

本文引用: 张锐, 周颖, 钟勇. 人工智能辅助分析冠状动脉钙化积分与视网膜动脉硬化相关性[J]. 中国动脉硬化杂志, 2024, 32(8): 690-696. DOI: 10.20039/j.cnki.1007-3949.2024.08.007.

· 临床研究 ·

[文章编号] 1007-3949(2024)32-08-0690-07

人工智能辅助分析冠状动脉钙化积分与视网膜动脉硬化的相关性

张锐, 周颖, 钟勇

东部战区总医院健康医学科, 江苏省南京市 210018

[摘要] **[目的]** 应用人工智能(AI)辅助分析软件探究冠状动脉钙化积分(CACS)与视网膜动脉硬化的相关性。**[方法]** 选择2022年度于东部战区总医院健康医学科体检的511例体检者为研究对象,根据Agatston积分分为冠状动脉钙化(CAC)组(>0 分,261例)和无CAC组($=0$ 分,250例),采用独立样本 t 检验及卡方检验对比两组体检者的临床资料;根据视网膜动脉硬化情况分为视网膜动脉正常组、视网膜动脉弹性减弱组和视网膜动脉硬化组,采用Kruskal-Wallis H 检验对比三组间的CACS及视网膜微血管量化指标;采用Spearman相关分析CAC等级与临床指标及视网膜微血管量化指标的相关性;采用二元Logistic回归分析视网膜动脉硬化情况与CAC的相关性。**[结果]** CAC组的年龄、吸烟人数、腰围、臀围、腰臀比(WHR)、体质指数(BMI)、收缩压、血肌酐(SCr)、尿酸(BUA)、尿素氮(BUN)、空腹血糖(FBG)、糖化血红蛋白(HbA1c)及甘油三酯(TG)较无CAC组高,差异有统计学意义(均 $P<0.05$);视网膜动脉正常组、视网膜动脉弹性减弱组和视网膜动脉硬化组的总CACS、视网膜动静脉比(AVR)差异有统计学意义(均 $P<0.05$),视网膜中央动脉当量(CRAE)、视网膜中央静脉当量(CRVE)差异无统计学意义(均 $P>0.05$);CACS等级、总CACS与年龄、吸烟情况、腰围、臀围、WHR、BMI、收缩压、BUN、SCr、BUA、同型半胱氨酸(Hcy)、FBG、餐后2h血糖(2h PBG)、HbA1c、TG呈正相关(均 $P<0.05$),与性别、总胆固醇(TC)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL)呈负相关(均 $P<0.05$),与舒张压、低密度脂蛋白胆固醇(LDL)无相关性(均 $P>0.05$);视网膜动脉硬化程度与年龄、腰围、臀围、WHR、BMI、收缩压、舒张压、左主干(LM)、左前降支(LAD)、左回旋支(LCX)和右冠状动脉(RAC)钙化积分、总CACS、BUN、FBG、2h PBG、HbA1c、TG呈正相关(均 $P<0.05$),与TC、HDL、LDL呈负相关(均 $P<0.05$),与性别、吸烟情况、脉搏、SCr、BUA、Hcy无相关性(均 $P>0.05$);CAC等级与AVR呈负相关($r=-0.166, P<0.05$),与视网膜动脉硬化等级呈正相关($r=0.199, P<0.05$),与CRAE、CRVE无明显相关性(均 $P>0.05$);CAC与视网膜动脉硬化存在相关性($P<0.001$)。在校正了年龄、性别、吸烟情况、WHR、BMI、收缩压、FBG、SCr、BUA、BUN、HDL因素后,CAC与视网膜动脉硬化的相关性依然存在($P=0.048$)。**[结论]** AI辅助分析CAC与视网膜血管直径、视网膜动脉硬化程度相关,对冠心病风险评估有积极作用。

[关键词] 人工智能; 视网膜动脉硬化; 低剂量胸部CT; 冠状动脉钙化积分

[中图分类号] R774;R5

[文献标识码] A

Artificial intelligence assisted analysis of the correlation between coronary calcification score and retinal arteriosclerosis

ZHANG Rui, ZHOU Ying, ZHONG Yong

Department of Health Medicine, General Hospital of Eastern Theater Command, Nanjing, Jiangsu 210018, China

[ABSTRACT] **Aim** To explore the correlation between coronary artery calcification score (CACS) and retinal arteriosclerosis using artificial intelligence assisted analysis software. **Methods** 511 examinees who underwent physical examinations in the Department of Health Medicine of General Hospital of Eastern Theater Command in 2022 were selected as the research subjects, they were divided into a coronary artery calcification (CAC) group (>0 , 261 cases) and a non CAC group ($=0$, 250 cases) based on the Agatston score, the clinical data of the two groups of examinees were compared

[收稿日期] 2023-10-17

[修回日期] 2023-11-30

[基金项目] 中国健康促进基金会项目(D064032);江苏省老年健康科研项目(LKM2023021)

[作者简介] 张锐,硕士,住院医师,研究方向为眼底病,E-mail:773566477@qq.com。通信作者钟勇,博士,主任医师,研究方向为心血管疾病诊治及慢病管理,E-mail:zhongyongnj@163.com。

using independent sample *t*-tests and chi square tests. According to the condition of retinal arteriosclerosis, the examinees were divided into three groups: normal retinal artery group, weakened retinal artery elasticity group and retinal arteriosclerosis group. Kruskal Wallis *H* test was used to compare the quantitative indicators of CACS and retinal microvasculature among the three groups; Spearman correlation analysis was used to study the correlation between CAC grading and clinical indicators, as well as quantitative indicators of retinal microvasculature; binary Logistic regression was used to analyze the correlation between retinal arteriosclerosis and CAC.

Results The age, number of smokers, waist circumference, hip circumference, waist to hip ratio (WHR), body mass index (BMI), systolic blood pressure, serum creatinine (SCr), blood uric acid (BUA), blood urea nitrogen (BUN), fasting blood glucose (FBG), glycosylated hemoglobin (HbA1c), triglyceride (TG) in the CAC group were higher than those in the non CAC group, and the difference was statistically significant (all $P < 0.05$). There were statistically significant differences in total CACS and AVR among the three groups of normal retina, weakened retinal artery elasticity and retinal arteriosclerosis (all $P < 0.05$), while there was no significant difference in CRAE and CRVE (all $P > 0.05$). The CACS level and total score were positively correlated with age, smoking status, waist circumference, hip circumference, WHR, BMI, systolic blood pressure, BUN, SCr, BUA, homocysteine (Hcy), FBG, 2 hour postprandial blood glucose (2h PBG), HbA1c, TG (all $P < 0.05$), and negatively correlated with gender, total cholesterol (TC), high density lipoprotein cholesterol (HDL; all $P < 0.05$), but not with diastolic blood pressure and low density lipoprotein cholesterol (LDL; all $P > 0.05$). The degree of retinal arteriosclerosis was positively correlated with age, waist circumference, hip circumference, WHR, BMI, systolic blood pressure, diastolic blood pressure, calcification scores of left main artery (LM), left anterior descending artery (LAD), left circumflex artery (LCX), right coronary artery (RCA), total CACS, BUN, FBG, 2h PBG, HbA1c and TG (all $P < 0.05$), and negatively correlated with TC, HDL and LDL (all $P < 0.05$), but not with gender, smoking status, pulse, SCr, BUA and Hcy (all $P > 0.05$). CAC level was negatively correlated with AVR ($r = -0.166$, $P < 0.05$), and positively correlated with retinal arteriosclerosis level ($r = 0.199$, $P < 0.05$), but not significantly correlated with CRAE and CRVE (all $P > 0.05$). There was a correlation between CAC and retinal arteriosclerosis ($P < 0.001$). After adjusting for age, gender, smoking status, WHR, BMI, systolic blood pressure, FBG, SCr, BUA, BUN, and HDL factors, the correlation between CAC and retinal arteriosclerosis still exists ($P = 0.048$).

Conclusion AI assisted analysis of retinal vascular diameter and degree of retinal arteriosclerosis is related to CAC, which plays a positive role in risk assessment of atherosclerotic heart disease.

[**KEY WORDS**] artificial intelligence; retinal arteriosclerosis; low dose chest CT; coronary artery calcification score

冠心病属于常见心血管疾病(cardiovascular disease, CVD),近年来发病率不断上升,严重影响患者身体健康和生活质量。冠状动脉钙化(coronary artery calcification, CAC)是冠心病的早期特征,与动脉粥样硬化的严重程度具有相关性^[1]。冠状动脉钙化积分(coronary artery calcification score, CACS)是一种应用广泛的 CAC 评估方法,可以使用 CT 成像技术对冠状动脉整体的钙化情况进行量化评估,其与冠状动脉粥样硬化负荷的组织学表现密切相关^[2],可用于诊断冠心病。眼底视网膜上分布有大量血管,这些血管与全身血管相连,而且是全身唯一可以通过照相直接观察到的血管,其健康与否反映了全身血管的健康状态,其动脉血管直径可直接反映身体重要器官小动脉痉挛狭窄的程度,是评估全身微血管功能的有效指标^[3],眼底照相检查无创便捷,在临床应用中具有较好的一致性和可重复性。本研究利用人工智能(artificial intelligence, AI)辅助分析软件探讨 CACS 与视网膜动脉硬化相关性,为临床制订合理的风险评估方法以识别无症状

高危个体、降低冠心病发病率提供参考。

1 资料和方法

1.1 研究对象

本研究为回顾性研究。选择 2022 年度东部战区总医院健康医学科 511 例体检者为研究对象,其中男性 473 例,女性 38 例,年龄 40 ~ 90 岁,平均年龄 (50.87 ± 9.85) 岁,根据 Agatston 积分分为无 CAC 组(250 例)和 CAC 组(261 例);根据 AI 眼底图像分析视网膜动脉,分为视网膜动脉正常组(339 例)、视网膜动脉弹性减弱组(114 例)和视网膜动脉硬化组(58 例)。

纳入标准:(1)年龄 ≥ 40 岁,无冠心病既往史及临床症状;(2)有完整的临床问诊及查体资料;(3)有血生物化学指标检测结果、低剂量胸部 CT 检查结果和眼底照相检查结果。排除标准:(1)已确诊冠心病;(2)不具备完整相关检查结果;(3)已行冠状动脉支架术或旁路搭桥术;(4)心律不齐、伪影较

重,图像不能准确评估 CACS 者;(5)有精神认知行为障碍的体检者。

1.2 一般资料收集

收集体检者的年龄、性别、吸烟情况、腰围、臀围、腰臀比(waist to hip ratio, WHR)、身高、体质量、体质指数(body mass index, BMI)、收缩压、舒张压、脉搏等一般情况。

1.3 实验室指标检测

采集空腹静脉血 4~5 mL,采用全自动生化分析仪(HITACHI 7600,日本日立公司)测定血肌酐(serum creatinine, SCr)、血尿酸(blood uric acid, BUA)、血尿素氮(blood urea nitrogen, BUN)、同型半胱氨酸(homocysteine, Hcy)、空腹血糖(fasting blood glucose, FBG)、餐后 2 h 血糖(2 hour postprandial blood glucose, 2h PBG)、糖化血红蛋白(glycosylated hemoglobin, HbA1c)、总胆固醇(total cholesterol, TC)、甘油三酯(triglyceride, TG)、高密度脂蛋白胆固醇(high density lipoprotein cholesterol, HDLC)、低密度脂蛋白胆固醇(low density lipoprotein cholesterol, LDLC)。

1.4 低剂量胸部 CT 检查

体检者取静卧位,单次深吸气后屏气完成 64 排多层 CT 扫描。扫描参数:管电压 120 kV,管电流为 20~50 mA,重建层厚为 1 mm,层距为 1 mm。扫描范围自肺尖至肺底,图像传入影像诊断工作站存档。CACS 评分规则:使用数坤科技 CACS 辅助诊断软件对钙化斑块定量分析,软件自动识别显著钙化斑块(CT 值 ≥ 130 HU 且面积 ≥ 1 mm²)并涂色显示,人工筛选或标记连续钙化,以面积与钙化峰值系数($130 \text{ HU} \leq \text{CT 值} \leq 199 \text{ HU}$ 为 1 分, $200 \text{ HU} \leq \text{CT 值} \leq 299 \text{ HU}$ 为 2 分, $300 \text{ HU} \leq \text{CT 值} \leq 399 \text{ HU}$ 为 3 分, $\geq 400 \text{ HU}$ 为 4 分)的乘积为积分值,分别记录冠状动脉主要血管,包括左主干(left main artery, LM)、左前降支(left anterior descending artery, LAD)、左回旋支(left circumflex artery, LCX)及右冠状动脉(right coronary artery, RCA)4 支,求和为总 CACS。Agatston 积分等级:(1)CACS=0,为无钙化;

(2) $0 < \text{CACS} < 10$,为微量钙化;(3) $10 \leq \text{CACS} < 100$,为轻度钙化;(4) $100 \leq \text{CACS} < 400$,为中度钙化;(5) $\text{CACS} \geq 400$,为重度钙化。

1.5 眼底资料采集

于暗室中采用全自动免散瞳眼底照相机(TRC-NW400,日本拓普康公司)对患者进行双眼眼底图像采集。使用鹰瞳 Airdoc 自动分析软件进行视网膜动脉分析和眼底血管测量。智能软件系统根据视网膜动脉状态将其分成视网膜动脉正常组、视网膜动脉弹性减弱组及视网膜动脉硬化组。根据测量的血管像素直径,分别得到 4 条视网膜动脉(颞侧上动脉、颞侧下动脉、鼻侧上动脉、鼻侧下动脉)和视网膜静脉(颞侧上静脉、颞侧下静脉、鼻侧上静脉、鼻侧下静脉)实际直径,再通过修正的 Parr-Hubbard 公式^[4],计算视网膜中央动脉当量(central retinal arteriolar equivalent, CRAE)、视网膜中央静脉当量(central retinal venular equivalent, CRVE)及视网膜动静脉比(arteriole-to-venule ratio, AVR)。

1.6 统计学分析

符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,不符合正态分布的计量资料以中位数(四分位数)表示,计数资料以例(%)表示,两组间比较采用独立样本 *t* 检验及 χ^2 检验,多组间差异采用 Kruskal-Wallis *H* 检验,相关性分析采用 Spearman 相关分析。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 按 CAC 情况分组后相关指标比较

CAC 组的年龄、男性比例、吸烟人数、腰围、臀围、WHR、BMI、收缩压、SCr、BUA、BUN、FBG、HbA1c 较无 CAC 组高,HDLC 较无 CAC 组低,差异有统计学意义(均 $P < 0.05$);两组间舒张压、脉搏、Hcy、2h PBG、TC、TG、LDLC 差异无统计学意义(均 $P > 0.05$;表 1 和图 1)。

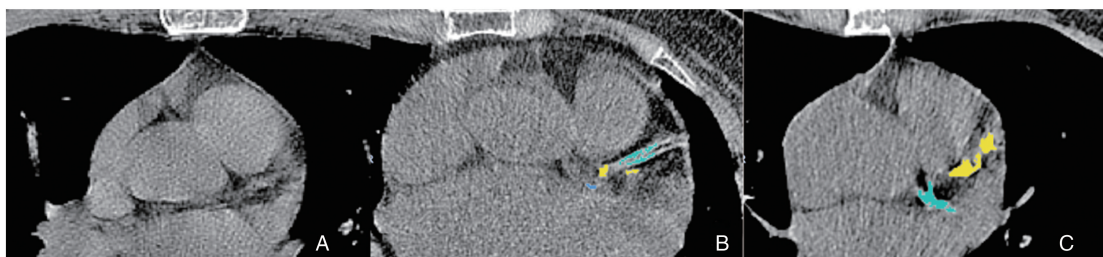


图 1. AI 辅助软件分析 CACS

A 为 CACS=0,无钙化;B 为 CACS=241,中度钙化;C 为 CACS=1050,重度钙化。

Figure 1. AI assisted software analysis of CACS

表 1. 按 CAC 情况分组后相关指标比较
Table 1. Comparison of relevant indicators after grouping by CAC situation

项目	无 CAC 组 (n=250)	CAC 组 (n=261)	P
年龄/岁	48.10±5.40	53.52±12.16	<0.001
男性/[例(%)]	224(89.6)	250(95.8)	0.012
吸烟/[例(%)]	56(22.4)	105(40.2)	<0.001
腰围/cm	86.75±7.70	90.80±7.98	<0.001
臀围/cm	97.84±6.14	100.14±5.74	<0.001
WHR	0.89±0.07	0.91±0.05	0.002
BMI/(kg/m ²)	24.73±2.42	25.65±2.50	<0.001
收缩压/(mmHg)	122.07±12.18	126.58±13.57	<0.001
舒张压/(mmHg)	75.74±9.40	76.93±10.24	0.175
脉搏/(次/分)	77.12±11.49	77.18±11.25	0.959
SCr/(μmol/L)	74.19±11.47	78.73±18.70	0.014
BUA/(μmol/L)	367.97±79.04	395.07±82.45	0.001
BUN/(mmol/L)	5.67±1.07	6.12±1.35	<0.001
Hcy/(μmol/L)	13.16±4.04	14.06±4.90	0.083
FBG/(mmol/L)	4.98±0.88	5.38±1.03	<0.001
2h PBG/(mmol/L)	6.12±2.47	6.22±3.16	0.692
HbA1c/%	5.57±0.76	5.85±0.75	<0.001
TC/(mmol/L)	4.94±0.82	4.89±1.13	0.569
TG/(mmol/L)	1.45±1.32	1.63±1.03	0.100
HDLc/(mmol/L)	1.40±0.33	1.30±0.27	<0.001
LDLC/(mmol/L)	2.68±0.74	2.67±0.83	0.901

2.2 按视网膜动脉硬化情况分组后相关指标比较
视网膜动脉硬化组和视网膜动脉弹性减弱组的总 CACS 较视网膜动脉正常组高,AVR 较视网膜动脉正常组低,差异有统计学意义(均 $P<0.05$);三组间 CRAE、CRVE 差异无统计学意义(均 $P>0.05$;表 2 和图 2)。

表 2. 511 名体检者按视网膜动脉硬化情况分组后相关指标比较
Table 2. Comparison of relevant indicators among 511 examinees grouped by retinal arteriosclerosis

项目	视网膜动脉 正常组 (n=339)	视网膜动脉 弹性减弱组 (n=114)	视网膜动脉 硬化组 (n=58)
总 CACS	0.00 (0.00,20.09)	8.02 (0.00,70.86) ^a	13.26 (0.00,82.89) ^a
CRAE	0.02 (0.02,0.03)	0.02 (0.02,0.02)	0.02 (0.02,0.02)
CRVE	0.03 (0.03,0.03)	0.03 (0.03,0.04)	0.03 (0.02,0.03)
AVR	0.71 (0.67,0.76)	0.68 (0.64,0.75) ^a	0.69 (0.65,0.73) ^a

注:a 为 $P<0.05$,与视网膜动脉正常组比较。

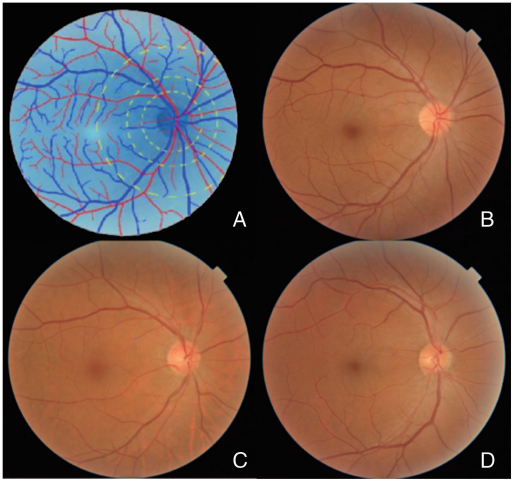


图 2. AI 辅助软件分析视网膜微血管
A 为智能辅助分析视网膜动静脉示意图,红色为视网膜静脉,蓝色为视网膜动脉;B 为视网膜动脉正常,AVR=0.73;
C 为视网膜动脉弹性减弱,AVR=0.67;
D 为视网膜动脉硬化,AVR=0.63。

Figure 2. AI assisted software analysis of retinal microvessels

2.3 511 例体检者各指标间的相关性分析

将各变量纳入 Spearman 相关性分析,结果显示 CACS 等级、总 CACS 与年龄、吸烟、腰围、臀围、WHR、BMI、收缩压、BUN、SCr、BUA、Hcy、FBG、2h PBG、HbA1c、TG 呈正相关($r=0.287、0.249、0.188、0.259、0.185、0.195、0.173、0.105、0.143、0.096、0.607、0.307、0.242、0.324、0.132$,均 $P<0.05$; $r=0.293、0.226、0.255、0.193、0.261、0.183、0.194、0.186、0.120、0.141、0.105、0.308、0.245、0.322、0.130$,均 $P<0.05$),与性别、TC、HDLc 呈负相关($r=-0.110、-0.101、-0.157$,均 $P<0.05$; $r=-0.115、-0.104、-0.156$,均 $P<0.05$),与舒张压、LDLC 无相关性(均 $P>0.05$);视网膜动脉硬化程度与年龄、腰围、臀围、WHR、BMI、收缩压、舒张压、LM、LAD、LCX 和 RAC 钙化积分、总 CACS、BUN、FBG、2h PBG、HbA1c、TG 呈正相关($r=0.511、0.215、0.176、0.148、0.124、0.164、0.099、0.134、0.212、0.148、0.119、0.245、0.124、0.169、0.187、0.209、0.121$,均 $P<0.05$),与 TC、HDLc、LDLC 呈负相关($r=-0.132、-0.169、-0.118$,均 $P<0.05$),与性别、吸烟情况、脉搏、SCr、BUA、Hcy 无相关性(均 $P>0.05$;图 3)。

2.4 CAC 等级与视网膜血管相关指标的相关性分析

将 511 名体检者的 CAC 等级与视网膜血管相关指标进行 Spearman 相关性分析,结果显示 CAC 等级与 AVR 呈负相关($r=-0.166,P<0.01$),CAC

等级与视网膜动脉硬化等级呈正相关($r=0.199, P<0.01$), CAC 等级与 CRAE、CRVE 无明显相关性($P>0.05$;表 3)。

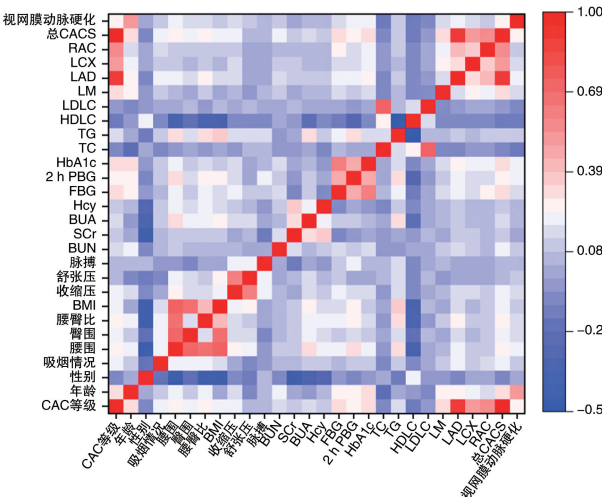


图 3. 511 例体检者各指标间的 Spearman 相关分析
方格中的数值代表横纵坐标对应指标的相关性分析所得 r 值,
方格的颜色代表 r 值绝对值的大小,绝对值越小,颜色越浅,
绝对值越大,颜色越深。
Figure 3. Spearman correlation analysis between various
indicators of 511 examinees

表 3. 511 名体检者 CAC 等级与视网膜血管相关指标的相关性
Table 3. Correlation between CAC level and retinal
vascular related indicators in 511 examinees

变量	r	P
CRAE	-0.015	0.217
CRVE	0.022	0.160
AVR	-0.166	<0.001
视网膜动脉硬化等级	0.199	<0.001

2.5 CAC 与视网膜动脉硬化的二元 Logistic 回归分析

Logistic 回归分析显示,CAC 与视网膜动脉硬化存在相关性($P<0.001$);在校正了年龄、性别、吸烟、WHR、BMI、收缩压、FBG、SCr、BUA、BUN、HDLc 因素后,CAC 与视网膜动脉硬化的相关性依然存在($P=0.048$),且视网膜动脉硬化每增加 1 个单位,CAC 风险增加 44%(表 4)。

3 讨论

冠心病作为 CVD 中重要的一员,已成为我国当前亟待管控的重大公共卫生及社会心理问题^[5]。

表 4. 511 名体检者 CAC 与视网膜动脉硬化的
二元 Logistic 回归分析

Table 4. Binary Logistic regression analysis of CAC and
retinal arteriosclerosis in 511 examinees

变量	OR	95% CI	P
模型一	2.127	1.608 ~ 2.814	<0.001
模型二	1.590	1.172 ~ 2.158	0.003
模型三	1.440	1.003 ~ 2.066	0.048

注:模型一是 CAC 与视网膜动脉硬化的相关性;模型二校正了年龄和性别因素;模型三是校正了年龄、性别、吸烟、WHR、BMI、收缩压、FBG、SCr、BUA、BUN、HDLc 因素。

CAC 作为公认的冠心病可量化风险因素,是一种与年龄增长呈正相关的必然过程^[6],也是冠心病的早期特征。CACs 是一种应用广泛的 CAC 评估方法^[2],目前已经成为临床中评估冠心病病情和风险的重要标准,且已经取得一定进展,该方法可为疾病的预防和对症治疗提供可靠参考,有利于加强对病情的控制,改善疾病相关指标,减少冠心病发生率。识别无症状高危个体是当前预防冠心病政策的重要组成部分,但现有的风险评估方法缺乏灵敏性。冠状动脉造影作为冠心病诊断金标准,有创且价格昂贵,不利于快速筛查,为了克服这一限制,人们越来越多地使用非侵入性方法来检测亚临床冠状动脉疾病,如 CT 扫描。

目前,体检多采用低剂量胸部 CT 筛查胸肺部疾病^[7],利用 CT 后处理技术重建纵隔窗用于 CAC 筛查不仅可以准确判断钙化是否发生并定量计算 CACS,还不增加额外射线扫描序列,就可获取呼吸和循环系统的双重筛查信息,既减少了体检者的专项检查支出又扩大了低剂量胸部 CT 的筛查范围,具有较好的成本/收益比,能缓解公共医疗资源的紧张,也能较早发现无症状冠心病并获得及时的预防和治疗^[8]。免散瞳眼底照相机筛查眼底疾病操作简单、迅速、无创,不管在体检中心还是临床科室都发挥着不可替代的作用。近年来数字经济不断推进,AI 发展迅速,并与多种应用场景深度融合,通过眼底照片大数据的深度学习,能够快速准确标记特定特征和相关数据模型,提供初步诊断结果。同时有研究统计,医疗数据中有超过 90% 的数据来自于医学影像,但是影像诊断过于依赖人的主观意识,容易发生误判,AI 可直接提取视网膜血管及病变的量化指标,比人工筛查灵敏度更高,更能敏感地捕捉到一些早期的易遗漏的细节,提高诊疗效率。眼底照片还提供了有关人类血管系统的信息

和对心血管健康的见解^[9],大量人群研究表明显性视网膜血管损伤,如视网膜病变的迹象(微动脉瘤和视网膜出血)和更细微的变化(如视网膜动脉狭窄)是亚临床心血管疾病(如颈动脉狭窄)的标志,并能预测主要 CVD 事件和死亡率^[10-14]。最近有研究表明,眼底照片可以提供传统 CVD 风险因素的估计,如年龄、性别和血压^[15],并且预测 CVD 事件的准确度与传统 CVD 风险计算器相似^[16-17]。Rim 等^[18]开发了一种深度学习算法,从视网膜照片中预测 CAC 的存在,证明视网膜图像可作为一种相对简单且无辐射的方式为 CVD 风险分类提供依据。

本研究选取行低剂量胸部 CT 检查及眼底照相检查的体检人群作为观察对象,发现 CAC 组的年龄、吸烟人数、腰围、臀围、WHR、BMI、收缩压、SCr、BUA、BUN、FBG、HbA1c 较无 CAC 组高,可能与年龄不断增长,机体内部分细胞形态逐渐发生改变、生理功能逐渐丧失、血管逐渐老化,进而导致血管僵硬、弹性降低、管腔扩大、脉搏波传导加速、脉压差增大等多种机制导致的血管钙化有关^[19-21],Khazai 等^[22]研究也表明在校正主要冠心病危险因素后,糖尿病和非糖尿病患者的视网膜病变与 CAC 进展相关,然而糖尿病患者的相关性更强,表明了 CAC 与全身诸多因素的变化相关。本研究发现视网膜动脉硬化、视网膜动脉弹性减弱、视网膜动脉正常的三组间总 CACS、AVR 差异有统计学意义,但 CRAE、CRVE 差异无明显统计学意义,可推测总 CACS 不同,视网膜动脉硬化程度不同,AVR 也不同,但对视网膜动静脉直径无太大影响。本研究中,相关性分析显示 CAC 等级与 AVR 呈负相关,与视网膜动脉硬化呈正相关,可能是由于冠状动脉钙化人群血管硬化,视网膜静脉变化较小,但视网膜动脉收缩变细,导致 AVR 值降低^[18]。吸烟是公认的 CVD 发生发展的危险因素^[23],本次研究数据也显示 CACS 等级与吸烟呈正相关,吸烟的体检者较不吸烟的体检者 CAC 更严重。CAC 与 Hcy 的正相关分析结果与 Scholte 等^[24]的研究结果一致,可能由于 Hcy 是平滑肌细胞增殖的刺激物,可诱导低密度脂蛋白氧化,还导致血小板黏附增加,蛋白 C 活化抑制,血栓调节蛋白表达和组织型纤溶酶原激活物活性降低,血栓形成增强,所以 Hcy 浓度增加会损害血管内皮细胞。本研究中,相关性分析还显示 CACS 等级、总 CACS 与年龄、WHR、BMI、血压、血糖和血脂等指标呈正相关,与 HDLC 呈负相关。本次研究结果中 CAC 与 TC 的负相关性有待进一步探究,可能由于选取的研究对象采取了他汀类药物治

疗,导致 CACS 等级与 LDLC 无明显的相关性,掩盖了 CAC 进展与 LDLC 及 TC 的关系,同时也说明对 TG 升高的患者单独使用他汀类药物治疗可能并不能达到预期的效果。

本研究存在不足之处:所用数据的提取、整理来自体检系统,未完善研究对象的既往病史、家族史以及用药史等,需要后续开展前瞻性研究,使本研究更深入,更具有科学性;本次研究时间较短且样本量有扩大的空间,因此可能存在一些偏差;由于体检对象职业的特殊性,导致男性与女性的样本量存在差异,在后续的研究中,计划联合其他医院和地区,收集不同单位、职业的人群来验证本次研究结果,以增加结果的可靠性和普适性。

综上所述,AI 辅助分析视网膜血管直径、视网膜动脉硬化程度与 CAC 相关,对冠心病风险评估有积极作用。低剂量胸部 CT 联合 CACS 分析性价比比较高,对冠心病的诊断存在重要的价值。CAC 等级与眼底动脉硬化程度密切相关,对体检人群进行眼底疾病筛查不仅是减少可避免盲的重要方法,也是观察全身疾病的重要窗口和无创手段。此次研究虽然存在诸多不足,但也可探索视网膜微血管变化与全身疾病尤其是 CVD 之间的关联提供参考价值,为 CSC 的发现、冠心病的预测以及 CVD 高风险人群体检套餐的制定提供一定的临床指导意义。

[参考文献]

- [1] KASHTANOVA E V, POLONSKAYA Y V, RAGINO Y I. Calcification and atherosclerosis of the coronary arteries [J]. Ter Arkh, 2021, 93(1): 84-86.
- [2] THOMPSON G R, PARTRIDGE J. Coronary calcification score: the coronary-risk impact factor [J]. Lancet, 2004, 363(9408): 557-559.
- [3] SUN C, LIEW G, WANG J J, et al. Retinal vascular caliber, blood pressure, and cardiovascular risk factors in an Asian population: the Singapore Malay Eye Study [J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2008, 49(5): 1784-1790.
- [4] HUBBARD L D, BROTHERS R J, KING W N, et al. Methods for evaluation of retinal microvascular abnormalities associated with hypertension/sclerosis in the Atherosclerosis Risk in Communities Study [J]. Ophthalmology, 1999, 106(12): 2269-2280.
- [5] 中国心血管健康与疾病报告编写组. 中国心血管健康与疾病报告 2019 概要 [J]. 中国循环杂志, 2020, 35(9): 833-854.
China Cardiovascular Health and Disease Report Writing Group. Report on cardiovascular health and diseases in China 2019: an updated summary [J]. Chin Circ J, 2020,

- 35(9): 833-854.
- [6] ABDULLA A G, BUZKOVA P, NAKANISHI R, et al. Association of psychosocial traits with coronary artery calcium development and progression: the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis[J]. *J Cardiovasc Comput Tomogr*, 2021, 15(1): 56-64.
- [7] The National Lung Screening Trial Research Team. Reduced lung-cancer mortality with low-dose computed tomographic screening[J]. *N Engl J Med*, 2011, 365(5): 395-409.
- [8] 刘洋, 胡晓恒, 王小娜, 等. 低剂量螺旋CT评估冠脉钙化积分与冠心病危险因素的相关性[J]. *海军医学杂志*, 2022, 43(1): 102-104.
- LIU Y, HU X H, WANG X N, et al. Low-dose spiral CT was used to assess the correlation between coronary artery calcification scores and risk factors for coronary heart disease[J]. *J Navy Med*, 2022, 43(1): 102-104.
- [9] WONG T Y, MITCHELL P. Hypertensive retinopathy[J]. *N Engl J Med*, 2004, 351(22): 2310-2317.
- [10] MCGEECHAN K, LIEW G, MACASKILL P, et al. Risk prediction of coronary heart disease based on retinal vascular caliber (from the Atherosclerosis Risk in Communities Study)[J]. *Am J Cardiol*, 2008, 102(1): 58-63.
- [11] WONG T Y, KLEIN R, SHARRETT A R, et al. Retinal arteriolar narrowing and risk of coronary heart disease in men and women. The Atherosclerosis Risk in Communities Study[J]. *JAMA*, 2002, 287(9): 1153-1159.
- [12] CHEUNG N, BLUEMKE D A, KLEIN R, et al. Retinal arteriolar narrowing and left ventricular remodeling: the multi-ethnic study of atherosclerosis[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2007, 50(1): 48-55.
- [13] WONG T Y, CHEUNG N, AMIRUL ISLAM F M, et al. Relation of retinopathy to coronary artery calcification: the multi-ethnic study of atherosclerosis[J]. *Am J Epidemiol*, 2008, 167(1): 51-58.
- [14] SEIDELMANN S B, CLAGGETT B, BRAVO P E, et al. Retinal vessel calibers in predicting long-term cardiovascular outcomes: the atherosclerosis risk in communities study[J]. *Circulation*, 2016, 134(18): 1328-1338.
- [15] RIM T H, LEE G, KIM Y, et al. Prediction of systemic biomarkers from retinal photographs: development and validation of deep-learning algorithms[J]. *Lancet Digit Health*, 2020, 2(10): e526-e536.
- [16] POPLIN R, VARADARAJAN A V, BLUMER K, et al. Prediction of cardiovascular risk factors from retinal fundus photographs via deep learning[J]. *Nat Biomed Eng*, 2018, 2(3): 158-164.
- [17] 耿瑞瑞, 东勇飞, 李慧君, 等. 眼底动脉硬化风险预测模型的构建和验证研究[J]. *中国动脉硬化杂志*, 2023, 31(9): 791-798.
- GENG R R, DONG Y F, LI H J, et al. Development and validation of a risk prediction model for fundus arteriosclerosis[J]. *Chin J Arterioscler*, 2023, 31(9): 791-798.
- [18] RIM T H, LEE C J, THAM Y C, et al. Deep-learning-based cardiovascular risk stratification using coronary artery calcium scores predicted from retinal photographs[J]. *Lancet Digit Health*, 2021, 3(5): e306-e316.
- [19] 王娟, 田敏, 曹李娜, 等. 慢性肾脏病腹膜透析患者尿白蛋白水平与冠状动脉钙化的相关性[J]. *中国动脉硬化杂志*, 2023, 31(8): 705-710.
- WANG J, TIAN M, CAO L N, et al. The correlation between urinary albumin level and coronary artery calcification in patients with chronic kidney disease undergoing peritoneal dialysis[J]. *Chin J Arterioscler*, 2023, 31(8): 705-710.
- [20] GERRITS N, ELEN B, VAN CRAENENDONCK T, et al. Age and sex affect deep learning prediction of cardiometabolic risk factors from retinal images[J]. *Sci Rep*, 2020, 10(1): 9432.
- [21] 俞婷婷, 吴韩, 王昆. 体质指数与腹主动脉钙化的患病率呈负相关[J]. *中国动脉硬化杂志*, 2022, 30(8): 676-680.
- YU T T, WU H, WANG K. Body mass index is inversely correlated with the prevalence of abdominal aortic calcification[J]. *Chin J Arterioscler*, 2022, 30(8): 676-680.
- [22] KHAZAI B, ADABIFIROUZJAEI F, GUO M Y, et al. Relation between retinopathy and progression of coronary artery calcium in individuals with versus without diabetes mellitus (from the multi-ethnic study of atherosclerosis)[J]. *Am J Cardiol*, 2021, 149: 1-8.
- [23] STALLONES R A. The association between tobacco smoking and coronary heart disease[J]. *Int J Epidemiol*, 2015, 44(3): 735-743.
- [24] SCHOLTE A J H A, SCHUIJF J D, KHARAGITSINGH A V, et al. Prevalence of coronary artery disease and plaque morphology assessed by multi-slice computed tomography coronary angiography and calcium scoring in asymptomatic patients with type 2 diabetes[J]. *Heart*, 2008, 94(3): 290-295.

(此文编辑 文玉珊)