

血钙标准分数对女性轻度肾动脉狭窄的预测价值

崔世恒¹, 陶思洁¹, 聂林静¹, 张德先¹, 张婉^{2*}, 肖婧^{1*}

¹复旦大学附属华东医院肾内科, 上海

²复旦大学附属华东医院血管外科, 上海

收稿日期: 2025年4月23日; 录用日期: 2025年5月16日; 发布日期: 2025年5月27日

摘要

目的: 探讨女性轻度肾动脉狭窄患者的预测因素, 帮助临床医生及早发现疾病并干预疾病进展。方法: 选择2019年01月至2024年12月间在华东医院肾内科收治的行肾动脉MRA检查的92例女性患者作为研究对象, 根据有无肾动脉狭窄分为轻度狭窄组($n = 52$)与非狭窄组($n = 40$), 比较了两组患者的人口学特征、临床特征及实验室参数。采用Logistic回归分析确定轻度肾动脉狭窄的独立风险因子, 通过构建受试者工作特征(Receiver operation characteristics, ROC)曲线评估不同变量对轻度肾动脉狭窄的预测价值。结果: 在这项横断面研究中, 二元多因素Logistic回归分析显示, 年龄($OR = 1.088, P = 0.002$)、血红蛋白($OR = 0.946, P = 0.002$)、血钙标准分数($OR = 3.248, P = 0.004$)是女性患者发生低级别RAS的独立危险因素。ROC曲线分析提示, 血钙曲线下面积(area under the curve, AUC)为0.706。对轻度肾动脉狭窄有一定的预测价值。结论: 血钙是肾动脉狭窄发生、发展的危险因素, 可用作筛选该病高危患者的指标。

关键词

轻度肾动脉狭窄, 血钙, 风险因素, 预测价值

Predictive Value of Standard Score of Serum Calcium in Mild Renal Artery Stenosis in Women

Shiheng Cui¹, Sijie Tao¹, Linjing Nie¹, Dexian Zhang¹, Wan Zhang^{2*}, Jing Xiao^{1*}

¹Department of Nephrology, Huadong Hospital, Fudan University, Shanghai

²Department of Vascular Surgery, Huadong Hospital, Fudan University, Shanghai

Received: Apr. 23rd, 2025; accepted: May 16th, 2025; published: May 27th, 2025

*通讯作者。

文章引用: 崔世恒, 陶思洁, 聂林静, 张德先, 张婉, 肖婧. 血钙标准分数对女性轻度肾动脉狭窄的预测价值[J]. 临床医学进展, 2025, 15(5): 1879-1886. DOI: 10.12677/acm.2025.1551570

Abstract

Objective: To investigate the predictive factors for female patients with mild renal artery stenosis, assisting clinicians in early detection and intervention of the disease progression. **Methods:** We selected 92 female patients who underwent renal artery MRA examination at the Huadong Hospital from January 2019 to December 2024 as the research subjects and divided them into two groups based on the presence or absence of renal artery stenosis: mild stenosis group (n = 52) and non-stenosis group (n = 40). We compared the demographic, clinical, and laboratory parameters between the two groups. We used Logistic regression analysis to determine the independent risk factors for mild renal artery stenosis, and constructed a receiver operating characteristic (ROC) curve to evaluate the predictive value of different variables for mild renal artery stenosis. **Results:** In this cross-sectional study, Binary Logistic Regression Model showed that age (OR = 1.088, P = 0.002), hemoglobin (OR = 0.946, P = 0.002), and standard score of serum calcium (OR = 3.248, P = 0.004) were the independent risk factors for the development of low-grade RAS in women. ROC curve analysis showed that the area under the curve (AUC) was 0.706, which had a certain predictive value for mild renal artery stenosis. **Conclusion:** Serum calcium levels are a risk factor for the development and progression of renal artery stenosis and can be used as an indicator to screen patients at risk for this disease.

Keywords

Mild Renal Artery Stenosis, Serum Calcium, Risk Factors, Predictive Value

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

轻度肾动脉狭窄(renal artery stenosis, RAS)是指肾动脉腔狭窄程度小于 50%的病变[1] [2], 尽管其症状通常不明显, 但研究表明, 这种状态可能是继发性高血压的早期病因之一, 同时也是慢性肾脏疾病(chronic kidney disease, CKD)发展的潜在危险因素[2] [3]。轻度 RAS 的早期识别对预防疾病进展和改善患者预后具有重要意义[3]。然而, 目前针对轻度 RAS 的研究主要集中在影像学诊断方法上, 例如彩色多普勒超声(color Doppler ultrasound, CDUS)、计算机断层扫描血管造影(Computed Tomography Angiography, CTA)、磁共振血管造影(Magnetic Resonance Angiography, MRA)和数字减影血管造影(Digital Subtraction Angiography, DSA) [4]-[6]。这些方法虽然在确诊 RAS 方面具有较高的敏感性和特异性, 但由于其高成本、操作复杂性及部分方法存在侵入性等问题[6], 使得其在轻度 RAS 大规模筛查中的应用受到限制。

血钙作为一种常规检测的生物标志物, 其在血管钙化及动脉粥样硬化的发生和发展中的潜在作用已引起临床研究者的关注[7] [8]。而肾动脉狭窄有绝大部分患者是动脉粥样硬化狭窄导致的[1], 血管钙化在一般人群中很常见, 其发病率随年龄增加而增加。该疾病导致老年患者、慢性肾病(CKD)患者和糖尿病患者的心血管发病率和死亡率[9], 既往研究表明, 血钙水平升高可能通过多种机制促进心血管疾病, 包括增加血管平滑肌细胞钙化、内皮细胞功能障碍以及炎症反应[7] [10] [11]。部分研究还发现, 高血钙水平与动脉粥样硬化、高血压及肾功能衰退相关[12]。然而, 目前针对血钙水平与轻度 RAS 之间关系的研究仍显不足, 尤其是女性患者这一特殊群体。尽管女性性别似乎与动脉粥样硬化没有高度相关性, 但目前

许多研究表明,除了肾功能和其他常见风险因素外,女性似乎是RAS的一个独立风险因素[13]-[15]。中国的国内研究还表明,老年妇女和肾功能不全是RAS的独立危险因素[16]。

因此,本研究旨在聚焦女性患者,探讨其血钙水平与轻度肾动脉狭窄的相关性。通过分析女性患者的临床数据,本研究希望揭示血钙水平作为轻度RAS筛查标志物的可行性和临床应用价值,同时为女性RAS高危人群的早期识别和个性化干预策略提供新的研究依据。

2. 资料与方法

2.1. 研究对象

本研究共纳入2019年01月至2024年12月在华东医院肾内科收治的92例行肾动脉非增强MRA检查的女性患者作为研究对象,纳入标准是接受过非造影剂肾MRA且RAS为低级别RAS的女性患者,排除标准为严重RAS、感染性疾病、恶病质、严重心肺功能不全和原发性或继发性甲状旁腺功能亢进症或功能减退症、高钙血症相关的恶性肿瘤(如多发性骨髓瘤、骨转移癌等)、临床资料或影像学检查结果等关键数据缺失者。低级别RAS定义为任何RAS的程度不超过50%。最终纳入92例女性患者,其中52例为低级别RAS组,其余40例为无RAS对照组。本研究是一项经复旦大学附属华东医院伦理委员会批准通过的回顾性队列分析,研究方案符合伦理要求(伦理批号:20200070),临床数据的收集与用途均已获得每位研究参与者的知情同意。

2.2. 数据收集与定义

由训练有素的护士收集基线特征,包括人口统计学(姓名、性别、年龄、职业、教育背景等)、实验室和影像学指标以及既往史、用药史、家族史以及吸烟和饮酒史。高血压定义为收缩压 ≥ 140 mmHg和/或舒张压 ≥ 90 mmHg或使用抗高血压治疗。在既往有糖尿病史或正在服用胰岛素或口服降糖药的人中被诊断出患有糖尿病;空腹血糖水平超过7 mmol/L的受试者也包括在内。实验室检查项目包括:BNP、pro-BNP、尿素氮(BUN)、血清肌酐(SCr)、空腹血糖(FPG)、血磷(SP)、白蛋白(ALB)、总胆固醇(TC)、甘油三酯(TGs)、低密度脂蛋白(LDL)、高密度脂蛋白(HDL)、血清钠(SNa)、血清钙(SCa)、血钙标准分数(Z-Sca)、血清钾(SK)、血清尿酸(SUA)、血清氯(SCL)、甲状旁腺激素(PTH)、三碘甲状腺原氨酸(T3)、甲状腺素(T4)、促甲状腺激素(TSH)、游离三碘甲状腺原氨酸(FT3)、游离甲状腺素(FT4)、尿 β -微球蛋白(U- β 2MG)、尿 α 1-微球蛋白与肌酐比值(U- α 1MG)、尿肌酐(UCr)和尿钠(UNa)。为确保结果的准确性和一致性,所有实验室测量均在中国上海复旦大学附属华东医院完成。

2.3. 低度肾动脉狭窄的评估

在复旦大学附属华东医院影像科使用32通道头线圈在3-Tesla Siemens Magnetom Prisma Scanner上进行非对比MRA。以重复时间为21 ms、回波时间为3.42 ms、翻转角为18°、220 * 176 mm视场、218 * 256采集矩阵、切片厚度为0.60 mm、距离因子-25%,采集时间为4 min和54 s获取三维飞行时间MRA图像(3D TOF MRA)。2名专业放射科医生确定了RAS的3.0-T MRA检测结果。根据管腔直径的狭窄程度,低级别RAS被认为是小于50%的管腔减少[1]。

2.4. 统计学分析

采用Kolmogorov-Smirnov检验确定临床数据的正态性分布,符合正态分布的连续变量描述为平均值 $\pm$ 标准差,组间差异比较采用独立样本t检验。使用Mann-Whitney U检验分析各组之间的差异。偏态分布资料的分析结果以中位值和四分位数间距表示,分类变量采用卡方检验或Fisher's精确检验确定组间

差异的显著性。选择组间具有显著分布差异的变量，为了使血钙浓度具有可比性并消除量纲的影响，本研究对血钙浓度进行 Z-score 标准化。通过相关标准化公式对每一位研究对象的血钙浓度进行转换[17]。接下来，采用二元 logistic 回归分析探讨独立风险因素。最后，绘制相应的 ROC 曲线，并计算最佳阈值。P 值 < 0.05 被认为具有统计学意义。采用 SPSS 26 进行统计学分析。

3. 结果

3.1. 组间基线资料比较

92 例女性患者初步纳入本研究，平均年龄(66.66 ± 14.04)岁，两组患者血浆白蛋白、总胆固醇、BMI、甘油三酯、预估肾小球滤过率、血肌酐、血钙、血磷、糖化血红蛋白、低密度脂蛋白、高密度脂蛋白、高血压占比、糖尿病占比、射血分数及 25 羟 - 维生素 D3 差异无统计学意义(P > 0.05)；两组患者年龄、血红蛋白、糖化血红蛋白以及血钙浓度(P < 0.05)差异均具有统计学意义；见表 1。

Table 1. Comparison of general data and detection indexes between the two groups

表 1. 两组临床基线资料比较

Variables	Total (n = 92)	非狭窄(n = 40)	轻度狭窄(n = 52)	Statistic	P
年龄, Mean ± SD	66.66 ± 14.04	61.25 ± 15.10	70.83 ± 11.70	t = -3.43	<0.001
HB g/l, Mean ± SD	114.98 ± 19.22	119.90 ± 19.20	111.29 ± 18.57	t = 2.16	0.034
ALB g/l, Mean ± SD	38.89 ± 4.28	39.36 ± 4.61	38.53 ± 4.01	t = 0.92	0.359
TC mmol/l, Mean ± SD	4.69 ± 1.07	4.76 ± 1.05	4.63 ± 1.09	t = 0.59	0.558
TG mmol/l, Mean ± SD	1.93 ± 1.10	1.96 ± 1.05	1.90 ± 1.15	t = 0.26	0.792
EGFR ml/min/1.73 m ² , Mean ± SD	53.48 ± 31.11	59.06 ± 29.31	49.18 ± 32.04	t = 1.52	0.132
Scr umol/l, Mean ± SD	182.16 ± 200.40	152.56 ± 160.67	204.92 ± 225.17	t = -1.25	0.216
Sca mmol/l, Mean ± SD	2.28 ± 0.15	2.22 ± 0.13	2.32 ± 0.15	t = -3.10	0.003
SP mmol/l, Mean ± SD	1.30 ± 0.30	1.29 ± 0.28	1.31 ± 0.32	t = -0.41	0.685
LDL mmol/l, Mean ± SD	2.73 ± 0.84	2.75 ± 0.90	2.72 ± 0.81	t = 0.16	0.876
HbA1C %, Mean ± SD	6.14 ± 1.48	5.79 ± 1.66	6.43 ± 1.27	t = -2.04	0.045
25 羟基维生素 D ng/ml, Mean ± SD	15.04 ± 10.02	14.09 ± 8.38	15.78 ± 11.16	t = -0.79	0.429
EF %, Mean ± SD	63.62 ± 3.44	63.16 ± 4.07	63.96 ± 2.89	t = -1.07	0.287
Z-Sca, Mean ± SD	-0.00 ± 1.00	-0.35 ± 0.85	0.27 ± 1.03	t = -3.10	0.003
BMI kg/m ² , M (Q ₁ , Q ₃)	23.73 (21.32, 25.74)	24.23 (21.25, 25.80)	23.43 (21.42, 25.41)	Z = -0.32	0.747
HDL mmol/l, M (Q ₁ , Q ₃)	1.31 (1.05, 1.62)	1.31 (1.05, 1.62)	1.35 (1.02, 1.59)	Z = -0.05	0.959
高血压, n (%)	75 (81.52)	29 (72.50)	46 (88.46)	χ ² = 3.82	0.051
糖尿病, n (%)	34 (36.96)	13 (32.50)	21 (40.38)	χ ² = 0.60	0.437

t: t-test, Z: Mann-Whitney test, χ²: Chi-square test; SD: standard deviation, M: Median, Q₁: 1st Quartile, Q₃: 3rd Quartile.

3.2. 女性轻度肾动脉狭窄患者的预测因素

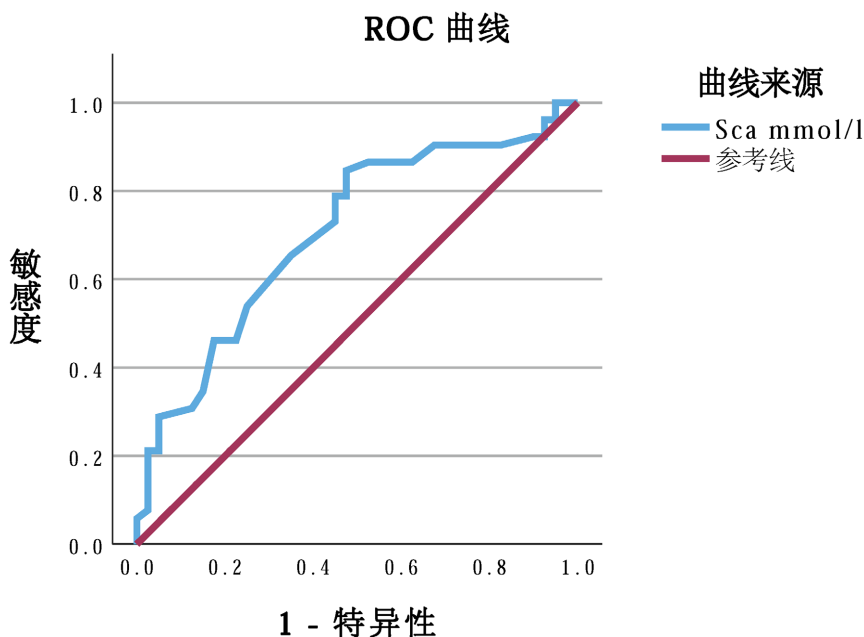
使用多变量 Logistic 回归分析评估女性轻度肾动脉狭窄患者的独立预测因素。在校正与潜在协变量后，结果发现患者年龄、血钙标准分数、血红蛋白是女性患者肾动脉轻度狭窄的独立危险因素(P < 0.05)；见表 2。

Table 2. Multi-factor logistic regression analysis**表 2.** 二元逻辑回归多因素分析

因素	B	瓦尔德	显著性	OR	95% CI
Z-Sca	1.178	8.387	0.004	3.248	1.463~7.208
年龄	0.084	9.833	0.002	1.088	1.032~1.147
HB g/l	-0.056	9.907	0.002	0.946	0.913~0.979
HbA1C %	0.331	2.538	0.111	1.392	0.927~2.091

3.2. 血钙预测女性轻度肾动脉狭窄患者 ROC 曲线分析结果

血钙(约登指数 0.304, AUC = 0.706)对女性轻度肾动脉狭窄患者有一定的预测价值;最佳截断值为 2.285, 灵敏度为 0.654, 特异度 0.65。见图 1。

**Figure 1.** ROC curve of serum calcium level predicting mild renal artery stenosis in female patient**图 1.** 血钙预测女性轻度肾动脉狭窄患者的 ROC 曲线图

4. 讨论

本研究探讨了血钙标准分数在预测女性轻度肾动脉狭窄(Renal Artery Stenosis, RAS)中的相关性,发现年龄、血红蛋白、血钙标准分数是女性患者发生低级别 RAS 的独立危险因素。ROC 曲线分析提示,血钙曲线下面积为 0.706,最佳截止值是 2.285,对轻度肾动脉狭窄有一定的预测价值。我们的研究提示血钙是肾动脉狭窄发生、发展的危险因素,可用作筛选该病高危患者的指标。

既往研究广泛探讨了血钙作为心血管疾病的潜在标志物,尤其是在冠心病和高血压等疾病中[18]。在一些文献中 Z-score 是常见步骤[17] [19],但在肾动脉狭窄相关研究中,直接对钙代谢指标进行标准化处理的文献较少,因此本研究方法具有一定的创新性。本研究发现 Z-score 标准化处理后的血钙水平的回归系数和诊断效能更具稳定性和解释性。其他研究可能未对血钙浓度进行标准化,因此回归系数可能会因单位差异而显著放大或缩小,导致难以比较。Z-score 调整后的结果避免了这种问题,使得不同研究间结

果具有更高可比性。

血钙水平升高可能通过多种途径影响 RAS 的发生发展：血管平滑肌钙化：高血钙可能诱导血管平滑肌细胞的钙化过程，导致血管硬化和管腔狭窄。既往研究表明，钙化是动脉粥样硬化和血管疾病的重要病理特征。内皮功能障碍：血钙水平过高可能通过增加内皮细胞凋亡或损伤，导致血管功能紊乱和炎症反应增强。其他系统性作用：血钙还与炎症因子(如 CRP)、氧化应激和代谢综合征密切相关，这些因素可能共同加剧 RAS 的病理进程[7] [10] [11] [20] [21]。这些机制的存在为血钙水平与 RAS 之间的潜在因果关系提供了生物学合理性。

女性患者在 RAS 的病理生理学中可能具有特殊的风险特征。本研究纳入的女性患者可能受到以下因素影响：①雌激素变化：随着年龄增长，绝经后女性的雌激素水平显著下降，可能加剧血管硬化和钙化进程[22]。②骨代谢对血钙的调节：老年女性骨质疏松的高发与钙代谢紊乱密切相关，可能对血钙水平的病理性变化产生影响[23] [24]。③代谢疾病共病率：女性患者常伴随更高的代谢综合征发生率[25]，这可能是 RAS 的重要风险因素。上述特异性可能在一定程度上解释了女性 RAS 高发及其与血钙水平之间的关联。

血钙分数的预测能力(ROC AUC 约为 0.7)表明其在 RAS 筛查中具有中等诊断价值。且既往也有研究表明血钙对于冠心病及颈动脉粥样硬化的相关预测价值[26]以及其在 CKD-MBD (chronic kidney disease-mineral and bone disorder)患者中因为矿物质代谢紊乱，导致血清钙、磷水平异常，进而导致血管壁硬化和狭窄[27]。因此，监测和管理 CKD 患者的血清钙水平对于预防血管并发症至关重要。血钙的优势包括：①经济性：血钙检测作为常规临床检查项目，费用较低，适合大规模筛查。②便捷性：无需复杂设备和操作，尤其适合资源有限的基层医疗机构。③推广性：易于与其他生物标志物联合使用，提高预测模型的诊断效能。然而，血钙分数的单独使用仍存在一定局限性，未来需结合其他生物标志物或影像学手段进一步提升诊断效能。

本研究存在一定的局限性，本研究样本量较小，统计效能可能不足，限制了结果的外推性。尽管对部分变量进行了调整，其他可能影响血钙水平的因素(如维生素 D 状态、钙补充剂)可能未完全控制。此外，关于轻度 RAS 的定义，不同研究中轻度 RAS 的定义可能存在差异，可能对结果的普适性产生影响。为克服上述局限性，后续研究可考虑扩大样本量，进一步增加多中心数据收集，提高研究结果的代表性。联合其他血液指标或代谢标志物(如磷酸盐、尿酸等)，构建多变量预测模型。动态监测与长期随访，观察血钙水平的动态变化及其与 RAS 进展的关联性。

综上所述，尽管本研究仍处于初步阶段，其结果表明血钙分数作为一种简单易得的指标，在女性轻度 RAS 患者的早期筛查中具有潜在价值。这一发现为基层医疗机构提供了一种成本可控的筛查工具，也为早期干预和预防 RAS 进展提供了依据。通过进一步研究和模型优化，血钙分数有望成为 RAS 筛查体系的重要组成部分。

作者贡献

崔世恒负责设计和实施研究方案、分析统计数据、撰写论文；张德先、陶思洁、聂林静负责调查、评估并采集样本数据；肖婧、张婉负责文章的质量控制及审校，对论文负责，监督管理。

参考文献

- [1] Colbert, G.B., Abra, G. and Lerma, E.V. (2021) Update and Review of Renal Artery Stenosis. *Disease-a-Month*, **67**, Article ID: 101118. <https://doi.org/10.1016/j.disamonth.2020.101118>
- [2] Dechering, D.G., Kruis, H.M.E., Adiyaman, A., Thien, T. and Postma, C.T. (2010) Clinical Significance of Low-Grade Renal Artery Stenosis. *Journal of Internal Medicine*, **267**, 305-315.

- [3] de Leeuw, P.W., Postma, C.T., Spiering, W. and Kroon, A.A. (2018) Atherosclerotic Renal Artery Stenosis: Should We Intervene Earlier? *Current Hypertension Reports*, **20**, Article No. 35. <https://doi.org/10.1007/s11906-018-0829-3>
- [4] Strandness, D.E. (1994) Duplex Imaging for the Detection of Renal Artery Stenosis. *American Journal of Kidney Diseases*, **24**, 674-678. [https://doi.org/10.1016/s0272-6386\(12\)80230-7](https://doi.org/10.1016/s0272-6386(12)80230-7)
- [5] Colyer, W.R., Eltahawy, E. and Cooper, C.J. (2011) Renal Artery Stenosis: Optimizing Diagnosis and Treatment. *Progress in Cardiovascular Diseases*, **54**, 29-35. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2011.02.007>
- [6] Safian, R.D. (2021) Renal Artery Stenosis. *Progress in Cardiovascular Diseases*, **65**, 60-70. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2021.03.003>
- [7] Lutsey, P.L. and Michos, E.D. (2012) Vitamin D, Calcium, and Atherosclerotic Risk: Evidence from Serum Levels and Supplementation Studies. *Current Atherosclerosis Reports*, **15**, Article No. 293. <https://doi.org/10.1007/s11883-012-0293-5>
- [8] Villa-Bellosta, R. (2021) Vascular Calcification: Key Roles of Phosphate and Pyrophosphate. *International Journal of Molecular Sciences*, **22**, Article 13536. <https://doi.org/10.3390/ijms222413536>
- [9] Tian, W.B., Zhang, W.S., Jiang, C.Q., Liu, X.Y., Jin, Y.L., Lam, T.H., *et al.* (2022) Aortic Arch Calcification and Risk of All-Cause Mortality and Cardiovascular Disease: The Guangzhou Biobank Cohort Study. *The Lancet Regional Health—Western Pacific*, **23**, Article ID: 100460. <https://doi.org/10.1016/j.lanwpc.2022.100460>
- [10] Abedin, M., Tintut, Y. and Demer, L.L. (2004) Vascular Calcification. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, **24**, 1161-1170. <https://doi.org/10.1161/01.atv.0000133194.94939.42>
- [11] Durham, A.L., Speer, M.Y., Scatena, M., Giachelli, C.M. and Shanahan, C.M. (2018) Role of Smooth Muscle Cells in Vascular Calcification: Implications in Atherosclerosis and Arterial Stiffness. *Cardiovascular Research*, **114**, 590-600. <https://doi.org/10.1093/cvr/cvy010>
- [12] Nicoll, R. and Henein, M.Y. (2014) The Predictive Value of Arterial and Valvular Calcification for Mortality and Cardiovascular Events. *IJC Heart & Vessels*, **3**, 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.ijchv.2014.02.001>
- [13] Harding, M.B., Smith, L.R., Himmelstein, S.I., Harrison, K., Phillips, H.R., Schwab, S.J., *et al.* (1992) Renal Artery Stenosis: Prevalence and Associated Risk Factors in Patients Undergoing Routine Cardiac Catheterization. *Journal of the American Society of Nephrology*, **2**, 1608-1616. <https://doi.org/10.1681/asn.v2i11608>
- [14] Khatami, M., Edalati-Fard, M., Sadeghian, S., Salari-Far, M. and Bs, M. (2014) Renal Artery Stenosis in Patients with Established Coronary Artery Disease: Prevalence and Predicting Factors. *Saudi Journal of Kidney Diseases and Transplantation*, **25**, 986-991. <https://doi.org/10.4103/1319-2442.139880>
- [15] Khatami, M.R., Jalali, A., Zare, E. and Sadeghian, S. (2018) Development of a Simple Risk Score Model to Predict Renal Artery Stenosis. *Nephron*, **140**, 257-264. <https://doi.org/10.1159/000492732>
- [16] 严健华, 孙臻贤, 赵肖奕, 等. 动脉粥样硬化性肾动脉狭窄的患病率及危险因素分析[J]. 中华医学杂志, 2013, 93(11): 827-831.
- [17] DeVore, G.R. (2017) Computing the Z-Score and Centiles for Cross-Sectional Analysis: A Practical Approach. *Journal of Ultrasound in Medicine*, **36**, 459-473. <https://doi.org/10.7863/ultra.16.03025>
- [18] 梁美云, 冯正平. 钙与心脑血管疾病的关系及其作用机制[J]. 中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志, 2020, 13(2): 177-183.
- [19] Paysal, J., Merlin, E., Rochette, E., Terral, D. and Nottin, S. (2023) Impact of BMI Z-Score on Left Ventricular Mechanics in Adolescent Girls. *Frontiers in Pediatrics*, **11**, Article 1165851. <https://doi.org/10.3389/fped.2023.1165851>
- [20] Jiang, H., Li, L., Zhang, L., Zang, G., Sun, Z. and Wang, Z. (2022) Role of Endothelial Cells in Vascular Calcification. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, **9**, Article 895005. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.895005>
- [21] Ortega, M.A., De Leon-Oliva, D., Gimeno-Longas, M.J., Boaru, D.L., Fraile-Martinez, O., García-Montero, C., *et al.* (2024) Vascular Calcification: Molecular Networking, Pathological Implications and Translational Opportunities. *Bio-molecules*, **14**, Article 275. <https://doi.org/10.3390/biom14030275>
- [22] Mendelsohn, M.E. and Karas, R.H. (1999) The Protective Effects of Estrogen on the Cardiovascular System. *New England Journal of Medicine*, **340**, 1801-1811. <https://doi.org/10.1056/nejm199906103402306>
- [23] Bover, J., Bailone, L., López-Báez, V., Benito, S., Ciceri, P., Galassi, A., *et al.* (2017) Osteoporosis, Bone Mineral Density and CKD-MBD: Treatment Considerations. *Journal of Nephrology*, **30**, 677-687. <https://doi.org/10.1007/s40620-017-0404-z>
- [24] Lane, N.E. (2006) Epidemiology, Etiology, and Diagnosis of Osteoporosis. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, **194**, S3-S11. <https://doi.org/10.1016/j.ajog.2005.08.047>
- [25] Pradhan, A.D. (2014) Sex Differences in the Metabolic Syndrome: Implications for Cardiovascular Health in Women. *Clinical Chemistry*, **60**, 44-52. <https://doi.org/10.1373/clinchem.2013.202549>

- [26] 姚智昇, 徐彦贵. 血钙水平与心血管疾病和癌症关系的研究进展[J]. 基础医学与临床, 2015, 35(6): 851-853.
- [27] 肖琼. 血管平滑肌细胞成骨样转分化在 CKD 血管钙化中的机制研究[D]: [博士学位论文]. 成都: 电子科技大学, 2023.