

冠状动脉迂曲的临床特点与冠状动脉粥样硬化相关性分析

吴钦超¹, 宋冰雪¹, 朱国腾², 孙瑞聪³, 王妮¹, 王金萍¹, 褚现明^{1,4*}

¹青岛大学附属医院心内科, 山东 青岛

²青岛大学附属医院重症医学科, 山东 青岛

³青岛大学附属医院心脏超声科, 山东 青岛

⁴青岛大学附属医院心血管病医院, 山东 青岛

收稿日期: 2023年3月13日; 录用日期: 2023年4月10日; 发布日期: 2023年4月17日

摘要

目的: 探究冠状动脉迂曲(CAT)患者的临床特点、危险因素, 并研究其与冠状动脉粥样硬化的相关性。方法: 采用回顾性方法选取2020年6月~2023年2月于青岛大学附属医院心内科行冠状动脉造影术的患者, 按照CAT的标准定义将患者分为CAT组与对照组, 统计两组患者的基本临床特征, 包括性别、年龄、体重、身高、BMI、既往史(高血压病史、糖尿病病史、吸烟史)、实验室指标(低密度脂蛋白、高密度脂蛋白、甘油三酯、脂蛋白A、空腹血糖、糖化血红蛋白、尿酸), 通过统计学方法比较两组之间的差异, 并运用logistic回归分析探讨CAT的独立危险因素; 分析冠状动脉是否迂曲以及迂曲程度与冠状动脉狭窄严重程度的相关性。结果: CAT组在女性比例(54.84% vs 20.59%, $P = 0.000$)、高血压患病率(83.87% vs 57.35%, $P = 0.001$)、收缩压(141.94 ± 17.55 vs 133.90 ± 14.58 , $P = 0.005$)、舒张压(79.90 ± 9.51 vs 76.41 ± 9.50 , $P = 0.038$)、高密度脂蛋白(1.37 ± 0.27 vs 1.26 ± 0.28 , $P = 0.019$)显著高于对照组, 而身高(163.92 ± 8.11 vs 169.13 ± 7.80 , $P = 0.000$)、吸烟比例(22.58% vs 52.94%, $P = 0.000$)显著低于对照组, 二元logistic回归分析结果表明高血压是CAT的独立危险因素(OR 3.420, 95% CI (1.401~8.353), $P = 0.007$)。CAT最常累及左前降支, 其次为左回旋支, 右冠状动脉合并CAT最为少见, CAT累及双支较为常见, 累及三支罕见。冠状动脉是否迂曲($P = 0.708$)及迂曲的严重程度($P = 0.452$)与冠状动脉狭窄的严重程度之间无明确关联。CAT组与非迂曲组在冠状动脉严重狭窄比例、合并心肌梗死比例无统计学差异。结论: 性别、身高、血压、吸烟、高密度脂蛋白可能与冠状动脉迂曲发生相关; 而高血压是CAT的独立危险因素; CAT与冠状动脉狭窄严重程度之间无明显关系。

关键词

冠状动脉迂曲, 动脉粥样硬化, 危险因素

*通讯作者。

Clinical Features of Coronary Tortuous and the Correlation Analysis between Coronary Tortuous and Coronary Atherosclerosis

Qinchao Wu¹, Bingxue Song¹, Guoteng Zhu², Ruicong Sun³, Ni Wang¹, Jinping Wang¹, Xianming Chu^{1,4*}

¹Department of Cardiology, The Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao Shandong

²Department of Intensive Care Medicine, The Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao Shandong

³Department of Cardiac Ultrasound, The Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao Shandong

⁴Department of Cardiology, The Affiliated Cardiovascular Hospital of Qingdao University, Qingdao Shandong

Received: Mar. 13th, 2023; accepted: Apr. 10th, 2023; published: Apr. 17th, 2023

Abstract

Objective: To explore the clinical characteristics and risk factors of patients with coronary artery tortuosity (CAT), and to study its correlation with coronary atherosclerosis. **Methods:** Patients who underwent coronary angiography in the Department of Cardiology, Affiliated Hospital of Qingdao University from June 2020 to February 2023 were selected retrospectively. According to the standard definition of CAT, the patients were divided into CAT group and control group, and the basic clinical characteristics of the patients in the two groups were analyzed. Gender, age, weight, height, BMI, previous history (history of hypertension, diabetes, smoking), laboratory indicators (low-density lipoprotein, high-density lipoprotein, triglyceride, lipoprotein A, fasting blood glucose, glycosylated hemoglobin, uric acid) were included. The differences between the two groups were compared by statistical methods, and the independent risk factors of CAT were analyzed by logistic regression analysis. The correlation between whether the coronary artery is tortuous or the degree of tortuous and the severity of coronary artery stenosis was analyzed. **Results:** In CAT group, the ratio of female (54.84% vs 20.59%, $P = 0.000$), prevalence of hypertension (83.87% vs 57.35%, $P = 0.001$), systolic blood pressure (141.94 ± 17.55 vs 133.90 ± 14.58 , $P = 0.005$), diastolic blood pressure (79.90 ± 9.51 vs 76.41 ± 9.50 , $P = 0.038$), high-density lipoprotein (1.37 ± 0.27 vs 1.26 ± 0.28 , $P = 0.019$) were significantly higher than those in the control group. Height (163.92 ± 8.11 vs 169.13 ± 7.80 , $P = 0.000$) and the proportion of smoking (22.58% vs 52.94%, $P = 0.000$) were significantly lower than those of the control group. The results of binary logistic regression analysis showed that hypertension was an independent risk factor for CAT (OR 3.420, 95% CI (1.401~8.353), $P = 0.007$). LCX was most frequently involved in CAT, followed by LCA. CAT combined with RCA was the rarest. CAT involved two branches was more common, and CAT involved three branches was rare. There was no clear association between coronary artery tortuosity ($P = 0.708$) or severity of tortuosity ($P = 0.452$) and severity of coronary artery stenosis. There was no significant difference in the proportion of severe coronary artery stenosis and myocardial infarction between CAT group and non-tortuous group. **Conclusion:** Gender, height, blood pressure, smoking and high-density lipoprotein may be related to the occurrence of coronary artery tortuosity. Hypertension was an independent risk factor for CAT. There was no significant relationship between CAT and the severity of coronary artery stenosis.

Keywords

Coronary Artery Tortuosity, Atherosclerosis, Risk Factor



1. 引言

冠心病是国内外病死率的主要原因, 严重威胁人类健康[1]。冠状动脉造影术(CAG)是冠心病的诊断金标准[2], 冠状动脉迂曲(CAT)则是 CAG 术中的一种常见表现, 形态学上, CAT 是指冠状动脉的解剖异常, 表现为迂曲、扭结、卷曲, 严重者呈弹簧样[3]。既往研究表明 CAT 的发生与性别、年龄、高血压、身高、体重等存在一定关系, 但目前尚无定论[4] [5]。另一方面, 冠状动脉迂曲通常被认为是一种良性病变, 不引起相应症状且不需要特殊治疗, 但严重迂曲可能会引起冠状动脉灌注压降低而导致缺血性胸痛[6]。另有研究表明, 冠状动脉狭窄病变合并迂曲者在行冠状动脉支架植入术后, 术后再狭窄的风险增加[7]。目前关于冠状动脉迂曲与冠状动脉粥样硬化的关系众说纷纭, 缺乏大型的临床试验证明。因此, 本研究拟分析冠状动脉迂曲患者的临床特点并探讨其与冠状动脉粥样硬化的相关性。

2. 方法

2.1. 一般资料

连续选取 2020 年 6 月~2023 年 2 月在青岛大学附属医院行 CAG 术的患者, CAG 确诊为冠状动脉迂曲的患者 62 例为迂曲组, 并选取无冠状动脉迂曲的患者 68 例为非迂曲组。统计患者性别、年龄、身高、体重、BMI、既往史(高血压病史、糖尿病病史、吸烟史), 并收集患者低密度脂蛋白、高密度脂蛋白、甘油三酯、脂蛋白 A、糖化血红蛋白、空腹血糖、尿酸等实验室指标。

2.2. 冠状动脉造影术

CAG 均选择桡动脉入路, 按照美国心脏病学会和美国心脏协会冠状动脉造影指南采用 Judkins 法采取多体位造影, 左冠状动脉采用足位 20°、左前斜 45° + 足位 30° (蜘蛛位)、头位 20°、左前斜 30° + 头位 20° (左肩位)、右前斜 30° + 头位 20° (右肩位)、右前斜 30° + 足位 20° (肝位), 右冠状动脉采用左前斜 45°、头位 20°、右前斜 30°采集完整影像。手术过程均由手术水平成熟的术者操作, 术后由三名经验丰富的内科介入医师共同阅片, 如有意见不一致通过协商达成一致。

2.3. 冠状动脉迂曲诊断标准

按照文献判定标准[3], 1) 轻度迂曲被定义为在至少一根冠状动脉主干的收缩期或舒张期中 ≥ 3 个弯曲, $<90^\circ$ 且沿血管方向改变 $\geq 45^\circ$, 血管直径 ≥ 2 mm; 2) 中度迂曲为在至少一根冠状动脉主干的收缩期或舒张期中 ≥ 3 个弯曲, $180^\circ <$ 且沿血管方向改变 $\geq 90^\circ$, 血管直径 ≥ 2 mm; 3) 重度迂曲为在至少一根冠状动脉主干的收缩期或舒张期中 ≥ 2 个弯曲, 且沿血管方向改变 $\geq 180^\circ$ 或呈螺旋状迂曲, 血管直径 ≥ 2 mm; 4) 无迂曲为 < 3 个弯曲和(或)沿血管方向改变 $< 45^\circ$ 。

2.4. 统计学方法

应用 SPSS26.0 软件包对资料进行分析, 计量资料用均数 \pm 标准差表示, 两组的比较采用 t 检验; 计数资料的比较采用卡方检验; 多因素分析采用二元线性回归和 logistic 回归模型进行分析; 因素间的相关关系采用 spearman 法。P 值 < 0.05 视为差异具有统计学意义。

3. 结果

3.1. 一般资料

CAT 组与对照组相比, 在女性比例(54.84% vs 20.59%, $P = 0.000$)、高血压患病率(83.87% vs 57.35%, $P = 0.001$)、收缩压(141.94 ± 17.55 vs 133.90 ± 14.58 , $P = 0.005$)、舒张压(79.90 ± 9.51 vs 76.41 ± 9.50 , $P = 0.038$)、高密度脂蛋白(1.37 ± 0.27 vs 1.26 ± 0.28 , $P = 0.019$)显著升高, 而在身高(163.92 ± 8.11 vs 169.13 ± 7.80 , $P = 0.000$)、吸烟比例(22.58% vs 52.94%, $P = 0.000$)显著降低。两组在年龄、BMI、低密度脂蛋白、甘油三酯、脂蛋白 A、糖化血红蛋白、尿酸、糖尿病患病率的比较无统计学差异($P > 0.05$)。详见表 1。

Table 1. Clinical characteristics of 130 patients

表 1. 130 例患者临床特征

变量	迂曲组(n = 62)	非迂曲组(n = 68)	t	P
年龄(岁)	63.35 ± 8.76	64.75 ± 7.96	0.412	0.681
身高(cm)	163.92 ± 8.11	169.13 ± 7.80	-3.735	0.000
体重(kg)	68.48 ± 13.23	72.75 ± 11.34	-1.979	0.050
BMI (kg/m ²)	25.33 ± 3.48	25.37 ± 3.13	-0.063	0.950
收缩压	141.94 ± 17.55	133.90 ± 14.58	2.850	0.005
舒张压	79.90 ± 9.51	76.41 ± 9.50	2.093	0.038
低密度	2.38 ± 0.82	2.10 ± 0.82	1.901	0.060
高密度	1.37 ± 0.27	1.26 ± 0.28	2.368	0.019
甘油三酯	1.45 ± 0.93	1.40 ± 0.85	0.357	0.721
脂蛋白 A	246.34 ± 236.70	251.50 ± 300.05	-0.108	0.914
糖化	6.41 ± 0.84	6.58 ± 1.31	-0.868	0.387
尿酸	320.95 ± 104.20	348.54 ± 83.86	-1.670	0.097
性别			16.335	0.000
男(例/%)	54 (79.41)	28 (45.16)		
女(例/%)	14 (20.59)	34 (54.84)		
吸烟			12.630	0.000
是(例/%)	36 (52.94)	14 (22.58)		
否(例/%)	32 (47.06)	48 (77.42)		
高血压			10.860	0.001
是(例/%)	39 (57.35)	52 (83.87)		
否(例/%)	29 (42.65)	10 (16.13)		
糖尿病			0.000	1.000
是(例/%)	34 (50.00)	31 (50.00)		
否(例/%)	34 (50.00)	31 (50.00)		

3.2. CAT 危险因素分析

是否迂曲为因变量, 组间有显著差异的因素为自变量构建二元 logistic 回归分析, 在矫正了其他因素影响之后, 结果表明高血压是 CAT 的独立危险因素(OR 3.420, 95% CI (1.401~8.353), $P = 0.007$), 高血压患者合并 CAT 风险是非高血压患者的 3.42 倍。详见表 2。

Table 2. Logistic regression analysis of coronary artery tortuosity

表 2. 冠状动脉迂曲 logistic 回归分析

变量	分组	Wald χ^2	P	OR (95% CI)
性别	女	1.155	0.282	1.908 (0.587~6.198)
吸烟史	是	1.566	0.211	0.544 (0.210~1.411)
高血压史	是	7.287	0.007	3.420 (1.401~8.353)
身高		0.526	0.429	0.973 (0.908~1.042)
高密度		1.605	0.205	2.620 (0.590~11.662)

3.3. 冠状动脉迂曲与冠状动脉粥样硬化相关性分析

CAT 最常累及左前降支(LCX) (40.3%), 其次为左回旋支(LCX) (20.97%), 右冠状动脉(RCA) (8.1%) 合并 CAT 最为少见, CAT 累及双支较为常见(29.0%), 其中 LAD + LCX 迂曲者较为多见(17.7%), 累及三支罕见(1.6%)。迂曲组与对照组相比, 合并严重狭窄的比例略低(54.8% vs 61.8%), 但是否迂曲与狭窄严重程度无明显关联($P = 0.708$)。进一步统计学分析表明, 迂曲的严重程度与狭窄严重程度无明显关联($P = 0.452$)。详见表 3、表 4(a)、表 4(b)。

Table 3. Coronary tortuosity of involved vessels

表 3. 冠状动脉迂曲受累血管情况

血管	频数	频率(%)
LAD	13	20.97
LCX	25	40.3
RCA	5	8.1
LAD + LCX	11	17.7
LAD + RCA	6	9.7
LCX + RCA	1	1.6
LAD + LCX + RCA	1	1.6

Table 4. (a) Relationship between coronary artery tortuosity and the degree of coronary artery stenosis; (b) Relationship between the degree of coronary artery tortuosity and coronary artery stenosis

表 4. (a) 冠状动脉迂曲与冠状动脉狭窄程度的关系; (b) 冠状动脉迂曲程度与冠状动脉狭窄程度的关系

		(a)			χ^2	P
		无或无明显狭窄 < 30%	$\geq 30\%$ 狭窄 < 70%	狭窄 $\geq 70\%$		
是否迂曲					0.692	0.708
无迂曲	11 (16.2%)	15 (22.1%)	42 (61.8%)			
迂曲	11 (17.7%)	17 (27.4%)	34 (54.8%)			

(b)					
	无或无明显狭窄 < 30%	≥30%狭窄 < 70%	狭窄 ≥ 70%	χ^2	P
迂曲严重程度				3.675	0.452
轻度迂曲	5 (21.7%)	4 (17.4%)	14 (60.9%)		
中度迂曲	4 (18.2%)	9 (40.9%)	9 (40.9%)		
重度迂曲	2 (11.8%)	5 (29.4%)	10 (58.8%)		

4. 讨论

本研究的主要发现是性别、身高、体重、吸烟、血压以及高密度脂蛋白可能与 CAT 的发生有关，而高血压患病率是 CAT 的独立危险因素(OR 3.420, 95% CI (1.401~8.353))。CAT 在 LCX 中发生率最高，其次为 LAD, RCA 的 CAT 发生率相对较低，而且出现两支 CAT 较为常见，尤其是在 LCX 及 LAD。另外，是否存在 CAT 以及 CAT 的程度均与冠状动脉粥样硬化的狭窄严重程度无明显关系($P > 0.05$)。

CAT 是冠状动脉造影术的一种常见表现，多种机制可能参与到 CAT 的发生中，但目前研究尚未完全阐明[4]。之前研究表明，CAT 可能与年龄、高血压、性别、基因相关[8] [9]，CAT 与高血压之间的关系研究较多。有研究报道，在动物模型中，在高负荷、高流量的情况下，动脉延伸、迂曲是平滑肌细胞增生以及内皮细胞增生、迁移而引起的适应性变化[5] [10]。CAT 的发生率与后负荷具有明显关系。CAT 可能是高血压引起冠状动脉压力升高、血流增加导致动脉重塑的一种形式，因此高血压与 CT 的密切关联是可以预料的[11]。而本研究发现 CAT 组与对照组之间无论高血压比例、收缩压、舒张压均有显著差别，且 logistic 回归分析进一步证明高血压是 CAT 的独立危险因素，这与之前的研究结果完全一致。本研究还发现在迂曲组与对照组之间女性比例具有显著差异(54.84% vs 20.59%, $P = 0.000$)，但 logistic 回归分析未获得显著结果(1.908 (0.587~6.198), $P = 0.282$)，提示女性与 CAT 的发生也存在一定关系。女性患者 CAT 发生率高可能由于心室体积较小而引起动脉迂曲[8] [12]。

本研究还对 CAT 的受累血管进行了分析，结果表明 CAT 最常累及 LCX，其次为 LAD, RCA 的迂曲发生比例相对较低，CAT 累及双支较为多见，以 LAD + LCX 最为常见，累及三支比较罕见。目前，关于 CAT 是否会增加冠状动脉粥样硬化风险的讨论尚无定论。有研究表明严重的冠状动脉迂曲与冠心病发生率呈负相关，然而，另有研究报道严重迂曲可能会影响到冠状动脉血供从而加重冠状动脉的发生发展[13] [14]。Xie X 通过利用计算流体力学分析冠状动脉迂曲的血流动力学特征，发现迂曲角度若超过 120° ，迂曲下游血管壁会形成一个低而震荡的壁剪切力区域，而血管内超声对冠状动脉进行重建后发现分叉附近低剪切力区域在斑块发展的同时伴随着扩张性重构，表明低壁剪切力是冠心病斑块发展的潜在机制[15]。但目前由于冠状动脉迂曲的诊断的不严格，导致研究中的迂曲程度判断存在一定问题，从而影响到最终的实验结果，因此，CAT 与冠心病之间的关系尚未研究透彻。本研究发现存在冠状动脉迂曲的患者在冠状动脉严重狭窄的发生率略低(54.8% vs 61.8%)，但卡方检验无明显差异性，冠状动脉迂曲的程度与冠脉狭窄程度也无明显关联。这可能是由于纳入的人群本身具有较高的冠状动脉狭窄程度而引起的偏移。相关的分析仍需要更多的临床试验进行探究。

本研究存在一定的局限性及不足，由于本研究采用了相对权威的 CAT 诊断标准，在回顾中纳入的样本量相对较少，可能会增加实验误差；部分资料无法收集完整，如血同型半胱氨酸、C 反应蛋白等，不能充分全面的探讨 CAT 的潜在危险因素。另外，本医院进行冠状动脉造影术存在严重冠脉狭窄的比例相对较高，从而引起了一定偏倚，可能因此影响到了迂曲与冠状动脉狭窄之间的关系分析。

总而言之，本研究发现了部分 CAT 的临床特征，CAT 患者相比于非迂曲患者女性比例、血压、高

密度脂蛋白相对较高,而吸烟比例及身高相对较低。高血压患病率是 CAT 的独立危险因素,高血压人群相较于非高血压患者 CAT 风险增加 2.42 倍。冠状动脉是否迂曲以及迂曲程度均与冠状动脉狭窄程度无明确关系。

5. 结论

性别、身高、血压、吸烟、高密度脂蛋白可能与冠状动脉迂曲发生相关;而高血压是 CAT 的独立危险因素,高血压患者发生 CAT 风险增加 2.42 倍;冠状动脉是否迂曲以及迂曲程度均与冠状动脉狭窄程度无明显关系。

致 谢

感谢所有参与研究的人员提供的宝贵数据,感谢褚现明教授的严格指导。

基金项目

本研究由国家自然科学基金面上项目(82172574),山东自然科学基金面上项目(ZR2020MH016)及山东省高等医学教育研究中心科研规划课题(YJKT202171)支持。

参考文献

- [1] Lee, Y.-T.H., Fang, J., Schieb, L., *et al.* (2022) Prevalence and Trends of Coronary Heart Disease in the United States, 2011 to 2018. *JAMA Cardiology*, **7**, 459-462. <https://doi.org/10.1001/jamacardio.2021.5613>
- [2] Collet, C., Grundeken, M.J., Asano, T., *et al.* (2017) State of the Art: Coronary Angiography. *EuroIntervention*, **13**, 634-643. <https://doi.org/10.4244/EIJ-D-17-00465>
- [3] Li, Y., Shen, C., Ji, Y., *et al.* (2011) Clinical Implication of Coronary Tortuosity in Patients with Coronary Artery Disease. *PLOS ONE*, **6**, e24232. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0024232>
- [4] Zegers, E.S., Meursing, B.T.J., Zegers, E.B. and Oude Ophuis, A.J.M. (2007) Coronary Tortuosity: A Long and Winding Road. *Netherlands Heart Journal*, **15**, 191-195. <https://doi.org/10.1007/BF03085979>
- [5] Jakob, M., Spasojevic, D., Krogmann, O.N., *et al.* (1996) Tortuosity of Coronary Arteries in Chronic Pressure and Volume Overload. *Catheterization and Cardiovascular Diagnosis*, **38**, 25-31. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0304\(199605\)38:1<25::AID-CCD7>3.0.CO;2-5](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0304(199605)38:1<25::AID-CCD7>3.0.CO;2-5)
- [6] Satish, G., Nampoothiri, S. and Kappanayil, M. (2008) Arterial Tortuosity Syndrome: Phenotypic Features and Cardiovascular Manifestations. *Circulation*, **117**, e477-e478. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.107.739839>
- [7] Konigstein, M., Ben-Yehuda, O., Redfors, B., *et al.* (2021) Impact of Coronary Artery Tortuosity on Outcomes Following Stenting: A Pooled Analysis from 6 Trials. *JACC: Cardiovascular Interventions*, **14**, 1009-1018. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2020.12.027>
- [8] Kahe, F., Sharfaei, S., Pitliya, A., *et al.* (2020) Coronary Artery Tortuosity: A Narrative Review. *Coronary Artery Disease*, **31**, 187-192. <https://doi.org/10.1097/MCA.0000000000000769>
- [9] Hutchins, G.M., Bulkley, B.H., Miner, M.M. and Boitnott, J.K. (1977) Correlation of Age and Heart Weight with Tortuosity and Caliber of Normal Human Coronary Arteries. *American Heart Journal*, **94**, 196-202. [https://doi.org/10.1016/S0002-8703\(77\)80280-9](https://doi.org/10.1016/S0002-8703(77)80280-9)
- [10] Chatzizisis, Y.S., Coskun, A.U., Jonas, M., *et al.* (2007) Role of Endothelial Shear Stress in the Natural History of Coronary Atherosclerosis and Vascular Remodeling: Molecular, Cellular, and Vascular Behavior. *Journal of the American College of Cardiology*, **49**, 2379-2393. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2007.02.059>
- [11] Sho, E., Nanjo, H., Sho, M., *et al.* (2004) Arterial Enlargement, Tortuosity, and Intimal Thickening in Response to Sequential Exposure to High and Low Wall Shear Stress. *Journal of Vascular Surgery*, **39**, 601-612. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2003.10.058>
- [12] Ciuricã, S., Lopez-Sublet, M., Loeys, B.L., *et al.* (2019) Arterial Tortuosity: Novel Implications for an Old Phenotype. *Hypertension*, **73**, 951-960. <https://doi.org/10.1161/HYPERTENSIONAHA.118.11647>
- [13] Khosravani-Rudpishi, M., Joharimoghdam, A. and Rayzan, E. (2018) The Significant Coronary Tortuosity and Atherosclerotic Coronary Artery Disease; What Is the Relation? *Journal of Cardiovascular and Thoracic Research*, **10**, 209-213. <https://doi.org/10.15171/jcvtr.2018.36>

-
- [14] Ellis, S.G. (2021) Coronary Tortuosity and Long-Term Post-Stent Risk: What Is the Connection? *JACC: Cardiovascular Interventions*, **14**, 1019-1020. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2021.01.015>
- [15] Xie, X., Wang, Y. and Zhou, H. (2013) Impact of Coronary Tortuosity on the Coronary Blood Flow: A 3D Computational Study. *Journal of Biomechanics*, **46**, 1833-1841. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2013.05.005>