

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИСТИННОЙ ДЛИНЫ ИЗВИТЫХ КОРОНАРНЫХ АРТЕРИЙ

Г.В. Кнышов, Е.А. Настенко, В.Б. Максименко, С.В. Зубков, Е.О. Лебедева,  
А.О. Матвийчук, Ю.В. Шардукова

*Национальный институт сердечно-сосудистой хирургии  
им. Н.М. Амосова НАМН Украины*

На клиническом материале коронарографии пациентов с извитыми коронарными артериями разработана методика вычисления их истинной длины. Показано, что истинная их длина с учетом формы поверхности пролегания может отличаться от длины в плоской проекции на 40% и более. Это должно обязательно учитываться при расчете параметров кровотока по извитым коронарным артериям.

**Ключевые слова:** *извитые коронарные артерии, коронарный кровоток, сопротивление коронарных артерий.*

Среди больных, поступающих на лечение с симптомами стенокардии, встречаются пациенты без поражения коронарных артерий (КА). Видимой причиной коронароспазма у этой категории больных является извитость КА, которая предположительно и приводит к локальной, гемодинамически обусловленной перегрузке их отдельных участков и повышению общего сопротивления кровотоку [1–4]. Коронарография предоставляет лишь плоские проекции контрастированных коронарных артерий, при этом определение их истинной длины [5, 6] в плоскости проекции может приводить к существенным погрешностям. Поэтому определение длины извитых КА с учетом формы поверхности их пролегания представляется актуальной задачей.

**Целью** данной работы была разработка и оценка эффективности методики определения истинной длины коронарных артерий с учетом кривизны поверхности пролегания по данным коронарографии.

**Материал и методы исследования.** В качестве исходного клинического материала были проанализированы данные 215 (113 мужчин и 102 женщины) рентгенконтрастных исследований КА, проведенных в НИССХ им. Н.М. Амосова в 2009 г. Из 215 пациентов 75 (35%) – с пороками сердца, 67 (31%) – больных ИБС с симптомами стенокардии напряжения и(или) покоя и 19 (9%) – с сочетанной клапанной и(или) коронарной патологией в сочетании с другими заболеваниями сердца и сосудов.

У 54 (25%) пациентов данной группы, имевших приступы стенокардии, повреждения КА отсутствовали, однако была выявлена извитость коронарных артерий. У указанного контингента больных часто наблюдались повышенная фракция выброса левого желудочка, а также наличие артериальной гипертензии (66%).

Какое-либо описание извитых коронарных артерий и их патогенеза в известной нам литературе отсутствовало.

**Результаты и обсуждение.** Исследование формы реальных сосудов на поверхности миокарда показало, что по мере приближения к дистальному концу диаметр коронарной артерии (КА) уменьшается, амплитуда изгибов увеличивается, а период уменьшается. Наблюдается уплощение верхушек изгибов.

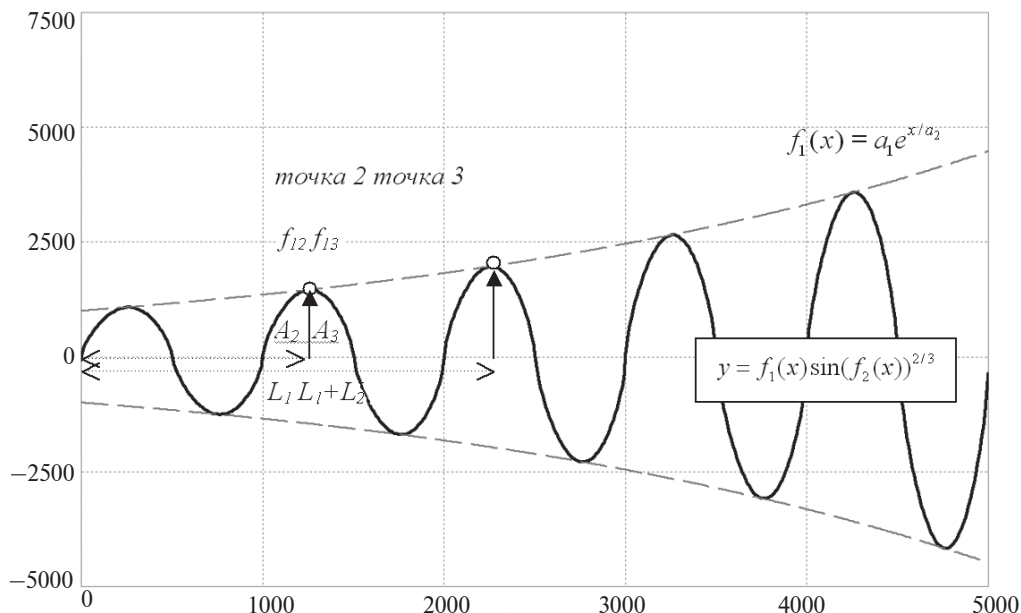


Рис. 1. Плоский график извитой КА

Поэтому в качестве аппроксимирующей функции оси сосуда была выбрана функция (рис. 1):

$$y = f_1(x) \sin(f_2(x))^{2/3}, \quad (1)$$

где:  $f_1(x) = a_1 e^{x/a_2}$  – функция, аппроксимирующая возрастание амплитуды изгибов по мере приближения к дистальному концу;  $f_2(x) = x(a_3 - x)$  – функция, характеризующая уменьшение периода между изгибами;  $a_1, a_2, a_3$  – экспериментальные коэффициенты, получаемые на основе обмера коронарограммы.

С учетом (1) имеем систему уравнений для определения неизвестных коэффициентов  $a_1$  и  $a_2$  функции  $f_1(x)$  где  $x_i = L_i = 2\pi\varphi_i$  по результатам измерения геометрии КА:

$$\begin{cases} f_{12} = a_1 e^{-\frac{x_1}{a_2}}; \\ f_{13} = a_1 e^{-\frac{x_2}{a_2}}; \end{cases} \quad (2)$$

Здесь обозначено:  $x_1 = L_1, x_2 = L_1 + L_2$ .

Пространственное уравнение извитой КА (рис. 2) в параметрической форме в полярной системе координат состоит из трех частей.

1. Эллипс, по которому располагается изолиния извитой КА:

$$\begin{cases} y(\varphi) = a \cdot \sin(\varphi) \\ x(\varphi) = b \cdot \cos(\varphi) \end{cases} \quad (3)$$

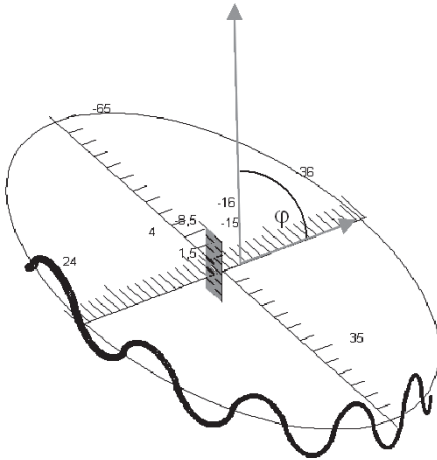


Рис. 2. Пространственный график извитой КА

где:  $a, b$  – большая и меньшая полуоси эллипса, определяемые по коронарограмме в нормальной проекции;  $\varphi$  – параметр, пробегающий значения от 0 до  $\varphi_k$  в пределах угла обхвата.

Уравнение оси сосуда:

$$\begin{cases} x(\varphi) = \cos(b + \sin(c\varphi)) \\ y(\varphi) = \sin(a + \sin(c\varphi)) \\ z(\varphi) = f_1(\varphi) \cos(f_2(\varphi))^{\frac{2}{3}} \end{cases}, \quad (4)$$

где:  $f_1(\varphi), f_2(\varphi)$  – см. (1),  $c = \text{const.}$

Уравнение стенки сосуда:

$$r(\varphi) = \frac{d_0}{2} (e^{k_1\varphi} + k_0), \quad (5)$$

где:  $r(\varphi)$  – радиус сосуда,  $d_0$  – начальный диаметр сосуда,  $k_0, k_1$  – константы.

Длина  $L$  КА вычисляется интегрированием по  $\varphi$  системы (4):

$$L = \int_{\varphi_0}^{\varphi_k} \sqrt{(x'(\varphi))^2 + (y'(\varphi))^2 + (z'(\varphi))^2} d\varphi, \quad (6)$$

Все вычисления проводились в пакете Maple-12.

Согласно формуле Пуазейля, при прочих равных условиях, сопротивление сосуда прямо пропорционально его длине [7]:

$$Q = \frac{\pi R^4}{8vl} (p_1 - p_2) = \frac{\pi d^4}{128vl} \Delta p$$

где:  $l$  – длина сосуда, м;  $\rho$  – плотность жидкости,  $\text{кг/м}^3$ ;  $p_1 - p_2 = \Delta p$  – перепад давления на концах сосуда, Па;  $Q$  – секундный объемный расход жидкости,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $R$  – радиус сосуда, м;  $d$  – диаметр сосуда, м;  $v$  – коэффициент динамической вязкости,  $\text{Па} \cdot \text{с}$ .

Сопоставление длины сосуда в плоской проекции при коронарографии и определенной по представленной выше методике у 23 больных показало, что различие, т.е. погрешность, составляет 40% и более, что является существенным для анализа данной патологии и определения приращения сосудистого сопротивления, вызванного увеличением длины коронарной артерии.

Представляет интерес исследование кривизны всех участков КА и анализ ее общего сопротивления с учетом обоих факторов, что является темой наших дальнейших исследований данной проблемы.

**Выводы.** Симптомы стенокардии при наличии извитости и отсутствии повреждения КА могут быть вызваны повышением их сопротивления и гемодинамической перегрузкой.

При извитых КА их истинная длина существенно отличается от таковой, представленной в плоской проекции при коронарографии, что требует уточненного определения их длины при расчете сопротивления.

Погрешность определения длины извитых КА составляет 40% и более, что является существенным и должно обязательно учитываться при гемодинамических расчетах.

### **Литература**

1. Механика кровообращения: Пер. с англ. / К. Каро, Т. Педли, Р. Шротер, У. Сид. — М.: Мир, 1981.
2. Педли Т. Гидродинамика крупных кровеносных сосудов: Пер. с англ. — М.: Мир, 1983.
3. Sinjae H., Clement K., Joseph P. Archie, Jr. Computer Simulation and Geometric Design of Endarterectomized Carotid Artery Bifurcations // International Journal of Fluid Mechanics Research. — 2000. — № 28.
4. Вервейко Н.ДГ, Сумец П.П., Воронкова А.А. Математическая модель пульсового движения крови в сосудах // Вестник Воронежского го-сударственного университета. — 2003. — № 2. — С. 125–131.
5. Погорелов А.В. Дифференциальная геометрия. — М.: Наука, 1974. — 176 с.
6. Рашевский П.К. Курс дифференциальной геометрии. — М.—Л.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1950. — 428 с.
7. Мюллер Т.Дж. Численные методы в динамике жидкостей: Пер. с англ. — М.: Мир, 1981.

## **МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ СПРАВЖНЬОЇ ДОВЖИНИ ЗВИВИСТИХ КОРОНАРНИХ АРТЕРІЙ**

**Г.В. Книшов, Є.А. Настенко, В.Б. Максименко, С.В. Зубков, Є.О. Лебедева, А.О. Матвійчук,  
Ю.В. Шардукова**

На клінічному матеріалі коронарографії пацієнтів із звивистими коронарними артеріями розроблено методику обчислення їх дійсної довжини. Показано, що їхня дійсна довжина з урахуванням форми поверхні пролягання може відрізнятись від довжини у пласкій проекції на 40% і більше. Це має обов'язково братися до уваги при розрахунку параметрів кровотоку по звивистих коронарних артеріях.

*Ключові слова:* звивисті коронарні артерії, коронарний кровотік, опір коронарних артерій.

## **METHOD OF DETERMINATION OF REAL LENGTH OF TORTUOUS CORONARY ARTERIES**

**G.V. Knyshev, E.A. Nastenko, V.B. Maksimenko, S.V. Zubkov, Ye.O. Lebedeva, A.O. Matviychuk,  
Yu.V. Shardukova**

On clinical material of coronarography of patients with tortuous coronary arteries the method of calculating of their true length was developed. It is shown that their length is true with regard to the shape of the surface of location may differ on the length of a plane projection on 40% or more. This should be taken into account at calculations of blood flow parameters in tortuous coronary arteries.

*Key words:* tortuous coronary arteries, coronary blood flow, the resistance of the coronary arteries.