

© О.А.Кудрявцева, А.И.Кудрявцев, 2008

О.А.Кудрявцева, А.И.Кудрявцев ГЕМОДИНАМИЧЕСКИЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА СТЕНОЗА СОСУДА ПРИ ЛАМИНАРНОМ РЕЖИМЕ ТЕЧЕНИЯ

ММА им. Сеченова, Москва, Россия

Аннотация:

Представлены результаты экспериментального исследования значений коэффициентов гемодинамического сопротивления при стенозе сосудов. Данные получены в зависимости от степени стеноза для ламинарного режима, при моделировании стеноза от экстравазальной компрессии сосуда и при наличии в сосуде инородных включений. Предложены зависимости относительного сопротивления стенозированного сосуда. Результаты работы позволяют учитывать стеноз сосудов в численных расчетах гидравлических ламинарных моделей систем кровотока.

Ключевые слова:

сосуды, стеноз, гемодинамика, коэффициент сопротивления, экспериментальное исследование, расчет

При расчетах системы кровообращения в гидравлических моделях на основе графа сосудов, при ламинарном режиме не учитывают потери гемопотока от местных сопротивлений [1,2]. Это объясняется тем, что при ламинарном режиме их влияние мало, по сравнению с гемодинамическими коэффициентами сопротивления (ГКС) сосудов, в следствии этого величины ГКС слабо изучены экспериментально в ламинарной, в отличие от турбулентной области течения. Вместе с тем при стенозе, особенно на участках магистральных сосудов не имеющих коллатералей, влияние местных сопротивлений стеноза являются определяющим и при ламинарном режиме. В этих, клинически важных, случаях анализ влияния степени стеноза (S) на гемодинамику сосуда принято проводить, рассматривая изменения скорости кровотока в сосуде, в зависимости от степени стеноза [3,4,5]. В то время как для численных расчетов гидравлической модели системы кровообращения необходимо иметь численные значения ГКС для зоны стеноза.

Метод и цель работы - экспериментальное определение значений ГКС при стенозе сосуда, для ламинарного режима, в зависимости от степени стеноза для отдельных моделей формы стеноза.

Результаты. Экспериментальные данные по ГКС при стенозе получены на имитации сосуда гибкой силиконовой трубкой с внутренним диаметром 6 мм. для ламинарного стабилизированного режима (критерий Рейнольда < 2000), погрешность определения ГКС не превышала $\pm 3\%$.

Рассмотрены два случая стеноза:

1. Экстравазальная компрессия сосуда.

Компрессия имитировалась внешним, двухсторонним сдавливанием сосуда, ширина сдавливания составляла $\delta_1 = 4.0$ мм и $\delta_2 = 1.5$ мм.

2. Наличие в сосуде инородного образования (локального и протяженного).

Единичное, локальное образование имитировалось сферической частицей, расположенной внутри на стенке сосуда. Протяженное включение имитировалось рядом частиц, прямой цепочкой прижатых друг к другу.

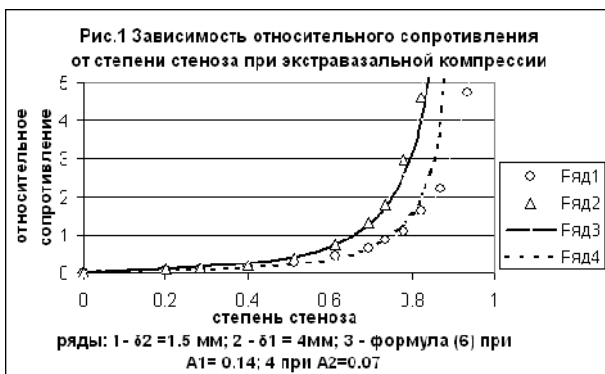
Для обработки экспериментальных данных в виде безразмерных параметров определим основные факторы, влияющие на ГКС при стенозе сосуда.

Для сосуда длиной L , диаметром D , ГКС по формуле Пуазейля равен;

$$R = 128 L \eta / \pi D^4, \quad R = (R_0 = 128 \eta / \pi D^4) \cdot L \quad (1)$$

Contact Information:

Д-р Кудрявцева Ольга Александровна
E-Mail: kudryavtseva.olga@gmail.com



Для участка стеноза в сосуде длиной L и диаметром d , ГКС равен:

$$R_{cm} = (R = 128 \eta / \pi d^4) \cdot L = (R_0 \cdot L / (1-S)^2) \quad (2)$$

Степень стеноза определим как долю площади закрытого просвета сосуда:

$$S = 1 - (d/D)^2, \quad \text{тогда } d^4 = (1-S)^2 \cdot D^4 \quad (3)$$

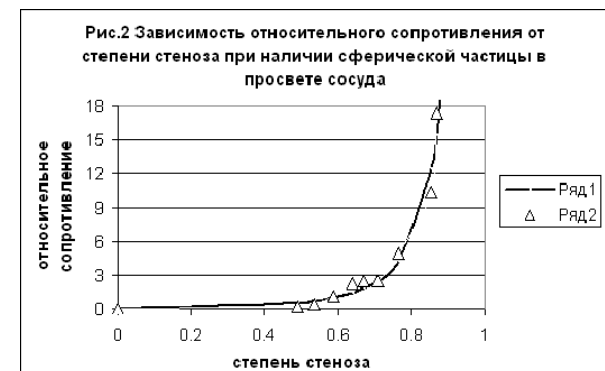
Отношение общего сопротивления сосуда при наличии стеноза длиной L

$\Sigma R_{cm} = (R_0 \cdot (L-A) + R_{cm})$ к сопротивлению сосуда без стеноза будет равно:

$$\Sigma R_{cm} / R = 1 + (A/L) \cdot [1 / (1-S)^2 - 1] \quad (4)$$

Данное соотношение (4) носит безразмерный, универсальный характер, зависит только от соотношения длины $\varepsilon = (A/L)$ и степени стеноза S , и не зависит от свойств жидкости и диаметра сосуда D .

Полученные экспериментальные зависимости по ГКС представим в аналогичном, безразмерном виде. На рис.1 представлены экспериментальные данные в виде $\xi_{\text{эк}}$ - безразмерной зависимости отношения ГКС потерь





при экстравазальной компрессии сосуда к величине гемодинамического сопротивления сосуда длиной 1 метр, от степени стеноза S (по площади):

$$\xi_{эк} = R_{эк} / [R_f = R_0 \cdot (l=1m)] \quad (5)$$

Эти экспериментальные данные хорошо описываются формулой (6), (ряды 3,4) отвечающей предельным переходам, при $S \rightarrow 1$ и 0 :

$$\xi_{эк} = (A \cdot \sqrt{S}) / (1-S)^2, \quad (6)$$

вариант $A_1 = 0.14$ (при $\delta_1 = 4\text{мм}$) следует применять при локальной экстравазальной компрессии сосуда;

вариант $A_2 = 0.07$ (при $\delta_2 = 1.5\text{мм}$) следует применять как ГКС на вход и выход из зоны протяженного стеноза, где основной участок стеноза сосуда описывается формулой (3), а в качестве диаметра используется

$$d_3 = \sqrt{(4 \cdot F / \pi)}, \quad F - \text{средняя площадь сечения прохода.}$$

На рис.2 представлены экспериментальные данные (ряд 1) ξ_l - отношения ГКС при наличии в сосуде единичной, сферической частицы к величине гемодинамического сопротивления сосуда длиной 1 метр, от степени стеноза (при максимальном поперечном сечении сферической частицы), данные хорошо описываются формулой (7) (ряд 2):

$$\xi_l = A \cdot S / (1-S)^2; \quad \text{коэффициент равен } A=0.3. \quad (7)$$

Для протяженного участка длиной 1 метр, примыкающих друг к другу частиц диаметром $d_{сф}$ данные рис.3 (ряд 1)

представлены в виде коэффициента K_L вводящего поправку в формулу (7) в зависимости от относительной длины участка, выраженного в диаметрах частицы $(l - d_{сф}) / d_{сф}$ (при $l \geq d_{сф}$) (ряд 2):

$$\sum \xi_L = \xi_l \cdot K_L; \quad \text{где } K_L = 1 + 0.3 \cdot (l - d_{сф}) / d_{сф}; \quad (8)$$

Для сравнения с величинами ГКС стеноза приведем данные эксперимента по ГКС при плавном повороте ламинарного потока в сосуде на 90° (радиус поворота равен 5-ти диаметрам), оно равно - $\xi_{90^\circ} = R_{90^\circ} / [R_f = R_0 \cdot (l=1m)] = 0.02$.

Заключение.

Получены экспериментальные данные по ГКС в зависимости от степени и модели формы стеноза, для ламинарного режима течения. На их основе предложены безразмерные расчетные зависимости по относительным гемодинамическим сопротивлениям, что позволяет учитывать ГКС стеноза сосудов в численных расчетах гидравлических ламинарных моделей систем кровотока.

Литература:

1. Зенин О.К., Гусак В.К., Кирьякулов Г.С., Вакуленко И.П., Ельский В.Н., Клыса М.Н. «Артериальная система человека в цифрах и формулах» Донецк, 2002. -176с
2. Nikitin O., Kizilova N., Zenin O., Karabash I., Chvala A. Computer generated models of intraorgan arterial beds: hydraulic conductivity and input admittance. ICCSA Conference. - Singapore, 2005. P.102
3. Спиридонов А.А., Лаврентьев А.В., Морозов К.М., Пирцхалаишвили З.К. «Микрохирургическая реваскуляризация каротидного бассейна» Изд. НЦССХ им. А.Н.Бакулева РАМН, 2000. -266с.
4. Засорин С.В. «Особенности гемодинамических проявлений каротидных стенозов в зависимости от состояния центральной гемодинамики» автореферат диссертации на соискание ученой степени к.м.н., Новосибирск. 2007.
5. E.G.Grant at el "Carotid artery stenosis: gray-scale and Doppler US Diagnosis-Society of radiologists in ultrasound consensus conference" Radiology 2003; 229:340-346.

O.Kudryavtseva, A.Kudryavtsev

HEMODYNAMICS RESISTANCE FOR CALCULATION STENOSIS OF VESSELS FOR LAMINAR FLOW

Moscow Medical Academy I.M. Sechenov, Moscow, Russia

Abstract:

Presented the results of experimental investigation value of hemodynamics resistance for stenosis of vessels. Data is found for laminar flow in depending from degree of stenosis, for modeling of external clamping and formation of plaque. Defined formulas for calculation relative fluid resistance for stenosis vessel. Results of research let us take into account stenosis of vessels in calculation of hydraulics laminar models of hemodynamics.

Key words:

vessels, stenosis, hemodynamics, fluid resistance, experimental approach, calculation

© Р.А.Кууз, М.А.Ронкин, Г.И.Фирсов, 2008

Р.А.Кууз*, М.А.Ронкин*, Г.И.Фирсов**

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ ПОЗНОЙ АКТИВНОСТИ ЧЕЛОВЕКА В КЛИНИЧЕСКОЙ НЕВРОЛОГИИ

*Московская медицинская академия им. И.М. Сеченова,

**Институт машиноведения им А.А. Благонравова РАН, Москва, Россия

Аннотация:

Экспериментально подтверждена автоколебательная природа наблюдаемого случайного процесса, сопровождающего поддержание позы, оценено эффективное число степеней свободы тела, определяемое минимальным числом независимых динамических переменных, необходимым для описания поведения системы и равным размерности вложения аттрактора, лежащим в пределах от 3 до 5, что отвечает концепции Н.А. Бернштейна о преодолении избыточных степеней свободы за счет наложения дополнительных связей (синергий), облегчающих управление многомерной системой.

Ключевые слова:

стабилограмма, функциональная диагностика, корреляционная размерность, неврологические патологии