

论 著

降主动脉近脊柱侧钙化与胸椎骨质增生相关性*

李玉花¹ 于克文^{2,*} 罗 昕¹
刘 伟¹ 李 波³

1.淄博市中心医院放射科 (山东 淄博 255036)

2.淄博市妇幼保健院内科

(山东 淄博 255000)

3.淄博市中心医院心内科 (山东 淄博 255036)

【摘要】目的 探讨基于CT的降主动脉近脊柱侧钙化与胸椎椎体骨质增生相关性。方法 收集232例观察对象一般资料、生化指标及基于CT的骨密度定量指标。CT图像将降主动脉钙化分为近肺(A)、近纵隔(B)及近脊柱(C)区分组,1组:无钙化,2组:仅A区钙化,3组:仅B区钙化,4组:仅C区钙化,5组:A+B区钙化,6组:A+C区钙化,7组:B+C区钙化,8组:A+B+C区钙化。比较不同分组间各指标的差异;比较不同组间动脉钙化率的差异;动脉钙化积分与各指标相关性分析;筛选降主动脉近脊柱侧钙化的风险因子,绘制ROC曲线,建立预测模型。结果 4组与1组间年龄、骨赘积分及松质骨密度有统计学差异,4组与2组骨赘积分及动脉钙化率有统计学差异。年龄及骨赘积分与降主动脉近脊柱侧钙化积分显著正相关,联合应用骨赘积分与年龄对降主动脉近脊柱侧钙化具有更高AUC值(0.883)。结论 降主动脉近脊柱侧钙化率最高,胸椎椎体骨赘积分与其显著相关,联合骨赘积分与年龄对其有更高预测价值。

【关键词】骨质增生;骨赘;钙化积分;动脉硬化

【中图分类号】R543.1+2

【文献标识码】A

【基金项目】2023年淄博市医药卫生科研项目
(20230901079);
山东省重点研发计划项目
(2018GSF118140)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.04.047

Correlation between Calcification of the Descending Aorta Close to the Spine and Osteophyte Formation in the Thoracic Vertebrae*

Li Yu-hua¹, YU Ke-wen^{2,*}, LUO Xin¹, LIU Wei¹, LI Bo³.

1.Department of Radiology, Zibo Central Hospital, Zibo 255036, Shandong Province, China

2.Department of Internal Medicine, Zibo Maternal and Child Health Hospital, Zibo 255000, Shandong Province, China

3.Department of Cardiology, Zibo Central Hospital, Zibo 255036, Shandong Province, China

ABSTRACT

Objective To explore the correlation between calcification of the descending aorta close to the spine based on CT and osteophyte formation in the thoracic vertebrae. **Methods** Collected general information, biochemical indicators, and quantitative bone density indicators based on CT for 232 subjects. CT images were divided into three regions for aortic calcification: near the lung(A), near the mediastinum(B), and near the spine(C), and subjects were grouped accordingly: Group 1: No calcification, Group 2: Calcification only in region A, Group 3: Calcification only in region B, Group 4: Calcification only in region C, Group 5: Calcification in regions A+B, Group 6: Calcification in regions A+C, Group 7: Calcification in regions B+C, Group 8: Calcification in regions A+B+C. Differences in various indicators between groups were compared; differences in arterial calcification rates between groups were compared; correlation analysis between arterial calcification scores and various indicators was performed; risk factors for calcification of the descending aorta close to the spine were screened, ROC curves were plotted, and a predictive model was established. **Results** There were statistically significant differences in age, osteophyte scores, and trabecular bone density between Group 4 and Group 1, and between Group 4 and Group 2 in terms of osteophyte scores and arterial calcification rates. Age and osteophyte scores were significantly positively correlated with calcification scores of the descending aorta close to the spine, and the combined use of osteophyte scores and age had a higher AUC value(0.883) for predicting calcification of the descending aorta close to the spine. **Conclusion** The calcification rate of the descending aorta close to the spine is the highest, and it is significantly correlated with thoracic vertebral osteophyte scores, with the combined use of osteophyte scores and age having a higher predictive value.

Keywords: Hyperosteoecy; Osteophyte; Calcification Score; Atherosclerosis

动脉硬化和脊柱退变均与年龄正相关,两者均受多种因素调控和影响。骨赘是脊柱退变的产物,动脉钙化与骨性骨赘的形成均与钙盐异位沉积有关。研究发现Wnt/ β -catenin信号通路、与炎症相关的信号通路即参与骨赘形成过程中软骨内骨化的调节也参与动脉钙化的调节^[1],那么胸椎骨赘与降主动脉钙化是否具有某种相关性?心脑血管疾病的病理基础是动脉局部炎症导致粥样硬化斑块形成,血管周围脂肪(perivascular adipose tissue, PVAT)与血管之间缺乏解剖学屏障,近年来多项研究数据表明两者之间存在复杂的双向的血管分泌及旁分泌信号通路, PVAT炎症与动脉炎症有紧密联系^[2-4]。降主动脉位于后纵隔,降主动脉与前方的食管、支气管之间有少量脂肪组织,与左侧的肺脏之间一般无脂肪组织存在,其右后毗邻脊柱,两者之间脂肪组织丰富,那么胸椎骨赘是否会通过影响降主动脉周围脂肪组织,进而参与降主动脉斑块的形成?本研究是在前期一项血清Preptin与动脉钙化相关性研究^[5]资料基础上,利用CT图像获取胸椎椎体骨赘积分、松质骨及皮质骨骨密度,并对降主动脉钙化分区分组研究,探讨可能影响降主动脉近脊柱侧钙化的因素。

1 资料与方法

1.1 一般资料与生化指标 本研究经淄博市中心医院伦理委员会批准,全体受试者均签署了知情同意书,批准文号No.202202005。研究纳入了2017年10月至2019年1月期间232名拟诊冠脉硬化患者,排除标准:存在肾脏疾病、甲状腺疾病、严重血液系统疾病、胸椎骨折、重体力劳动患者。收集患者性别、年龄、身高、体重、舒张压、收缩压、空腹血糖、尿素、肌酐、钙、磷、钾、钠、镁、谷丙转氨酶、谷草转氨酶、甘油三酯、总胆固醇、高密度和低密度脂蛋白、碱性磷酸酶。

1.2 CT扫描条件及CT数据测量 TOSHIBA, AQUILION ONE扫描仪。自动mAs (50-600mA),100kV;时间:0.35 s;长度:140mm;重建厚度:3mm。测量软件CaScore, TOSHIBA。图像标准化:层厚3 mm, WW=1500, WL=300。分别测量降主动脉不同分区钙化积分及T6-11椎体骨赘钙化积分。降主动脉钙化分区:降主动脉与纵隔脂肪前后交点之间连线,食管后缘与动脉和纵隔脂肪前方交点连线,两线与动脉交点将其分为近肺区(A)、近纵隔区(B)、近脊柱区(C),分别测量记录。椎体骨赘积分分

【第一作者】李玉花,女,副主任医师,主要研究方向:动脉硬化影像诊断。E-mail: rch999@126.com

【通讯作者】于克文,男,副主任医师,主要研究方向:高血压与脑血管疾病相关性。E-mail: 451289798@qq.com

T6-11椎体骨赘累计值，不包括附件骨赘，测量时避开皮质骨。PACS中分别测量T6-11椎体松质及皮质骨密度，记录HU值，取平均值。骨密度测量ROI置于椎体中间层面的小梁骨及皮质骨，避开骨岛、血管瘤、血管沟及骨赘。由3位主治医师分别测量，测量结果经一致性检验后取平均值。

1.3 统计学方法 应用SPSS.19统计软件。计量资料表示为均数±标准差。降主动脉不同分组间各指标的比较用单因素ANOVA检验，事后多重比较采用Games-Howell检验。不同分组间动脉钙化率的比较用Pearson卡方检验，用Bonferroni法行事后多重比较。降主动脉钙化积分与一般资料、各生化指标及各骨定量指标之间相关性用Spearman相关分析。回归分析筛选出与降主动脉脊柱区钙化相关的风险因子($P<0.05$)；用数坤科研平台数据处理系统将数据按照7:3比例划分测试集及验证集，绘制受试者工作特征(ROC)曲线，得到降主动脉近脊柱侧钙化风险预测模型Nomogram图。

2 结 果

2.1 降主动脉钙化分组间一般资料、生化指标及骨定量指标的比较 降主动脉钙化分区分组：1组：无钙化($n=124$)，2组：仅A区钙化($n=7$)，3组：仅B区钙化($n=0$)，4组：仅C区钙化($n=42$)，5组：A+B区钙化($n=0$)，6组：A+C区钙化($n=27$)，7组：B+C区钙化($n=10$)，8组：A+B+C区钙化($n=21$)。第3、5组 $n=0$ ，不予比较。第1、2、4、6、7、8组间年龄、骨赘积分、松质骨密度差异有显著统计学意义($P<0.05$)(表1)。组间多重比较：年龄在1组与2、4、6、7、8组间比较差异有统计学意义，2、4、6、7、8各组间比较差异无统计学意义。骨赘积分在1组与4、6、8组间、4组与2组间比较差异有统计学意义。松质骨密度在1组与4组间差异有统计学意义。4组与1组之间年龄、骨赘积分及松质骨密度有统计学差异，与2组骨赘积分有统计学差异(表2)。

表1 降主动脉钙化不同分组间一般资料、生化指标及骨定量指标的比较

项目	1组($n=124$)	2组($n=7$)	4组($n=42$)	6组($n=27$)	7组($n=10$)	8组($n=21$)	F值	P值
年龄	55.72±9.48	66.57±5.29	64.90±9.97	65.15±7.23	63.20±9.49	70.18±7.72	15.999	<0.01
身高	166.17±7.23	161.57±8.32	165.10±6.93	163.45±8.08	168.00±4.66	164.53±7.53	1.232	0.296
体重	70.47±11.96	60.85±10.62	70.35±10.29	72.14±23.34	71.25±11.11	68.00±11.22	1.030	0.401
载脂a	1.45±0.47	1.46±0.30	1.46±0.25	1.45±0.29	1.33±0.20	1.53±0.22	0.846	0.518
载脂b	0.89±0.24	0.86±0.21	0.93±0.25	0.92±0.31	0.82±0.27	0.88±0.33	0.417	0.836
尿素	5.12±1.60	5.22±0.91	5.52±1.26	5.13±0.84	5.31±1.05	4.65±1.50	1.133	0.344
肌酐	81.02±20.21	73.57±19.66	80.95±14.18	78.96±12.13	81.30±10.23	74.41±12.34	0.781	0.565
钙	2.33±0.23	2.32±0.21	2.28±0.22	2.35±0.14	2.36±0.17	2.31±0.20	0.482	0.790
磷	1.28±0.20	1.18±0.21	1.28±0.22	1.27±0.16	1.30±0.12	1.17±0.21	0.326	0.897
镁	0.93±0.11	0.93±0.07	0.94±0.10	0.93±0.08	0.96±0.09	0.93±0.14	0.363	0.863
钠	140.63±2.65	139.97±3.73	141.38±2.09	135.84±26.15	141.50±1.75	140.39±3.17	1.443	0.210
氯	105.58±2.60	105.88±3.39	106.05±2.64	106.12±2.52	105.66±2.40	104.57±3.09	1.117	0.352
谷丙转氨酶	24.19±14.04	18.88±13.60	28.24±21.16	20.95±15.73	25.50±13.00	17.88±7.47	1.741	0.126
谷草转氨酶	23.30±13.04	18.97±4.52	26.40±15.05	22.12±13.78	21.70±6.75	23.44±9.11	0.766	0.575
甘油三酯	1.76±1.26	1.39±0.51	1.49±0.57	1.64±0.88	1.58±0.76	1.31±0.77	1.040	0.395
总胆固醇	4.89±1.12	4.45±0.89	4.72±0.85	5.00±1.37	4.34±1.28	5.28±1.61	1.384	0.231
高密度脂蛋白	1.18±0.26	1.09±0.22	1.14±0.28	1.19±0.37	1.13±0.26	1.35±0.33	2.375	0.052
低密度脂蛋白	2.78±0.73	2.59±0.55	2.74±0.62	2.91±0.87	2.62±0.90	3.09±1.10	3.042	0.051
碱性磷酸酶	84.31±28.04	92.18±27.90	85.03±22.43	76.37±19.78	74.80±25.78	88.59±23.02	1.026	0.403
骨赘积分	1046.36±2287.88	2756.29±3386.87	3382.43±4811.06	3551.96±4021.87	5323.70±5153.77	4497.73±4495.13	7.991	<0.01
皮质骨密度	321.21±70.47	281.29±57.20	328.50±89.98	313.48±52.93	314.50±66.26	344.27±60.10	1.055	0.386
松质骨密度	156.60±55.09	112.00±31.42	133.88±38.13	134.33±41.30	116.00±48.82	144.14±51.27	3.302	0.007

表2 年龄、骨赘积分、松质骨密度在第1、2、4、6、7、8组间的多重比较

因变量	(I) 分区钙化分组	(J) 分区钙化分组	平均值差值 (I-J)	标准误差		显著性	95% 置信区间
				下限	上限		
年龄	1	2	-10.854*	2.172	0.008	-18.70	-3.00
		4	-9.187*	1.759	0.000	-14.35	-4.03
		6	-9.430*	1.631	0.000	-14.27	-4.59
		7	-7.482	3.121	0.240	-18.22	3.26
		8	-14.464*	1.853	0.000	-20.06	-8.87
胸椎骨赘							
积分	1	4	-2336.066*	770.270	0.043	-4623.27	-48.86
		6	-2505.600*	800.814	0.041	-4942.63	-68.57
		8	-3451.364*	980.143	0.020	-6493.13	-409.60
	4	2	2626.143	679.798	0.028	-4460.93	5713.21
松质骨密度	1	4	22.716*	7.687	0.044	0.39	45.04

2.2 降主动脉钙化分组2、4、6、7、8组之间动脉钙化率的比较(表3) 第2、4、6、7、8组间动脉钙化率的比较, 卡方值=423.29, 自由度=3, P小于0.01, 不同组间阳性率有显著差异。不同组间动脉钙化率的两两比较显示, 除了7组与2、4、6、8组及6组与8组之间没有显著性差异外, 其他组间均存在显著性差异, 近脊柱侧钙化率最高。

2.3 降主动脉A、B、C区钙化积分与一般资料、生化指标及各骨定量指标相关分析(表4) 降主动脉A、B区钙化积分与年龄呈显著正相关(P<0.05), 与骨赘积分及松质骨密度呈弱相关(P<0.05); C区钙化积分与年龄、骨赘积分呈显著正相关(P<0.05)(图1), 与松质骨密度呈弱负相关。

2.4 回归分析降主动脉近脊柱侧钙化风险因子、绘制ROC曲线, 建立回归模型 以近脊柱侧钙化积分为因变量进行多元线性回归发现年龄及骨赘积分是影响动脉钙化的独立因素, 年龄(Beta值=0.304, t=3.943, P<0.01, IF=1.776), 骨赘积分(Beta值=0.217, t=2.851, P=0.005, IF=1.714)。将年龄、骨赘积分分别作为连续的独立变量被列入, 各变量均对降主动脉近脊柱侧钙化有显著预测价值, 以年龄+骨赘积分为变量, ROC曲线的AUC增大, 骨赘积分+年龄对降主动脉近脊柱侧钙化风险具有更高的预测价值(表5, 图2), Nomogram图(图3)显示降主动脉近脊柱侧钙化的预测模型。

表3 降主动脉钙化分组2、4、6、7、8组之间动脉钙化率的比较

项目	2组和6组	2组和8组	4组和2组	4组和6组	4组和8组
z值	-3.21	-2.40	5.13	2.05	2.95
P值	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

表4 降主动脉三分区钙化积分与一般资料、生化指标及各骨定量指标相关性分析

指标	近肺区A		近纵隔区B		近脊柱区C	
	r值	P值	r值	P值	r值	P值
年龄	0.416	0.000	0.330	0.000	0.503	0.000
松质骨密度	-0.148	0.024	-0.126	0.056	-0.182	0.005
骨赘积分	0.248	0.000	0.204	0.000	0.505	0.000

表5 评估年龄、骨赘积分在降主动脉近脊柱侧钙化的单独与联合应用

指标	近脊柱侧(Train/Test)			
	AUC	SEN	SPE	ACC
模型1年龄	0.769/0.829	0.639/0.592	0.782/0.860	0.728/0.757
模型2骨赘积分	0.830/0.752	0.853/0.704	0.703/0.721	0.759/0.714
模型3年龄+骨赘积分	0.804/0.883	0.770/0.740	0.722/0.907	0.740/0.842

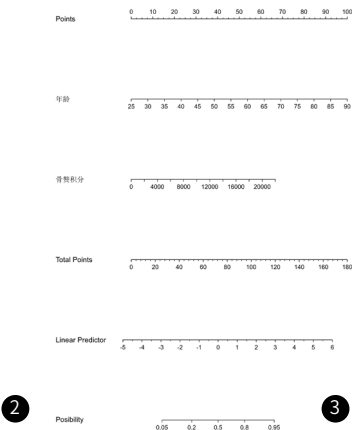
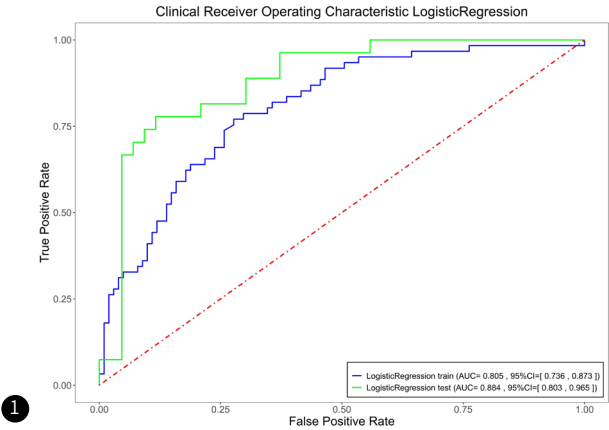
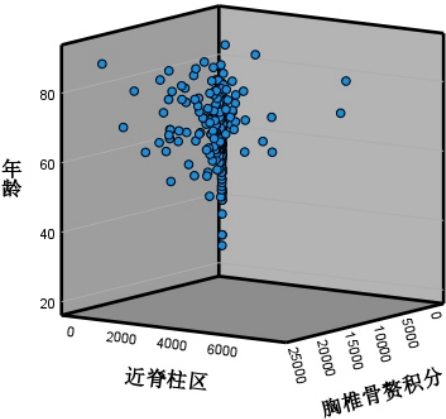


图1 近脊柱侧钙化与年龄、胸椎骨赘积分相关性三维散点图。
图2 年龄+骨赘积分预测降主动脉近脊柱侧钙化的ROC曲线。
图3 Nomogram图: 显示降主动脉近脊柱侧钙化的预测模型。

3 讨 论

年龄与机械因素在骨赘形成中起重要作用,但骨赘发生发展并非由某一个或两个因素控制^[7],骨关节炎启动及进展的发病机制尚未完全明了,研究发现动脉钙化与骨代谢的病理机制存在相似性^[6,8-9],参与调控骨赘软骨内骨化的信号通路 Wnt/ β -catenin 及炎症相关的信号通路也参与动脉钙化的调控^[1]。研究表明正常血管周围脂肪组织(PVAT)的存在是维持血管处于稳定功能状态所必需的^[3],不同谱系的脂肪细胞具有不同的生理及病理功能^[10],功能失调的PVAT会通过改变其分泌状态,影响血管平滑肌细胞(VSMC)和内皮细胞(EC),进而导致血管炎的发生,而炎症与动脉粥样硬化相关^[2],有研究发现颈动脉周围脂肪炎症与斑块内出血有相关性^[11]。胸椎骨赘是否会通过干扰PVAT的正常分泌功能进而影响动脉粥样硬化的发生,尚未见此类研究。本研究发现降主动脉近脊柱侧钙化发生率最高,其钙化积分与胸椎椎体骨赘积分呈正相关性。

骨赘影像评估包括x线、CT及MRI,X线及CT多为根据骨赘位置、长度和数量,既往研究多利用Nathan 分类法进行分级^[12]。MRI能更早地发现软骨骨赘^[13],目前有多种基于MRI的骨赘评估方法,也是依据骨赘的部位及大小进行分级评分^[14],上述分级方法对研究骨关节炎进展有重要意义,但对骨赘的矿化定量受限。Agatston算法是冠脉钙化积分^[15]的常用方法,原理是将钙化密度分数乘以钙化面积,据CT值范围130-199HU、200-299HU、300-399HU、400HU以上分别赋1、2、3、4分。该算法可对动脉管壁CT值大于130HU的钙盐沉积精确定量,由于骨性骨赘的密度远大于130HU,理论上此定量方法可对骨赘的钙盐沉积进行精确定量,既往已有研究利用Agatston法对颈动脉及胸主动脉钙化积分进行定量。

既往关于骨密度及冠状动脉钙化相关性的研究较多,Chuang TzyyLing等发现骨质疏松患者腰椎骨密度减低会增加冠脉钙化风险^[16],一项大样本人群的研究结果不支持较低的骨密度与冠脉钙化风险增加相关^[17],近期又有研究发现冠脉钙化与骨质疏松存在显著相关性^[18],既往研究中关于主动脉与骨密度相关性的研究较少,研究人群、样本量、统计方法和骨密度测量方法的差异都可能导致不同的研究结果,既往研究中较常用的骨密度获取办法为DXA与QCT,DXA无法将松质骨与皮质骨区分开,QCT检查及后处理程序复杂,既往研究表明QCT获得的骨密度与常规CT图像上HU表示的骨密度有显著相关^[19]。本研究发现T6-11 松质骨密度与降主动脉近脊柱侧钙化呈负相关,皮质骨密度与降主动脉钙化无相关性。以往研究多集中在骨质疏松与动脉硬化相关性上,而骨质增生与动脉硬化相关性一直不被人重视。Karasić发现椎体骨赘数量最多的个体主动脉钙化最多^[20],以色列一项研究发现椎体骨赘长度与胸主动脉钙化呈正相关^[12],以往研究中未见有对骨赘钙化程度进行定量的研究,也未对降主动脉钙化分区研究。本研究发现降主动脉近脊柱侧钙化积分明显高于近纵隔及近肺侧,近脊柱侧钙化积分与胸椎椎体骨赘积分相关性明显高于近纵隔及近肺区,抑制胸椎骨质增生,预防骨赘的形成或许会减缓降主动脉斑块的形成。

本研究创新性利用Agatston算法对胸椎骨赘进行量化,并首次对降主动脉钙化进行分区研究,探讨了骨质增生与动脉钙化之间的相关性。局限性:本研究为回顾性、横断面研究,椎体骨赘与动脉钙化的相关性尚需大规模前瞻性研究进一步验证,关于胸椎骨赘对降主动脉周围脂肪的影响后期将进行影像组学的进一步研究;骨赘积分的测量难免存在误差,皮质骨密度大于130HU,若将皮质骨包含在ROI中,则致测量值偏大;本研究未考虑CT值偏差;本研究没有考虑运动习惯等可能影响骨赘形成的机械因素,只排除了重体力劳动。

总之,我们发现降主动脉近脊柱侧钙化率比近纵隔及近肺侧更高,胸椎椎体骨赘积分与降主动脉近脊柱侧钙化具有更高的相关性,抑制胸椎骨质增生发生发展或许会减慢降动脉硬化的发展。

参考文献

- [1] Staines KA, Madi K, Mirczuk SM, et al. Endochondral growth defect and deployment of transient chondrocyte behaviors underlie osteoarthritis onset in a natural murine model[J]. *Arthritis Rheumatol*, 2016, 68(4): 880-891.
- [2] Chang L, Garcia-Barrio MT, Chen YE. Perivascular adipose tissue regulates vascular function by targeting vascular smooth muscle cells[J]. *Arterioscler Thromb Vasc Biol*, 2020, 40(5): 1094-1109.
- [3] Libby P. Inflammation in atherosclerosis—no longer a theory[J]. *Clin Chem*, 2021, 67(1): 131-142.
- [4] Agabiti-Rosei C, Saxton SN, De Ciuceis C, et al. Influence of perivascular adipose tissue on microcirculation: a link between hypertension and obesity[J]. *Hypertension*, 2024, 81(1): 24-33.
- [5] Li B, Li Y, Zhang T, et al. Preptin is a new predictor of coronary artery calcification[J]. *Clin Chim Acta*, 2018, 485: 133-138.
- [6] Junker S, Krumbholz G, Frommer KW, et al. Differentiation of osteophyte types in osteoarthritis – proposal of a histological classification[J]. *Joint Bone Spine*, 2016, 83(1): 63-67.
- [7] Rothschild B, Biehler-Gomez L. Osteophytes: the product of convergent evolution[J]. *Anat Rec (Hoboken)*, 2022, 305(9): 2113-2118.
- [8] Yang P, Troncone L, Augur ZM, et al. The role of bone morphogenetic protein signaling in vascular calcification[J]. *Bone*, 2020, 12(141): 115542-115543.
- [9] Chen Y, Zhao X, Wu H. Arterial stiffness: a focus on vascular calcification and its link to bone mineralization[J]. *Arterioscler Thromb Vasc Biol*, 2020, 40(5): 1078-1093.
- [10] Ye M, Ruan CC, Fu M, et al. Developmental and functional characteristics of the thoracic aorta perivascular adipocyte[J]. *Cell Mol Life Sci*, 2019, 76(4): 777-789.
- [11] 朱涵婷, 熊瑞芳, 李承毅, 等. 颈动脉周围脂肪密度与斑块内出血的相关性研究[J]. *中国CT和MRI杂志*, 2024, 22(7): 43-46.
- [12] Simonovich A, Naveh Y, Kalichman L. Pattern of thoracic osteophytes development and the association between calcification of the aorta and thoracic osteophytes: CT study[J]. *Clin Anat*, 2021, 34(7): 1009-1015.
- [13] Snoeker BAM, Ishijima M, Kumm J, et al. Are structural abnormalities on knee MRI associated with osteophyte development? Data from the Osteoarthritis Initiative[J]. *Osteoarthritis Cartilage*, 2021, 29(12): 1701-1708.
- [14] Zhu Z, Laslett LL, Han W, et al. Associations between MRI-detected early osteophytes and knee structure in older adults: a population-based cohort study[J]. *Osteoarthritis Cartilage*, 2017, 25(12): 2055-2062.
- [15] 刘扬, 宋彦丽, 姚旭成, 等. CCTA风险预测模型分析冠状动脉钙化评分及评估冠心病风险的研究[J]. *中国CT和MRI杂志*, 2024, 22(10): 65-67.
- [16] Chuang TL, Koo M, Wang YF. Association of bone mineral density and coronary artery calcification in patients with osteopenia and osteoporosis[J]. *Diagnostics (Basel)*, 2020, 10(9): 699-702.
- [17] Lu H, Lary CW, Hodonsky CJ, et al. Association between bone mineral density and coronary artery calcification: an observational and Mendelian randomization study[J]. *J Bone Miner Res*, 2024, 39(4): 443-452.
- [18] Manubolu VS, Mao S, Kinninger A, et al. Association between coronary artery calcium and thoracic spine bone mineral density: multiethnic study of atherosclerosis (MESA) [J]. *Nutr Metab Cardiovasc Dis*, 2023, 33(3): 532-540.
- [19] Chan JJ, Cupples LA, Kiel DP, et al. QCT volumetric bone mineral density and vascular and valvular calcification: the framingham study[J]. *J Bone Miner Res*, 2015, 30(10): 1767-1774.
- [20] Karasić D, Kiel DP, Kiely DK, et al. Abdominal aortic calcification and exostoses at the hand and lumbar spine: the framingham study[J]. *Calcif Tissue Int*, 2006, 78(1): 1-8.

(收稿日期: 2025-01-03)

(校对编辑: 江丽华)