

## Роль опору як одного з механізмів розвитку ішемічної хвороби серця у хворих зі звивистими коронарними артеріями

Книшов Г.В., Настенко Є.А., Лебедева Є.О., Сало С.В., Брянський М.М., Зубков С.В., Шардукова Ю.В.

ДУ «Національний інститут серцево-судинної хірургії ім. М.М. Амосова НАМН» (Київ)

Основою дослідження стали дані коронарографії 55 пацієнтів із клінічними проявами стенокардії за відсутності атеросклеротичного ураження коронарного русла, у яких при проведенні агіографічного обстеження була виявлена звивистість коронарних артерій. За даними коронарографії проаналізовано 208 фрагментів звивистих коронарних артерій. Показано, що приріст опору ділянок звивистих коронарних артерій, пов'язаний з їх кривизною, кутом вигину і збільшенням довжини, може бути відповідальним за розвиток ішемічної хвороби серця у пацієнтів без атеросклеротичного ураження судинної стінки.

**Ключові слова:** опір коронарних артерій, звивисті коронарні артерії, ішемічна хвороба серця.

Останнім часом у літературі з'явилися окремі повідомлення про зв'язок звивистості коронарних артерій (КА) та ішемічної хвороби серця (ІХС). Йдеться про наявність у пацієнтів *клінічної картини* ІХС, порушень перфузії міокарда лівого шлуночка при незмінних атеросклерозом звивистих КА [1, 4, 7]. У той же час феномен звивистості КА за даними ангіографії не є рідкісною знахідкою і виявляється у 9,2–12,5% пацієнтів, яким проводиться таке дослідження [5, 7, 10]. Проте механізми розвитку ішемічного пошкодження міокарда залишається невстановленими, що не дозволяє визначити стратегічні питання профілактики та лікування цієї судинної аномалії. Саме тому дослідження ролі геометричних характеристик звивистих КА в генезі ішемічного пошкодження міокарда видається актуальним.

**Метою** дослідження була оцінка геометричних характеристик звивистих КА і пов'язаними із цим змінами їх опору порівняно з незвивистими вінцевими судинами.

**Матеріал та методи дослідження.** Матеріалом дослідження стали дані коронарографії (КГ) 55 пацієнтів зі звивистістю КА за відсутності атеросклеротичного ураження їх судинної стінки. За даними КГ проаналізовано 208 фрагментів звивистих КА з урахуванням фази серцевого циклу. Зокрема, геометричні характеристики ділянок звивистих КА визначалися у кінці систоли та діастоли шлуночків. Аналізувалися лише ті фрагменти КА, які розташовувалися паралельно площині реєструючого детектора (рис. 1).

Вивчення форм звивистості КА та їх геометричних характеристик здійснювалося шляхом аналізу коронарограм. Звивистими вважали КА при виявленні трьох і більше вигинів (відхилення від прямолінійної осі, проведеної вздовж ходу артерії на  $\geq 45^\circ$ ) основних гілок, визначених у систолу і діастолу [12].

За допомогою спеціально створеного комп'ютерного програмного забезпечення вимірювалися радіуси скруглення (R), діаметри (D) та довжина окремих фрагментів звивистих КА, а також кути відхилення поздовжньої осі судини від прямої лінії, проведеної між двома кінцями артерії. Обчислювалися відносна кривизна КА (R/D), кутові деформації як різниця кутів вигину наприкінці діастоли та систоли. За формулою Вейсбаха-

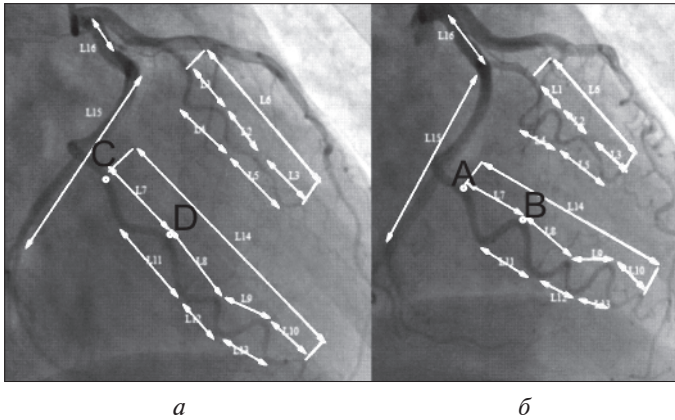


Рис. 1. Аналіз фрагментів звивистих КА з урахуванням серцевого циклу:  
а – діастола; б – систола.

Дарсі, для турбулентного руху крові, розраховувалися коефіцієнти приросту опору окремих ділянок звивистих КА, як функції відносної кривизни та кута вигину судини [3, 9]. Крім того, обчислювався приріст опору з урахуванням довжини КА. При розрахунку довжини окремого фрагмента звивистої КА враховували довжину скругленої частини судини та двох її прямолінійних ділянок. Приріст довжини зігнутого фрагмента КА обчислювався як відношення її вимірної довжини до найкоротшої відстані між початком та кінцем цього фрагменту. Довжина фрагментів звивистої КА вимірювалась із застосуванням спеціально створеного нами програмного забезпечення (рис. 1).

Статистична обробка матеріалу проводилась із використанням програми IBM Statistics 20.0. Використано методи описової статистики. Обчислювались середні значення, медіани, кuartілі, а також мінімальні та максимальні значення показників. Величини медіан не суттєво відрізнялися від середніх значень, тому в наведених нижче таблицях статистичних характеристик середні значення не наводилися.

**Результати та їх обговорення.** Опір звивистої ділянки КА знаходиться у зворотній залежності від показника  $R/D$  (відносна кривизна судини) і в прямій – від кута вигину  $\delta$  (рис. 2).

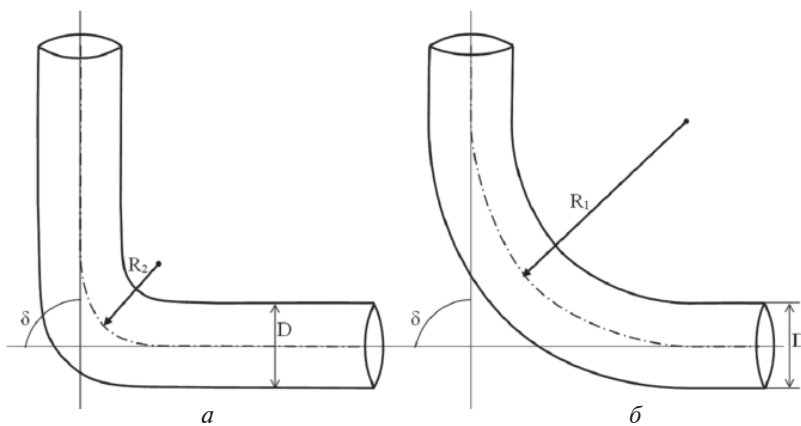


Рис. 2. Схема вимірювання кута відхилення  $\delta$  від прямої лінії, радіусів скруглення ( $R_1$ ,  $R_2$ ) судин однакового діаметру ( $D$ ) більшої ( $a$ ) та меншої ( $b$ ) відносної кривизни:  $R_1/D > R_2/D$ .

Коефіцієнт опору зігнутої ділянки КА (т.зв. «відводу»)  $\xi_{відв.}$  залежить від відношення R/d, величини кута вигину  $\delta$ , а також від форми поперечного перерізу судини [3, 9].

Результати розрахунку статистичних характеристик геометричних показників окремих ділянок звивистих КА наведені у табл. 1.

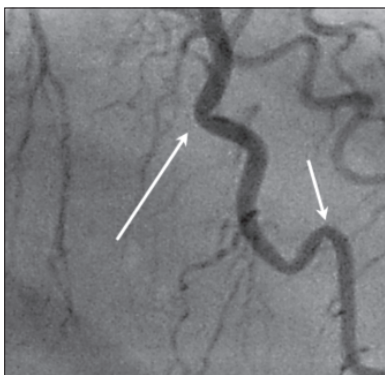
Таблиця 1

**Статистичні характеристики геометрії та опору окремих ділянок звивистих КА з урахуванням фази серцевого циклу:**  
**медіана [ $Q_{25\%}$ ;  $Q_{75\%}$  – інтерквартильний розмах] (min; max)**

Показник	Систола	Діастола
Відносна кривизна КА (R/D), відн. од.	4,7 [3,7; 6,7] (1,3; 19)	7,3 [5,4; 9,7] (2,1; 23,3)
Кут відхилення КА ( $\delta$ ) від прямолінійної траєкторії, град.	75,6 [58,7; 93,8] (26,1; 134)	52,5 [37,6; 67,1] (7,7; 113)
Кутові (систола-діастолічні) деформації КА ( $\Delta\delta$ ), град.	22,7 [13,5; 33,4] (0; 72,2)	
Коефіцієнт опору ( $\xi_{відв.}$ )	0,08 [0,06; 0,11] (0,03; 0,23)	0,05 [0,04; 0,07] (0,01; 0,14)
Додатковий приріст опору, %	8% [6%; 11%] (3%; 23%)	5% [4%; 7%] (1%; 14%)

Як свідчать отримані дані, відносна кривизна (R/D) звивистих ділянок КА у систолу була приблизно у 1,5 рази меншою, ніж у діастолу. За даними літератури, істотне зростання опору, зумовлене кривизною судини, спостерігається при R/D < 2,5 відн. од. [2]. Водночас загальновідомим фактом є існування розбіжностей між окремими КА (лівою КА та правою КА) у кровопостачанні міокарда залежно від фази серцевого циклу [8, 11]. Таким чином, отримані результати дають підстави обговорювати вплив кривизни судини на приріст опору, що, як відомо, визначає швидкість коронарного кровотоку, особливо у випадку кровопостачання міокарда звивистою правою КА впродовж систоли [13].

У подібному співвідношенні знаходились кути деформації КА відносно прямолінійної траєкторії. Зокрема, типовими кутами вигину КА слід вважати 58,7° – 93,8° у систолу та 37,6° – 67,1° у діастолу. Типові значення систоло-діастолічних градієнтів кута вигину КА (Дд) знаходились у межах від 13,5° до 33,4° (табл. 1). На нашу думку, такі зміни градієнта кута вигину КА можуть призводити до втрати судиною стінки механічної міцності та бути відповідальними за розвиток клінічних проявів ІХС (рис. 3).



Медіани коефіцієнта опору ( $\xi_{відв.}$ ), як величини відносного приросту опору, становили 0,08 у систолу та 0,05 у діастолу. Типовими були діапазони приросту опору – від 0,06 до 0,11 у систолу та від 0,04 до 0,07 у діастолу. Отримані результати показали, що у 25% фра-

Рис. 3. Клінічний приклад перегинання КА внаслідок втрати судиною механічної міцності

гментів звивистих КА приріст опору, зумовлений кутом вигину та кривизною судини, може бути досить значним: від 11 до 23% у систолу та від 7 до 14% у діастолу (табл. 1). Враховуючи той факт, що звивиста КА може мати 3 та більше вигинів, відповідно до принципу накладення втрат, загальний опір буде дорівнювати сумі опорів звивистих ділянок судини [9]. Таким чином, приріст опору за рахунок кількості вигинів може сягати гемодинамічно значущих величин, здатних суттєво змінювати коронарну гемодинаміку.

Згідно з нашими попередніми дослідженнями, проведеними за даними КГ, дійсна довжина звивистої КА може бути на 40% більшою порівняно з довжиною найкоротшої лінії, проведеної між початком і кінцем аналізованої ділянки КА [2]. Згідно з формулою Пуазейля, опір судини прямо пропорційний його довжині [3]. Отже, додатковий опір судини може бути зумовлений також прирощенням загальної довжини за рахунок вигинів (табл. 2).

Таблиця 2

**Статистичні характеристики прирощення довжини та опорів ділянок звивистих КА з урахуванням фази серцевого циклу:  
медіана [Q<sub>25</sub>%; Q<sub>75</sub>% – інтерквартильний розмах] (min; max)**

Показник	Систола	Діастола
Прирощення довжини зігнутого фрагмента КА, відн. од.	1,21 [1,16; 1,27] (1,08; 1,45)	1,30 [1,24; 1,38] (1,11; 1,59)
Приріст опору за рахунок додаткової довжини, %	21% [16%; 27%] (8%; 45%)	30% [24%; 38%] (11%; 59%)

Отримані дані відносно зміни опорів з урахуванням фази серцевого циклу, зумовлені прирощенням довжини КА, дозволяють припустити можливість існування гемодинамічного механізму розвитку порушень коронарного кровообігу. Типові значення відносного прирощення довжини КА у систолу знаходились у межах від 1,16 до 1,27 відн. од. Водночас типовий діапазон відносного прирощення довжини КА у діастолу знаходився у межах від 1,24 до 1,38 відн. од. (табл. 2).

Одним з механізмів розвитку коронарної недостатності при звивистості КА також може бути локальне збільшення трансмурального тиску в ділянці вигину судини, що може спричинити розвиток спазму у вказаній зоні. Слід зазначити, що такий механізм певним чином пояснює наявність гострого інфаркту міокарда в анамнезі у пацієнтів з атеросклеротично незміненими звивистими КА [5, 6].

Слід зазначити, що всі наведені вище розрахунки та міркування стосуються плоского вигину і були отримані за умов спокою, без урахування компенсаторних механізмів, тому є доцільним розглянути зміни показника опорів при різних фізіологічних умовах (спокій та фізичне навантаження). Зокрема, за умови спокою швидкість кровотоку у звивистій КА може бути збережена за рахунок зниження периферичного судинного опорів (судинний тонус). При фізичному навантаженні (ФН) швидкість кровотоку у звивистій КА може суттєво знижуватися за рахунок підвищення периферичного опорів. Таким чином, при ФН у пацієнтів зі звивистими КА може бути відсутня здатність до адаптації периферичного судинного опорів для того, щоб компенсувати додаткові опори, спричинені вигинами, що може призвести до неефективної регуляції коронарного кровообігу та незадовільного кровопостачання міокарда. Це узгоджується з клінічними проявами ІХС, зумовленими звивистістю КА [1, 4].

На підставі отриманих вище результатів ми вважаємо, що кількість вигинів і довжина судини мають бути використані для відображення тяжкості звивистості КА, але її клінічна значущість у пацієнтів із стенокардією та відсутністю атеросклеротичного ураження судинної стінки повинна визначатися за рахунок методів діагностики ІХС.

### **Висновки**

1. У ряді випадків, за відсутності атеросклеротичних бляшок, порушенню кровопостачання міокарда (і відповідно розвитку ІХС) може сприяти звивистість КА.
2. Зміни опору ділянок звивистих КА, пов'язані з їх кривизною та кутом вигину, можуть бути відповідальними за розвиток ІХС у пацієнтів з атеросклеротично незмінними вінцевими судинами.
3. Підвищення опору, зумовлене прирощенням довжини судини за рахунок вигинів, може бути додатковим фактором погіршення коронарного кровопостачання міокарда.
4. Високі циклічні деформації криволінійних ділянок КА можуть призводити до втрати стійкості стінок судини, травматизації та, відповідно, спазму, що підтверджується нашими клінічними спостереженнями.

### **Література**

1. Книшов Г.В. Місце сцинтиграфії в діагностиці порушень перфузії міокарда, обумовлених звивистістю коронарних артерій / Г.В. Книшов, Є.О. Лебедева, В.Ю. Кундін, О.І. Плиска // Вісник проблем біології і медицини. – 2014. – Вип. 4, Т. 1 (113). – С. 135–138.
2. Книшов Г.В. Методика определения истинной длины извитых сосудов / Г.В. Книшов, В.Б. Максименко, С.В. Зубков, Е.О. Лебедева, А.О. Матвийчук, Ю.В. Шардукова // Серцево-судинна хірургія: щорічн. наук. праць Асоціації серцево-судинних хірургів України. – К., 2011. – Вип. 19. – С. 208–212.
3. Коллинз Р. Течения жидкостей через пористые материалы // М. : Мир, 1964. – С. 350.
4. Лебедева Є.О. Звивистість коронарних артерій та ішемічна хвороба серця / Є.О. Лебедева, О.І. Плиска, М.М. Брянський, О.О. Плиска // Вісник проблем біології і медицини. – 2014. – Вип. 3, Т. 2 (111). – С. 161–167.
5. Лебедева Е.О. Анализ распространенности извитости коронарных артерий у пациентов с сердечно-сосудистой патологией / Е.О. Лебедева // Серцево-судинна хірургія: щорічн. наук. праць Асоціації серцево-судинних хірургів України. – К., 2012. – Вип. 20. – С. 302–306.
6. Лебедева Є.О. Феномен звивистості коронарних артерій у розвитку клінічних виявів ішемічної хвороби серця / Лебедева Є.О., Плиска О.І., Груша М.М. // Серце і судини. – 2014. – № 4(48). – С. 46–51.
7. Чумакова Г.А. Клиническое значение патологической извитости коронарных артерий / Г.А. Чумакова, В.А. Подковыркин // Сердце. – 2010. – Т. 9, № 2 (52). – С. 1724–1728.
8. Шмидт Р., Тевс Г. Физиология человека // М. : Мир, 1996. – Т. 2. – С. 313.
9. Brown G.O. Henry Darcy and the making of a law / G.O. Brown // WATER RESOURCES RESEARCH. – 2002. – Vol. 38, № 7. – P. 11-1–11-12.
10. Groves S.S. Severe coronary tortuosity and the relationship to significant coronary artery disease / S.S. Groves, A.C. Jain, B.E. Warden [et al.] // W.V. Med. J. – 2009. – Vol. 105, № 4. – P. 14–17.

11. Kim H.J. Developing computational methods for three-dimensional finite element simulations of coronary blood flow / H.J. Kim, I.E. Vignon-Clementel, C.A. Figueroa [et al.] // *Finite Elements in Analysis and Design*. – 2010. – Vol. 46. – P. 514–525.
12. Li Y. Clinical implication of coronary tortuosity in patients with coronary artery disease [Электронный ресурс] / Y.Li, C. Shen, Y. Ji [et al.] // *PLoS ONE*. – 2011. – Vol. 6, № 8. – P. e24232. – Режим доступа: <http://www.biomedsearch.com/attachments/00/21/90/46/21904618/pone.0024232.pdf>
13. Zegers E.S. Coronary tortuosity: a long and winding road / E.S. Zegers, B.T.J. Meursing, E.B. Zegers [et al.] // *Neth. Heart J*. – 2007. – Vol. 15(5). – P. 191–195.

### **Роль сопротивления как одного из механизмов развития ишемической болезни сердца у больных с извитыми коронарными артериями**

**Кнышов Г.В.**, Настенко Е.А., Лебедева Е.О., Сало С.В., Брянский Н.Н., Зубков С.В., Шардукова Ю.В.

Основой исследования стали данные коронарографии 55 пациентов с клиническими проявлениями стенокардии при отсутствии атеросклеротического поражения коронарного русла, у которых при проведении ангиографического обследования была выявлена извитость коронарных артерий. По данным коронарографии проанализировано 208 фрагментов извитых коронарных артерий. Показано, что приращение сопротивления участков извитых коронарных артерий, связанное с их кривизной, углом изгиба и увеличением длины, может быть ответственным за развитие ишемической болезни сердца у пациентов без атеросклеротического поражения сосудистой стенки.

**Ключевые слова:** *сопротивление коронарных артерий, извитые коронарные артерии, ишемическая болезнь сердца.*

### **The Role of Resistance as a one of Mechanisms of Development of Ischemic Heart Disease in Patients with Coronary Artery Tortuosity**

**Knyshov G.V.**, Nastenko Ie.A., Lebedieva Ye.O., Salo S.V., Bryanskiy N.N., Zubkov S.V., Shardukova Yu.V.

The research was based on the coronary angiography data of 55 patients with clinical manifestations of angina pectoris, which have tortuous coronary arteries without atherosclerotic lesions. According to the coronary angiography were analyzed 208 fragments of tortuous coronary arteries. It was shown that the increment of resistance of separate segments of tortuous coronary arteries, which were associated with their curvature, bend angle and an increased in length, may be responsible for the development of ischemic heart disease in patients without of atherosclerotic lesions.

**Key words:** *resistance of the coronary arteries, tortuous coronary arteries, ischemic heart disease.*