

# ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗВИВИСТОСТІ КОРОНАРНИХ АРТЕРІЙ

**Є.А. Настенко**

Доктор біологічних наук, кандидат технічних наук,  
завідувач кафедрою\*

**А.О. Матвійчук**

Аспірант, асистент\*

Контактний тел.: 097-127-23-95

E-mail: nutius@yandex.ru

**Є.О. Лебедева**

Лікар-хірург\*\*

**С.В. Сало**

Завідувач відділення, кардіохірург вищої  
кваліфікаційної категорії

Відділення екстреної ендovasкулярної хірургії з  
рентген операційною\*\*

\*Кафедра медичної кібернетики та телемедицини  
Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут”

пр. Перемоги, 37, Київ, Україна, 03056

\*\*Національний Інститут Серцево-Судинної Хірургії  
ім. М.М. Амосова

вул. Амосова, 6, м. Київ, Україна, 252601

*Звивистість коронарних артерій (КА) – патологія, яку часто зустрічають кардіологи. Однак етіологія, клінічна значущість коронарної звивистості, а також біомеханічні чинники маловивчені. Однією з причин звивистості може бути механічна деформація. Визначено фактори впливу на звивистість КА. Розраховано пороговий рівень продольної відносної деформації КА. Створено програмне забезпечення, яке дає можливість розраховувати відносні деформації*

*Ключові слова: звивистість КА, механічні деформації КА*

*Извитость коронарных артерий (КА) - патология, которую часто встречают кардиологи. Однако этиология, клиническая значимость коронарной извитости, а также биомеханические факторы малоизученные. Одной из причин извитости может быть механическая деформация. Определены факторы влияния на извитость КА. Рассчитан пороговый уровень продольной относительной деформации КА. Создано программное обеспечение, которое дает возможность рассчитывать относительные деформации*

*Ключевые слова: извитость КА, механические деформации КА*

## 1. Вступ

Особливостям деформацій інтактних артеріальних судин, зумовленим скороченнями серця, практично не приділяється належної уваги [1]. Проте це явище може відігравати важливу роль у формуванні склеротичних бляшок, у пошкодженні або зламі коронарних стентів та, ймовірно, бути однією з причин формування звивистості коронарних артерій [2]. Останнє явище як одна з причин так званого «синдрому Х» [3], наслідком якого є синдром стенокардії, на даний час ретельно вивчається.

Довжина звивистості КА може у 1,5 – 2 рази перевищувати довжину зони між її початком та кінцем, що, навіть не враховуючи додатковий опір на звивах, пропорційно збільшує її загальний опір [4].

При дослідженні великої кількості коронарографій було встановлено, що звивисті КА орієнтовані уздовж напрямку найбільшої деформації міокарду, що скорочується.

Тому виникло питання щодо кількісної оцінки цих деформацій і їх зв'язку із формуванням звивів КА.

Дотепер не вирішеними залишаються питання:

1) чи існує зв'язок між величиною відносної деформації КА та формуванням їх звивистості;

2) чи пов'язані злами коронарних стентів з циклічною деформацією скоротливого міокарду в зоні їх розташування (імплантації);

3) чи може надмірна циклічна деформація КА в зоні розташування стенту бути причиною їх заростання сполучною тканиною.

На даний час відсутні ефективні методики обґрунтування рішень щодо вибору між стентуванням і аорто-коронарним шунтуванням (АКШ) і вирішити цю проблему можна тільки з розробкою нових методів визначення деформації коронарних артерій і створенням відповідного програмного забезпечення. Системи, що вже існують, не містять вказаних функціональних можливостей.

Мета: розробка методик оцінки відносних деформацій для вивчення причин розвитку звивистих КА та для підтримки прийняття рішень щодо доцільності постановки коронарних стентів або аортокоронарного шунтування.

## 2. Матеріал та методи досліджень

В дослідження включено 130 пацієнтів, яким первинно коронарорентрикулографія (КВР) виконувалась в НІССХ ім. М.М. Амосова НАМНУ. В залежності

**Таблиця 2**

Фактори ризику	Коефіцієнт кореляції	Статистична значимість кореляції, P
CAT	0,18	0,06

від наявності звивистості та атеросклеротичного ураження КА пацієнти були розподілені на 2 групи.

Першу групу склали хворі зі звивистістю та атеросклеротичними ураженнями коронарних судин (в кількості  $n_1 = 66$ ), яким у подальшому проводилось коронарне шунтування (КШ). До другої групи увійшли пацієнти з атеросклеротичними ураженнями коронарних судин та без ознак їх вираженої звивистості (в кількості  $n_2 = 64$ ).

Було відібрано ряд факторів, які, ймовірно, мали найбільш вагомий вплив на розвиток коронарної звивистості серед пацієнтів з коронарним стентуванням (КС) чи КШ в анамнезі в цілому та в кожній КА зокрема. У дослідженні було проаналізовано наступні групи факторів ризику розвитку коронарної звивистості серед хворих з КС чи КШ в анамнезі:

- анамнестичні (вік, стать);
- фактори системного атеросклерозу (рівень загального холестерину плазми крові при первинному обстеженні, стенози ниркових артерій);
- фактори системного порушення обміну речовин (зріст, маса тіла, індекс маси тіла (ІМТ), ступінь ожиріння, цукровий діабет другого типу);
- серцево-судинні фактори (тип коронарного кровообігу (лівий, правий, змішаний), частота серцевих скорочень (ЧСС), рівень систолічного (САТ) та діастолічного (ДАТ) артеріального тиску, артеріальна гіпертензія (АГ) та інфаркт міокарда в анамнезі);
- терапевтичні фактори (антигіпертензивна терапія (АГ терапія)).
- Відібрані групи порівнювались між собою.

Статистична обробка матеріалу проводилась з використанням пакету програм IBM Statistics 20.0.

З метою оцінки впливу якісних факторів ризику на виникнення у пацієнтів звивистості КА використовувались критерій Пірсона та кореляція Спірмана (як представлено в табл. 1). З масиву досліджуваних ознак було відібрано ряд факторів, які мали найбільш вагомий вплив на виникнення коронарної звивистості серед пацієнтів зі звивистими КА з атеросклеротичним ураженням, а також пацієнтів з атеросклеротичними ураженнями КА без ознак їх звивистості прогресування коронарного атеросклерозу серед пацієнтів з КС чи КШ в анамнезі в цілому та в кожній КА зокрема.

В групах пацієнтів зі звивистістю та без звивистості КА та в кожній КА обох груп для оцінки впливу кількісних факторів ризику на виникнення у пацієнтів звивистості КА частотних характеристик був використаний t-критерій Стьюдента та кореляція Спірмана (в табл. 2).

Аналізуючи коефіцієнти кореляції у групі, в якій порівнюються незвивисті КА зі склерозом із звивистими КА зі склерозом найбільший вплив на звивистість КА зі склерозом мають ФВ, САТ та терапія АГ. ФВ є відносним показником скоротливої активності серця та відносних об'ємних деформацій.

Але, на жаль, на сьогоднішній день, механічним деформаціям КА не приділяється належної уваги. Тому було виконано дослідження зв'язку між величиною відносної деформації КА та формуванням їх звивистості.

У Національному інституті серцево-судинної хірургії ім. М.М. Амосова були отримані записи коронарорентрикулографій 54 пацієнтів зі звивистими КА без органічних пошкоджень, які поступили в інститут в 2009 р. Коронарорентрикулографія проводилась на ангіографічному комплексі AXIOM (SIEMENS) з контрастною речовиною візіпак. На вентрикулограмах були представлені шлуночки серця у лівій і правій косих проекціях, на яких показано зміни у часі перерізу лівого шлуночка разом з КА (відносно повздовжньої осі серця) упродовж повного періоду серцевого скорочення «систола – діастола».

Для дослідження зв'язку між величиною відносної деформації КА та формуванням їх звивистості було розраховано відносні деформації КА в межах одного серця – всього 622 ділянки артерій із 54 сердець. Серед цих ділянок спостерігались 87 незвивистих та 535 звивистих КА.

Під звивистістю розуміють конфігураційні аномалії КА, звивиста форма яких відрізняється від природної кривизни ділянки серця, на якому вона пролягає.

Тобто, існують хвилеподібні вигини КА, при яких довжина КА є більшою, ніж відстань по поверхні шлуночка між початком і кінцем розглянутої ділянки.

Патологічною вважали звивисті КА з одним і більше вигинами основної гілки з кутом між ділянками КА, які знаходяться по обидві сторони вигину, 90° і менше і/ або петлеподібними вигинами, які виявляють при коронарографії в різних проекціях в діастолу.

На рис. 1 показані відносні довжини судин в кінці систоли та кінці діастолу. Відносні деформації були розраховані за формулою:

**Таблиця 1**

Групи по факторам ризику		Незвивисті КА зі склерозом (n=64)	Звивисті КА зі склерозом (n=66)	Коефіцієнт кореляції	Статистична значимість кореляції, p	OR (95%CI)*
Фактори ризику	Розбиття значень факторів ризику					
Фракція викиду (ФВ)	знижена	29	12	0,285	0,004	1.0 (reference)
	норма	31	46			3,6 (1,6-8,1)
	вище норми	4	8			4,8 (1,2-19,1)
Терапія АГ	не приймав	37	19	0,242	0,002	1.0 (reference)
	лікувався	27	45			3,25 (1,56-6,74)

Примітки:  
\*) позначення: OR - відношення шансів, CI - 95% довірчий інтервал для OR

$$\epsilon_{Li} = \frac{L_{CiDi} - L_{AiBi}}{L_{AiBi}}$$

де  $L_{AiBi}$  – геометрична відстань між двома характеристичними точками в стані систоли;

$L_{CiDi}$  – геометрична відстань між двома характеристичними точками в стані діастолі.

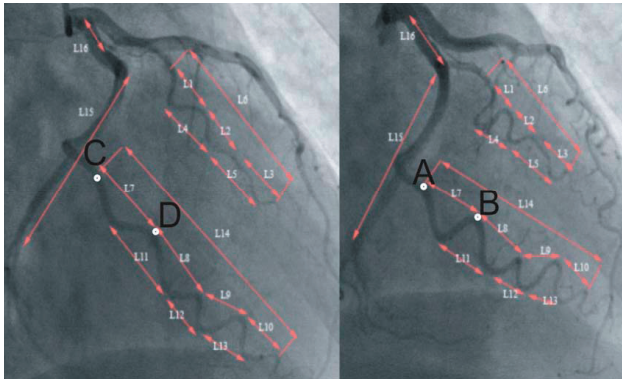


Рис. 1. Відносні довжини судин в стані діастолі (ліворуч) і систоли (праворуч)

Для знаходження порогового значення відносної деформації для звивистих та незвивистих КА були побудовані гістограми частот (рис. 2) знаходження відносної деформації звивистих та незвивистих КА в рівномірних інтервалах з шириною  $\Delta=4\%$ .

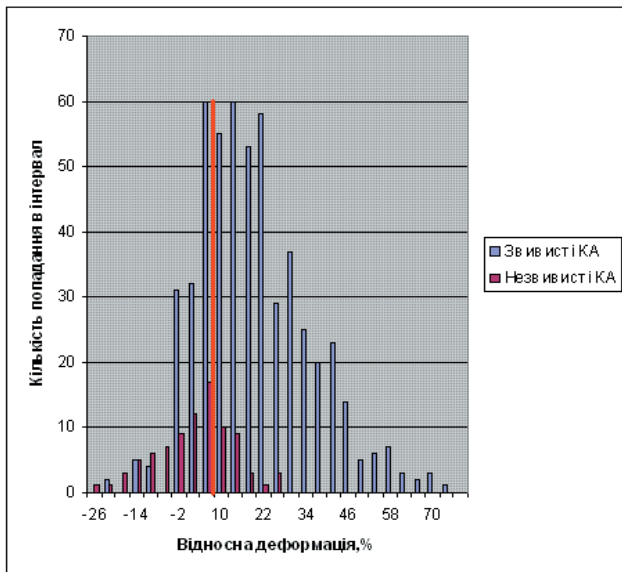


Рис. 2. Гістограми частот відносної деформації для звивистих та незвивистих КА

Порогове значення  $x_{\text{пор}}$  – це значення деформації для розділення отриманих результатів на множини „звивисті КА”, „незвивисті КА” з мінімальною сумарною похибкою.

$x_{\text{пор}}$  для визначення присутності звивистості КА було розраховане з умови мінімізації суми похибок I-го та II-го родів, тобто максимізації відносного значення коректних результатів  $S_{\text{true}}$ :

$$S_{\text{true}}(x_{\text{пор}}) = F_1(x_{\text{пор}}) / N_1 + (N_2 - F_2(x_{\text{пор}})) / N_2 \rightarrow \max, (1)$$

де  $F_1(x_{\text{пор}})$  – ненормована функція розподілення результатів для незвивистих КА,

$N_1$  - кількість результатів з незвивистими КА,

$F_2(x_{\text{пор}})$  – ненормована функція розподілення результатів для звивистих КА,

$N_2$  - кількість результатів зі звивистими КА.

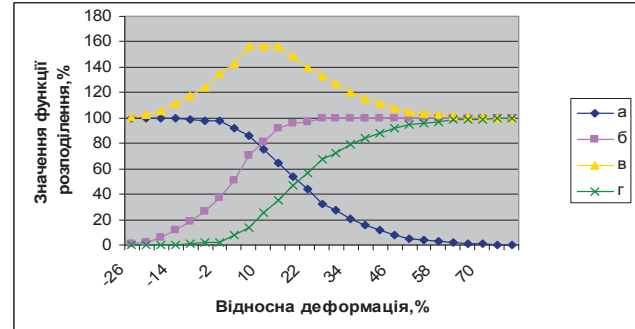


Рис. 3. Функції розподілення для звивистих та незвивистих КА: а – інвертована нормована кумулята для звивистих КА ( $N_2 - F_2(x_{\text{пор}})$ ), б – нормована кумулята  $F_1(x_{\text{пор}})$  для незвивистих КА, в – функція  $S_{\text{true}}(x)$ , нормована згідно розрахунку по (1) в діапазоні 100 – 200%, г – нормована кумулята  $F_2(x_{\text{пор}})$  для звивистих КА

В результаті було розраховано  $x_{\text{пор}} = 10\%$ .

Надмірна циклічна деформація КА в зоні розташування стенту може бути причиною їх перелому та заростання сполучною тканиною (що є матеріалом для інших досліджень).

### 3. Програмне забезпечення для дослідження звивистості коронарних артерій

Програма для обробки зображень була написана на мові графічного програмування Labview. Для проведення досліджень, необхідно завантажити два зображення коронарограм шлуночків серця в систолу та діастолу в одному із чотирьох представлених форматів: JPEG, BMP, PNG, DICOM. Для встановлення оптимальної (для вимог дослідження) якості зображень можна змінювати її яскравість і розмір, а також зміщувати по горизонталі та вертикалі.

Після виводу на екран та налаштування характеристик зображень користувач повинен встановити на кожному зображенні змінену декартову систему координат, осі якої мають співпадати з поздовжнім та поперечним розмірами шлуночка, а центр системи – співпадати з центром шлуночка. Перехід до зміщеної системи координат здійснюється за допомогою спеціальних елементів інтерфейсу, для зручності встановлення координат можливий вивід на зображення допоміжного еліпса. Осі нової системи координат та допоміжний еліпс можливо вивести графічно, як показано на рис. 4.

Змінені системи координат для двох виведених зображень можуть бути суміщені по параметрам, або задані незалежно одна від одної. В подальшому всі числові розрахунки здійснюються в змінній системі координат.

Для розрахунку деформації коронарних артерій в кожному з двох вікон програми з зображеннями



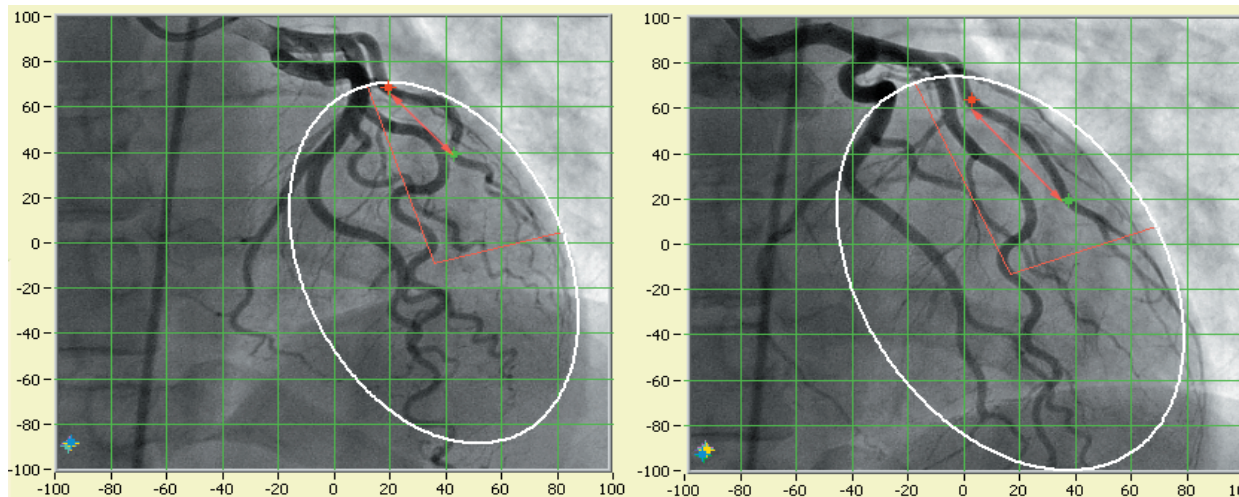


Рис. 4. Область інтерфейсу користувача для виводу зображень в систолу (справа) і діастолу (зліва)

містяться сукупності курсорів. Користувач має встановити курсори на місця зображення, деформацію ділянок між якими необхідно обчислити. Зокрема, користувач має встановити курсори на другому зображенні на відповідні до курсорів першого зображення точки.

Після встановлення курсорів на зображеннях користувач може отримати значення деформацій з'єднаних ними відрізків.

З використанням інтерфейсу користувача можна розрахувати наступні параметри:

1) геометричні відстані  $L_{AiBi}$  між двома обраними курсорами на першому зображенні (на рис. 4 позначені як точки А,В) та другому зображенні ( $L_{CiDi}$ , на рисунку 3 позначені як точки С, D);

2) проєкції  $L_{AxiBxi}$ ,  $L_{AyiByi}$ ,  $L_{CxiDxi}$ ,  $L_{Cyidiyi}$  даних геометричних відстаней на осі нових систем координат (з урахування напрямів відстаней);

3) відносні деформації  $\epsilon_{Li}$  обраних геометричних відстаней, що розраховані за формулою

$$\epsilon_{Li} = \frac{L_{CiDi} - L_{AiBi}}{L_{AiBi}};$$

а також деформації  $\epsilon_{Lxi}$ ,  $\epsilon_{Lyi}$  проєкцій даних геометричних відстаней на осі нових систем координат:

$$\epsilon_{Lxi} = \frac{L_{CxiDxi} - L_{AxiBxi}}{L_{AxiBxi}};$$

$$\epsilon_{Lyi} = \frac{L_{Cyidiyi} - L_{AyiByi}}{L_{AyiByi}}.$$

#### 4. Висновки

За результатами проведених досліджень було визначено, що найбільший вплив на звивистість КА зі склерозом мають ФВ та терапія АГ. Визначено, що пороговий рівень продольної відносної деформації – 10%. Дана ситуація спостерігається при прогресуванні гіпертрофії шлуночків серця, причинами якої можуть бути артеріальна гіпертензія, деякі вроджені пороки серця.

На основі отриманих даних коронароангіографії розроблено просте у використанні програмне забезпечення, яке дозволяє розрахувати:

- геометричні відстані між двома обраними курсорами при систолі та при діастолі;
- кути нахилу КА;
- відносні деформації обраних геометричних відстаней;
- деформації проєкцій даних геометричних відстаней на осі нових систем координат.

Область застосування розробленого програмного забезпечення може бути розширена для визначення деформації незвивистих КА і використання для підтримки прийняття рішень щодо вибору тактики операції, оскільки дуже великі деформації в стентуючих КА можуть призводити до перелому стента і до оклюзій в зонах його постановки.

Тому своєчасне встановлення за допомогою розробленого програмного забезпечення відносної деформації КА за даними коронароангіографії і, в залежності від отриманих даних, подальше коронарне стентування або аорто-коронарне шунтування, дозволить знизити частоту перелому стента, підвищити виживаемість, поліпшити якість життя хворих з ішемічною хворобою серця.

#### Література

1. Zegers E.S., Meursing B.T.J., Zegers E.B., Oude Ophuis A.J.M. Coronary tortuosity: a long and winding road // Neth. Heart. J. – 2007. – Vol. 15. – P. 191-195.
2. Del Corso L, Moruzzo D, Conte B, Agelli M, Romanelli AM, Pastine F, et al. Tortuosity, kinking, and coiling of the carotid artery: expression of atherosclerosis or aging? // Angiology. – 1998. – Vol. 49. P. 361-371.
3. Crea F, Lanza G.A. Angina pectoris and normal coronary arteries: cardiac syndrome X // Heart. – 2004. – Vol. 90. – P. 457-463.
4. Кнышов Г.В., Настенко Е.А., Максименко В.Б. и др. Методика определения истинной длины извитых сосудов. Щорічник наукових праць Асоціації серцево-судинних хірургів України, 2011. – Вип. 19. – С. 208-212.

### Abstract

Tortuosity of coronary arteries (CA) is pathology famous to cardiologists and visible during coronary angiography. However, etiology, clinical significance of coronary tortuosity and biomechanical factors are little-studied and rarely discussed in the literature [1]. One of the reasons of CA tortuosity may be their mechanical deformation. Modern researches give almost no attention to this issue.

The influence on the tortuosity of the CA was determined, using statistical methods of analysis. The threshold level of engineering strain of CA was calculated.

The article concerns the aspects of the software creation that makes it possible to calculate the strains of the coronary arteries. The method can be used to study not only the mechanisms of formation of CA tortuosity, but also for decision-making as to the appropriateness and safety of coronary stent insertion

**Keywords:** tortuosity of CA, mechanical deformation of CA

Обґрунтовано значущість транспортно-го затору, як фактора, що впливає по-різному на функціональний стан водіїв різних темпераментів.

Представлено результати досліджень факторів, що впливають на функціональний стан водія-холерика і водія-флегматика в транспортному заторі у вигляді характеристичних графіків

**Ключові слова:** транспортний затор, фактор, функціональний стан, темперамент, характеристичний графік

Обоснована значимость транспортного затора, как фактора, влияющего по-разному на функциональное состояние водителей разных темпераментов.

Представлены результаты исследований факторов, влияющих на функциональное состояние водителя-холерика и водителя-флегматика в транспортном заторе в виде характеристических графиков

**Ключевые слова:** транспортный затор, фактор, функциональное состояние, темперамент, характеристический график

УДК 656.13+612.81

## ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТРАНСПОРТНОГО ЗАТОРА НА СОСТОЯНИЕ ВОДИТЕЛЕЙ РАЗНЫХ ТЕМПЕРАМЕНТОВ

**Н. У. Гюлев**

Кандидат технических наук, доцент\*

Контактный тел.: (057) 716-93-70

E-mail: ngulev@mail.ru

**В. К. Доля**

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой\*

Контактный тел.: (057) 707-32-61

\*Кафедра транспортных систем и логистики  
Национальная академия городского хозяйства  
ул. Революции, 12, г. Харьков, Украина, 61002

### 1. Введение

Более чем в 70% случаях, сбои и отказы в системе «водитель – автомобиль – дорога – среда» происходят по вине водителя [1]. Поэтому при организации дорожного движения особое внимание должно быть уделено водителю и изменению его функционального состояния.

### 2. Постановка проблемы

Транспортные заторы на перекрестках в периоды «пик» значительно увеличивают время передвижения

и снижают скорость движения транспорта. Пребывание в транспортных заторах отрицательно сказывается на психофизиологическом состоянии водителя, вызывая ухудшение его функционального состояния и ряда психических свойств [1-4].

Отрицательное воздействие транспортных заторов заключается также в ухудшении экологической обстановки города вследствие выброса токсических веществ, содержащихся в отработавших газах автомобилей, в атмосферу [5].

На изменение состояния водителя влияют его индивидуально-типологические свойства или темперамент.

Это свидетельствует о важности проведения исследований по оценке влияния факторов транспортного