.32	28 608.76	43 853.20	5 204.32	6 735.07	725 744.38
第 14 年	33 775.42	5 707.57	11 460.90	1 508.69	132 648.57	468 746.11	29 194.34	44 563.79	5 284.98	6 948.83	739 839.19
第 15 年	32 507.32	5 620.42	11 477.28	1 528.22	134 720.23	407 948.76	29 692.92	36 846.45	5 372.36	5 746.61	671 460.56
合计	518 959.06	53 356.79	136 908.94	12 680.95	1 727 229.58	4 956 052.53	367 105.07	492 090.25	57 867.37	60 496.99	

注: PACS: 原发性房角关闭可疑状态; PAC: 原发性房角关闭; PACG: 原发性闭角型青光眼  
 Note: PACS: suspected primary angle closure; PAC: primary angle closure; PACG: primary angle-closure glaucoma

2 种方案下昌江县医保基金在青光眼住院治疗上的支出预测结果分析可见,在无筛查方案下,随着越来越多的患者进展至 PACG 或致盲阶段,医保基金支出持续增长,从第 1 年的 97 558.27 元/年持续增长至第 15 年的 143 130.09 元/年;而在筛查方案下,医保基金年支出在第 1 年和第 2 年分别骤增至 245 833.25 元/年和 285 610.06 元/年,随后从第 3 年开始,医保基金支出由增长转为下降,年医保费用从第 3 年的 283 412.55 元/年逐渐减少至第 15 年的 163 715.28 元/年,并且与无筛查方案下医保基金支出的差异逐渐缩窄,体现出青光眼筛查控费的效应(图 5,表 8)。

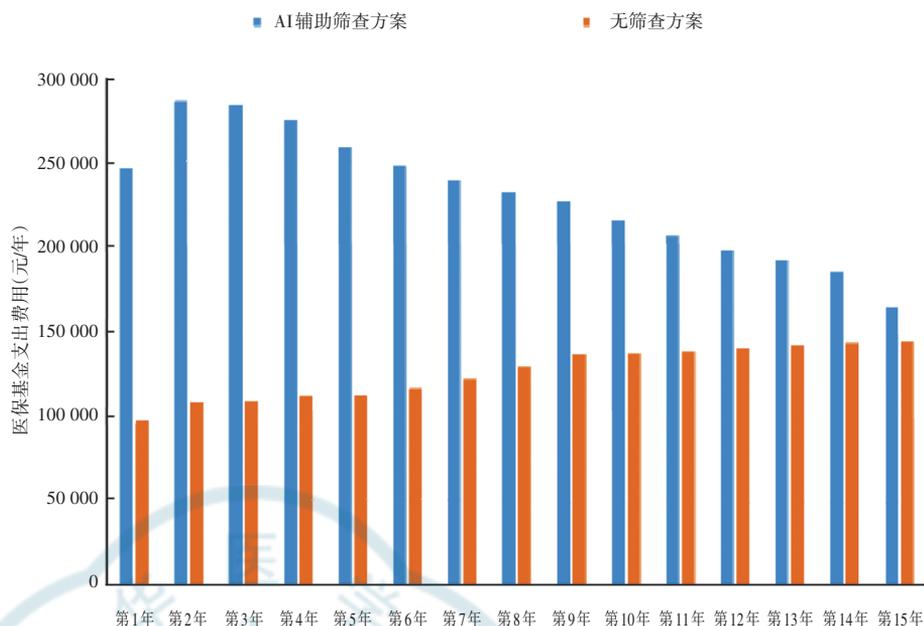


图 5 2 种方案下拟合昌江县青光眼患者医保基金支出对比  
Figure 5 Comparison of medical insurance fund expenditure for glaucoma patients in Changjiang Li autonomous county under two plans

表 8 2 种方案下昌江县青光眼患者未来 15 年的医疗保险基金支出预测 (元/年)  
Table 8 Prediction of medical insurance fund expenditure for glaucoma patients in Changjiang Li autonomous county in the next 15 years under two plans (yuan/year)

时间	AI 辅助筛查方案						无筛查方案					
	PACS 医保支出	PAC 医保支出	PACG 医保支出	单眼致盲 医保支出	双眼致盲 医保支出	合计	PACS 医保支出	PAC 医保支出	PACG 医保支出	单眼致盲 医保支出	双眼致盲 医保支出	合计
第 1 年	108 923.92	22 077.67	101 411.90	13 419.76	0.00	245 833.25	15 979.56	3 238.88	64 920.07	13 419.76	0.00	97 558.27
第 2 年	149 162.04	29 398.62	92 029.03	14 110.91	909.46	285 610.06	18 384.80	3 624.85	69 066.94	15 389.33	909.46	107 375.39
第 3 年	160 013.25	31 548.92	77 388.19	12 911.57	1 550.61	283 412.55	20 454.17	4 086.25	66 570.75	15 581.56	1 649.95	108 342.68
第 4 年	159 217.50	32 075.15	68 982.60	12 248.59	2 051.79	274 575.63	22 220.47	4 599.93	66 201.84	16 034.39	2 303.25	111 359.89
第 5 年	151 770.03	31 665.24	61 634.85	11 443.47	2 305.49	258 819.08	23 297.94	5 056.45	64 810.45	16 038.70	2 715.40	111 918.94
第 6 年	143 755.05	31 292.43	58 269.78	11 160.04	2 491.63	246 968.94	24 093.45	5 512.15	66 258.07	16 639.21	3 073.67	115 576.55
第 7 年	136 278.55	31 051.95	57 055.27	11 153.89	2 641.61	238 181.27	24 644.26	5 954.29	69 630.80	17 647.19	3 413.52	121 290.07
第 8 年	129 592.34	30 937.31	56 933.00	11 286.22	2 771.38	231 520.25	24 983.45	6 373.37	74 162.75	18 910.89	3 755.09	128 185.54
第 9 年	123 642.76	30 914.98	57 351.91	11 484.53	2 889.04	226 283.21	25 140.35	6 762.45	79 306.54	20 319.47	4 108.47	135 637.29
第 10 年	116 204.08	30 402.17	54 612.98	10 989.13	2 770.52	214 978.89	24 696.55	6 990.97	79 701.80	20 453.47	4 136.54	135 979.32
第 11 年	109 442.59	29 923.19	53 105.96	10 681.06	2 658.21	205 811.00	24 131.93	7 172.80	80 981.01	20 805.28	4 167.99	137 259.02
第 12 年	103 227.87	29 454.31	52 280.20	10 478.10	2 558.69	197 999.18	23 472.45	7 308.58	82 734.23	21 263.61	4 211.34	138 990.22
第 13 年	97 463.99	28 979.41	51 737.95	10 325.29	2 473.01	190 979.65	22 740.22	7 400.02	84 564.26	21 742.66	4 267.54	140 714.71
第 14 年	92 082.16	28 488.43	51 276.33	10 193.10	2 399.78	184 439.80	21 954.02	7 449.58	86 221.57	22 187.69	4 333.68	142 146.55
第 15 年	83 308.95	26 778.71	43 252.50	8 496.06	1 879.06	163 715.28	21 129.76	7 460.23	87 568.15	22 566.62	4 405.33	143 130.09

注: AI: 人工智能; PACS: 原发性房角关闭可疑状态; PAC: 原发性房角关闭; PACG: 原发性闭角型青光眼

Note: AI: artificial intelligence; PACS: suspected primary angle closure; PAC: primary angle closure; PACG: primary angle-closure glaucoma

### 3 讨论

本研究以昌江县 19 395 名 65 岁以上老年人为例,借鉴浙江温州成熟的人群筛查卫生经济学模型,结合昌江县真实世界的医疗费用与医保基金支出,拟合了 PACG 患者在 AI 辅助筛查与无筛查 2 种方案下的长期健康转归和费用情况。模型预测的 15 年结果显示,与无筛查方案相比,在昌江县 65 岁以上老年人中实施 AI 辅助 PACG 筛查可有效延缓青光眼患者疾病进展,15 年时可减少 43% (134/310) 的 PACG 患者和 50% (9/18) 的盲患者。同时,尽管医疗费用和医保基金支出在短期内因筛查新增患者以及已有阳性患者的早发现、早诊断和早治疗而上涨较快,但长期来看医疗费用和医保支出将发生转折,由增长转为持续性下降。考虑到异地就医的因素未在模型中体现,本研究认为真实世界下昌江县人群筛查后费用节省的效应可能会更加明显,因为大量通过社区主动筛查发现的阳性患者可通过绿色通道直接转诊至县级医院接受治疗,减少异地省级医院就医的患者数量。

关于青光眼筛查的经济性,国内外研究者仍有较大争论。英国一项研究发现,当原发性开角型青光眼(primary open angle glaucoma, POAG)的患病率为 1%~10% 时,POAG 人群筛查每额外获得 1 个质量调整生命年(quality-adjusted life years, QALY)增量成本超过 30 000 英镑,与不筛查相比,无成本效果优势<sup>[28-29]</sup>。一项针对在英国开展青光眼筛查的研究表明,增量成本效果将远远超过英国国家卫生与临床优化研究所规定阈值的 2~3 倍,因此不建议在人群中大规模开展筛查<sup>[30]</sup>。美国的一项研究则表明,基于健康体检的青光眼筛查可能具有成本效果优势,其增量成本效果比为 46 000 美元/QALY<sup>[31]</sup>。然而,发展中国家的研究结果与西方发达国家有所不同。印度一项基于决策树模型的评估研究发现,人群青光眼筛查具有良好的成本效果优势<sup>[32]</sup>。本研究与浙江温州青光眼社区筛查的研究表明,在中国开展人群青光眼筛查不仅是一种具有成本效果优势的公共卫生干预策略,并且有助于节省医疗费用及医保基金支出。这可能与中国青光眼社区筛查的特点有关:(1) AI 赋能基层,借助 AI 辅助诊断,基层医生也可以独立完成患者的初筛诊断,使得以较低人力成本开展筛查成为可能;(2) 中国人口密度大,单位筛查成本低;(3) 青光眼,尤其是闭角型青光眼患病率高<sup>[18,33]</sup>。

中国目前正处于人口老龄化进程以及疾病由传染性、急重性向非传染性、慢性病转变的阶段,卫生系统

面临着医疗卫生资源的有限性和人群卫生服务需求日益增加的挑战。在现行的背景下,迫切需要构建科学、高效的整体医疗统筹体系,从注重“治已病”转向“治未病”,提供以慢性病筛查和早期发现为核心、覆盖全民的公共卫生服务。不同于药物、医疗器械等临床治疗方式直接作用于疾病本身,公共卫生干预具有间接性的特点,其本质是通过疾病危险因素的调控从而控制疾病的发生和发展,这决定了公共卫生领域的健康投资回报无法像临床干预一样“立竿见影”,往往需要长时间才能有所体现。短期来看,公共卫生服务增加了政府支出,但早期对预防的投入可以控制高危人群慢性病的发生和进展,后期用于诊治的医疗费用将相应减少,最终可维持,甚至节省卫生总费用。

同时,鉴于公共卫生干预的效果普遍具有长周期的特性,相应的效果评估要求更长时间的观察以及更多人力、财力、物力资源的投入,这也是现今尚无经过规范设计的直接证据来表明人群筛查对健康影响的原因之一<sup>[30]</sup>。在此背景下,卫生经济学不失为一个好的选择。通过科学的经济学模型结合临床试验/流行病学研究数据,可拟合、预测卫生干预对卫生系统的影响,从而辅助指导卫生决策。近十年国内已有部分研究者尝试在眼科领域应用卫生经济学分析,主要涉及眼科手术、药物等临床干预的成本-效果评价<sup>[34-38]</sup>,而针对人群筛查的研究较少<sup>[18,39-40]</sup>。据了解,本研究是国内应用卫生经济学理论来预测人群青光眼筛查对卫生系统医疗费用和医保基金支出影响的首次尝试,旨在为县域内整体医疗决策提供科学依据,为进一步深化医改提供政策咨询。本研究仍存在一些局限性:首先,本研究为预测研究,旨在为未来昌江县 AI 辅助青光眼人群筛查提供决策依据,且模型中的部分关键参数如筛查参与率、转诊与治疗依从性来源于其他地区研究结果,并不一定完全符合昌江县的真实世界情况,后续的效果评估需要具体结合昌江县开展人群筛查的实际情况来调整;其次,未考虑新技术、新药物上市对模型结果影响;再者,尽管 AI 图像识别在眼科领域如火如荼地开展,但这些模型少有在社区筛查情景中得到检验,其真实的诊断准确性尚不得知;最后,由于正式的青光眼筛查尚未启动,因此本研究未考虑与筛查相关人力、物力等资源投入的成本。

**利益冲突** 本研究作者声明不存在任何经济资助和利益冲突关系

**作者贡献声明** (1) 肖璇提出研究思路,协调组织数据收集和撰写文章;(2) 何运臻负责数据分析和马尔可夫模型的构建,并参与文章撰写;(3) 陈宁江设计具体研究方案

### 参考文献

- [1] Pascolini D, Mariotti SP. Global estimates of visual impairment; 2010

- [J]. *Br J Ophthalmol*, 2012, 96 (5) : 614 - 618. DOI: 10. 1136/bjophthalmol-2011-300539.
- [2] Song P, Wang J, Bucan K, et al. National and subnational prevalence and burden of glaucoma in China: a systematic analysis [J/OL]. *J Glob Health*, 2017, 7(2) : 020705 [2020-04-15]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29302324>. DOI: 10. 7189/jogh. 07. 020705.
- [3] Quigley HA, Broman AT. The number of people with glaucoma worldwide in 2010 and 2020 [J]. *Br J Ophthalmol*, 2006, 90 (3) : 262-267. DOI: 10. 1136/bjo. 2005. 081224.
- [4] Musch DC, Gillespie BW, Lichter PR, et al. Visual field progression in the Collaborative Initial Glaucoma Treatment Study: the impact of treatment and other baseline factors [J]. *Ophthalmology*, 2009, 116(2) : 200-207. DOI: 10. 1016/j. ophtha. 2008. 08. 051.
- [5] Sehi M, Grewal DS, Goodkin ML, et al. Reversal of retinal ganglion cell dysfunction after surgical reduction of intraocular pressure [J]. *Ophthalmology*, 2010, 117(12) : 2329-2336. DOI: 10. 1016/j. ophtha. 2010. 08. 049.
- [6] 成运芬. 专家呼吁: 加强预防青光眼, 及早发现、及早诊治 中国青光眼的未诊断率高达 90% [J]. *中华医学信息导报*, 2010, 25(18) : 12-12.
- [7] 钟云龙, 谢伯林, 钟华. 青光眼知晓度研究进展 [J]. *中华实验眼科杂志*, 2017, 35(4) : 372-376. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 2095-0160. 2017. 04. 017.
- Zhong YL, Xie BL, Zhong H. Research progress of awareness of glaucoma [J]. *Chin J Exp Ophthalmol*, 2017, 35(4) : 372-376. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 2095-0160. 2017. 04. 017.
- [8] 华医网. 甘肃省眼科联盟成立大会暨诺华眼科“一带一路”百城巡讲首站在兰州盛大启动 [EB/OL]. (2018-01-29) [2020-05-01]. <https://www.91huayi.com/cme/contents/32/18104.html>.
- [9] 张秀兰, 李飞. 人工智能和青光眼: 机遇与挑战 [J]. *中华实验眼科杂志*, 2018, 36(4) : 245-247. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 2095-0160. 2018. 04. 002.
- Zhang XL, Li F. Artificial intelligence and glaucoma: opportunities and challenges [J]. *Chin J Exp Ophthalmol*, 2018, 36(4) : 245-247. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 2095-0160. 2018. 04. 002.
- [10] Li Z, Keel S, Liu C, et al. Can artificial intelligence make screening faster, more accurate, and more accessible? [J]. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*, 2018, 7(6) : 436-441. DOI: 10. 22608/APO. 2018438.
- [11] Murtagh P, Greene G, O'Brien C. Current applications of machine learning in the screening and diagnosis of glaucoma: a systematic review and Meta-analysis [J]. *Int J Ophthalmol*, 2020, 13(1) : 149-162. DOI: 10. 18240/ijo. 2020. 01. 22.
- [12] Li Z, He Y, Keel S, et al. Efficacy of a deep learning system for detecting glaucomatous optic neuropathy based on color fundus photographs [J]. *Ophthalmology*, 2018, 125(8) : 1199-1206. DOI: 10. 1016/j. ophtha. 2018. 01. 023.
- [13] 杨莉, 胡善联. 药物经济学分析与预算影响分析 [J]. *中国药物经济学*, 2007, 2(4) : 43-49.
- [14] 海南省统计局. 2018 年海南省统计年鉴 [EB/OL]. (2019-01-29) [2020-05-01]. <https://www.hainan.gov.cn/hainan/tjnj/201901/465cf410dbf54c52ab2cc202ab0d22d0.shtml>.
- [15] 中国经济新闻联播. 海南昌江引进先进医疗机构, 构建城乡一体化医疗卫生服务体系 [EB/OL]. (2019-03-20) [2020-05-01]. <https://www.cctv-company.video/xianyujingji/47776.html>.
- [16] 中华医学会眼科学分会青光眼学组. 中国原发性闭角型青光眼诊治方案专家共识 (2019 年) [J]. *中华眼科杂志*, 2019, 55(5) : 325-328. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 0412-4081. 2019. 05. 002.
- [17] 中华医学会眼科学分会青光眼学组. 我国原发性青光眼诊断和治疗专家共识 (2014 年) [J]. *中华眼科杂志*, 2014, 50(5) : 382-383. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 0412-4081. 2014. 05. 022.
- [18] Tang J, Liang Y, O'Neill C, et al. Cost-effectiveness and cost-utility of population-based glaucoma screening in China: a decision-analytic Markov model [J/OL]. *Lancet Glob Health*, 2019, 7(7) : e968-e978 [2020-05-10]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31122906>. DOI: 10. 1016/S2214-109X(19)30201-3.
- [19] Wang L, Huang W, Huang S, et al. Ten-year incidence of primary angle closure in elderly Chinese: the Liwan Eye Study [J]. *Br J Ophthalmol*, 2019, 103(3) : 355-360. DOI: 10. 1136/bjophthalmol-2017-311808.
- [20] Thomas R, Parikh R, Muliyl J, et al. Five-year risk of progression of primary angle closure to primary angle closure glaucoma: a population-based study [J]. *Acta Ophthalmol Scand*, 2003, 81(5) : 480-485. DOI: 10. 1034/j. 1600-0420. 2003. 00135. x.
- [21] Wishart PK, Batterbury M. Ocular hypertension: correlation of anterior chamber angle width and risk of progression to glaucoma [J]. *Eye (Lond)*, 1992, 6 (Pt 3) : 248-256. DOI: 10. 1038/eye. 1992. 48.
- [22] Alsbirk PH. Anatomical risk factors in primary angle-closure glaucoma. A ten year follow up survey based on limbal and axial anterior chamber depths in a high risk population [J]. *Int Ophthalmol*, 1992, 16(4-5) : 265-272. DOI: 10. 1007/BF00917973.
- [23] Yip JL, Foster PJ, Uranchimeg D, et al. Randomised controlled trial of screening and prophylactic treatment to prevent primary angle closure glaucoma [J]. *Br J Ophthalmol*, 2010, 94(11) : 1472-1477. DOI: 10. 1136/bjo. 2009. 168682.
- [24] Quigley HA. Number of people with glaucoma worldwide [J]. *Br J Ophthalmol*, 1996, 80(5) : 389-393. DOI: 10. 1136/bjo. 80. 5. 389.
- [25] Foster PJ, Johnson GJ. Glaucoma in China: how big is the problem? [J]. *Br J Ophthalmol*, 2001, 85(11) : 1277-1282. DOI: 10. 1136/bjo. 85. 11. 1277.
- [26] Quek D, Koh VT, Tan GS, et al. Blindness and long-term progression of visual field defects in chinese patients with primary angle-closure glaucoma [J]. *Am J Ophthalmol*, 2011, 152(3) : 463-469. DOI: 10. 1016/j. ajo. 2011. 02. 023.
- [27] Rossetti L, Digiuni M, Montesano G, et al. Blindness and glaucoma: a multicenter data review from 7 academic eye clinics [J/OL]. *PLoS One*, 2015, 10(8) : e0136632 [2020-05-15]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26302445>. DOI: 10. 1371/journal.pone. 0136632.
- [28] Hernández RA, Burr JM, Vale LD, et al. Economic evaluation of screening for open-angle glaucoma [J]. *Int J Technol Assess Health Care*, 2008, 24(2) : 203-211. DOI: 10. 1017/S0266462308080288.
- [29] Hernández R, Rabindranath K, Fraser C, et al. Screening for open angle glaucoma: systematic review of cost-effectiveness studies [J]. *J Glaucoma*, 2008, 17(3) : 159-168. DOI: 10. 1097/IJG. 0b013e31814b9693.
- [30] Burr J, Hernández R, Ramsay C, et al. Is it worthwhile to conduct a randomized controlled trial of glaucoma screening in the United Kingdom? [J]. *J Health Serv Res Policy*, 2014, 19(1) : 42-51. DOI: 10. 1177/1355819613499748.
- [31] Rein DB, Wittenborn JS, Lee PP, et al. The cost-effectiveness of routine office-based identification and subsequent medical treatment of primary open-angle glaucoma in the United States [J]. *Ophthalmology*, 2009, 116(5) : 823-832. DOI: 10. 1016/j. ophtha. 2008. 12. 056.
- [32] John D, Parikh R. Cost-effectiveness and cost utility of community screening for glaucoma in urban India [J]. *Public Health*, 2017, 148 : 37-48. DOI: 10. 1016/j. puhe. 2017. 02. 016.
- [33] 江俊宏, 叶聪, 梁远波. 青光眼适合社区筛查吗? [J]. *中华实验眼科杂志*, 2018, 36(4) : 294-298. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 2095-0160. 2018. 04. 014.
- Jiang JH, Ye C, Liang YB. Is glaucoma suitable for community screening? [J]. *Chin J Exp Ophthalmol*, 2018, 36(4) : 294-298. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 2095-0160. 2018. 04. 014.
- [34] Ma Y, Huang J, Zhu B, et al. Cost-utility analyses of cataract surgery in advanced age-related macular degeneration [J]. *Optom Vis Sci*, 2016, 93(2) : 165-172. DOI: 10. 1097/OPX. 0000000000000772.
- [35] Zhu B, Ma Y, Zou H. Cost-utility analyses of cataract surgery in vision-threatening diabetic retinopathy [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2017, 43(1) : 95-101. DOI: 10. 1016/j. jcrs. 2016. 10. 023.
- [36] Xu X, Ma YY, Zou HD. Cost-utility analysis of cataract surgery in advanced glaucoma patients [J/OL]. *J Glaucoma*, 2016, 25(7) : e657-662 [2020-06-01]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26372156>. DOI: 10. 1097/IJG. 0000000000000313.
- [37] 胡春阳, 韩晟, 陈路佳, 等. 他氟前列素与拉坦前列素治疗原发性开角型青光眼的成本效果分析 [J]. *中国新药杂志*, 2013, 22(23) : 2831-2836. DOI: CNKI; SUN; ZXYZ. 0. 2013-23-030.
- Hu CY, Han S, Chen LJ, et al. Cost-effective analysis of tafluprost versus latanoprost in the treatment of primary open-angle glaucoma [J]. *Chin J New Drug*, 2013, 22(23) : 2831-2836. DOI: CNKI; SUN; ZXYZ. 0. 2013-23-030.
- [38] 赵亮, 林其敏, 韩晟, 等. 他氟前列素等前列腺素类药物用于青光眼治疗的药物经济学分析 [J]. *中国医疗保险*, 2016, 89(2) : 56-59. DOI: 10. 3699/j. issn. 1674-3830. 2016. 2. 14.
- Zhao L, Lin QM, Han S, et al. Pharmacoeconomic analysis of applying prostaglandin analogue for the treatment of glaucoma [J]. *China Health Insur*, 2016, 89(2) : 56-59. DOI: 10. 3699/j. issn. 1674-3830. 2016. 2. 14.
- [39] Wu B, Li J, Wu H. Strategies to screen for diabetic retinopathy in Chinese patients with newly diagnosed type 2 diabetes: a cost-effectiveness analysis [J/OL]. *Medicine (Baltimore)*, 2015, 94(45) : e1989 [2020-06-26]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26559285>. DOI: 10. 1097/MD. 0000000000001989.
- [40] 白雪林, 邹海东, 应晓华, 等. 上海市北新泾街道糖尿病眼病社区防盲项目效果的卫生经济学评价 [J]. *中国医药导报*, 2011, 8(24) : 109-111. DOI: 10. 3969/j. issn. 1673-7210. 2011. 24. 050.
- Bai XL, Zou HD, Ying XH, et al. The health economics evaluation of community-based blindness prevention project for diabetes eye diseases in Beixinjing blocks of Shanghai City [J]. *China Med Her*, 2011, 8(24) : 109-111. DOI: 10. 3969/j. issn. 1673-7210. 2011. 24. 050.

(收稿日期: 2020-10-11 修回日期: 2021-08-08)

(本文编辑: 张宇)