

N. M. Rzayev, D. D. Zakirdjayev, L. G. Mamedbekova,
T. G. Akhverdieva, A. A. Bagir-Zade

Some Functional and Morphologic Changes of Small Vessels of Extremities in Obliterative Atherosclerosis

S u m m a r y

In investigation of the circulation of the distal parts of extremities (fingers, ungual phalanx) in resting condition and in case of the cold load test it has been established early and deep disturbance of the circulation in small arteries of extremities in peripheral atherosclerosis.

УДК 616.13.001.57

В. Н. ВАВИЛОВ, В. В. ШЛОМИН, Б. Г. БЕРШАДСКИЙ

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АРТЕРИАЛЬНОГО СТЕНОЗА

Несмотря на обширную литературу по гидродинамике кровообращения [1—3], работ, посвященных исследованию артериальных стенозов, относительно немного. Трудности, возникающие при теоретическом исследовании пульсирующего потока жидкости через стеноз в упругой трубке, заставляют обратиться к моделям прямого подобия. Отдельные аспекты функционирования стенозов, рассмотренные в работах [5—8], не позволяют оценить относительную роль факторов, определяющих поток через стеноз. В этой связи предпринята попытка изучить зависимость потока через стеноз от вязкости жидкости, давления выше и гидравлического сопротивления ниже стеноза.

Материал и методы. Модель артериального стеноза представляла собой трубку из силиконовой резины длиной 230 мм, внутренним диаметром 4,5 мм и толщиной стенки 1,2 мм и устройства, позволяющего дозированно изменять ее просвет длины на протяжении 5 мм. Насосом постоянной производительности (частота 100 уд/мин) через трубку прогонялась смесь физиологического раствора с глицерином относительной вязкостью 4—6. Регистрировали давление выше и ниже стеноза и объемную скорость потока. Изменение среднего давления в стенозе производили с помощью регулируемого сопротивления, расположенного на выходе системы.

Гидродинамические характеристики стеноза описывали уравнением

$$Q = \beta (\Delta P)^{\alpha} \text{ или } \lg Q = \alpha \lg (\Delta P) + \lg \beta \quad (1),$$

где ΔP — перепад давления на стенозе, возникающий при скорости потока Q ; β — размерный коэффициент; α — безразмерный параметр модели, характеризующий нелинейность гидродинамической характери-

стики. При $\alpha=1$ уравнение (1) описывает линейный, при $\alpha \neq 1$ — нелинейный гидравлический проводник. Предполагалось, что параметры α и β могут зависеть от вязкости жидкости, среднего давления в стенозе и выраженности стеноза η , которую оценивали выражением

$$\eta = \left(1 - \frac{d}{4,5}\right) \cdot 100\%, \text{ где } d - \text{наименьший просвет трубки в области}$$

стеноза. Статистическую обработку, направленную на выявление основных факторов, способных изменять численные значения коэффициентов уравнения (1), производили с помощью программы пошаговой множественной регрессии на ЭВМ СМ-3.

Результаты исследования. Обработка результатов показала, что основным фактором, влияющим на гидродинамические характеристики стеноза, является его выраженность. Эффекты остальных факторов (вязкость жидкости и давление в области стеноза) были недостоверны, что позволило исключить их из рассмотрения. При малом стенозе ($\eta < 60\%$) его выраженность не влияет на зависимость потока от перепада давления, что связано с преобладающей ролью подводящих трубок в создании гидравлического сопротивления. При очень выраженном стенозе ($\eta > 90\%$) возникали сложности методического характера, вытекающие из необходимости точной регистрации малых величин потока и затрудняющие построение гидродинамических характеристик. В то же время при умеренном стенозе ($60\% < \eta < 90\%$) была отмечена отчетливая зависимость параметров уравнения (1) от величины η :

$$\alpha = 1,04 - 0,0063 \eta; \lg \beta = 2,98 - 0,0117 \eta \quad (2)$$

Из уравнений (1) и (2) могут быть также получены выражения проводимости $G = Q/\Delta P$ и дифференциальной проводимости $Gg = Q'/\Delta P$. Соответствующие зависимости (рис. 1) демонстрируют, что при любой выраженности стеноза его проводимость с увеличением потока падает, т. е. возрастает способность стабилизировать поток при изменении перепада давления. Однако зависимость проводимости (рис. 1А) и в еще большей степени дифференциальной проводимости (рис. 1Б) от потока, при котором они измерены, полностью перекрывается влиянием выраженности стеноза. Действительно, одинаковое влияние на величину проводимости оказывает трехкратное изменение потока (с 300 до 900 мл·мин⁻¹) и 10% увеличение выраженности стеноза.

Зависимость потока через стеноз от давления на его входе (Р) и сопротивления на выходе (R) может быть получена из (1) и (2) с учетом того, что $\Delta P = P - RQ$. Из графиков (рис. 2А) следует, что даже при выраженном стенозе ($\eta \approx 90\%$) и $R = 0,1$ мм рт. ст.·мл⁻¹·мин увеличение давления в три раза (с 50 до 150 мм рт. ст.) приводит к значительному росту потока (с 320 до 660 мл·мин⁻¹). В то же время, при давлении 100 мм рт. ст. аналогичное изменение потока может быть достигнуто (рис. 2Б) за счет снижения периферического сопротивления в 13 раз (с 0,26 до 0,02 мм рт. ст.·мл⁻¹·мин).

На рис. 3 представлена зависимость давления ниже стеноза от его выраженности и величины периферического сопротивления при давлении выше стеноза 100 мм рт. ст. Аналогичное вышеописанному 13-кратное снижение сопротивления при отсутствии стеноза приводит к снижению периферического давления с 98 до 50 рт. ст. за счет падения давления на подводящих трубках. Вместе с тем при $\eta=90\%$ периферическое давление при снижении сопротивления уменьшается с 82 до 16 мм рт. ст.

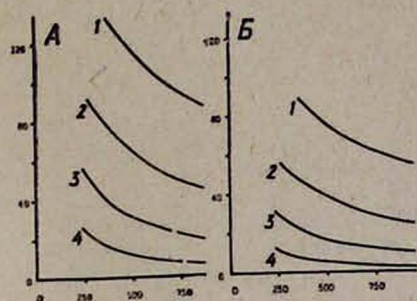


Рис. 1.

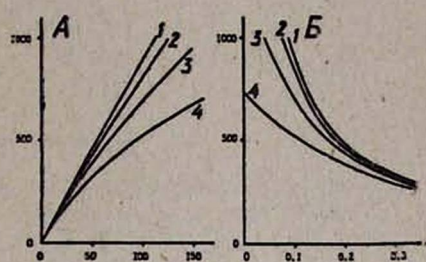


Рис. 2.

Рис. 1. Зависимость проводимости и дифференциальной проводимости модели стеноза от потока жидкости. Оси абсцисс — объемная скорость потока жидкости в мл/мин, оси ординат — на А: гидравлическая проводимость, на Б: дифференциальная гидравлическая проводимость в мл мм рт. ст.⁻¹ мин.⁻¹. Цифры в начале линий — разная выраженность стеноза: 1—менее 60%, 2—70%, 3—80%, 4—90%.

Рис. 2. Зависимость объемной скорости потока жидкости от давления выше стеноза и сопротивления ниже стеноза. Оси ординат — объемная скорость потока жидкости в мл/мин, оси абсцисс — на А: давление выше стеноза, на Б: сопротивление ниже стеноза в мм рт. ст. мл.⁻¹ мин. На А зависимости, построенные при сопротивлении ниже стеноза 0,1 мм рт. ст. мл.⁻¹ мин, на Б — при давлении выше стеноза 100 мм рт. ст.

Обсуждение. Результаты исследования модели стеноза подтвердили ранее установленные закономерности [7] изменения потока при стенозах разной выраженности. В частности, показано, что незначительные стенозы (менее 60%) не оказывают заметного влияния на условия протекания жидкости. При нарастании выраженности стеноза (свыше 60%) поток при фиксированном перепаде давления начинает прогрессивно падать. С ростом стеноза происходит не только увеличение его сопротивления, но и усиливается способность стабилизировать поток. Так, увеличение перепада давления (на 90% стенозе) с 40 до 80 мм рт. ст., т.е. в 2 раза, приводит к нарастанию потока всего на 38%.

В организме факторами, определяющими перепад давления на стенозе и, как следствие, поток крови через него, являются системное артериальное давление (в модели — давление выше стеноза) и периферическое сопротивление. При исследовании модели выяснилось, что даже при близкой к окклюзии ситуации изменение артериального давления способно достаточно сильно регулировать поток крови, проходящей че-

рез стеноз к периферии. В то же время выраженные стенозы препятствуют увеличению потока, который должен был бы возникать при вазодилатации и неизменном давлении выше стеноза. В этом случае при снижении периферического сопротивления даже незначительное увеличение кровотока приводит к столь большому росту перепада дав-

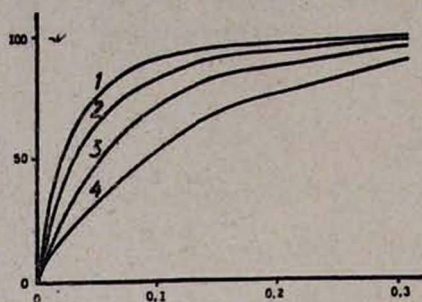


Рис. 3. Зависимость давления ниже стеноза от периферического сопротивления. Ось абсцисс—периферическое сопротивление, ось ординат—давление ниже стеноза. Давление выше стеноза равно 100 мм рт. ст. Обозначения как на рис. 1.

ления на стенозе, что давление ниже стеноза снижается до недопустимо малых величин. Именно сочетанным влиянием этих двух факторов (малый рост потока и резкое снижение перфузионного давления) могут быть обусловлены боли при физической нагрузке, наблюдаемые у больных с окклюзионными поражениями сосудов. Кроме того, полученные данные позволяют объяснить отрицательные результаты поясничной симпатэктомии у больных с тяжелой степенью ишемии нижних конечности [4].

І Ленинградский медицинский институт

Поступила 19/IV 1983 г.

Վ. Ն. ՎԱՎԻԼՈՎ, Վ. Վ. ՇԼՈՄԻՆ, Բ. Գ. ԲԵՐՇԱԴՍԿԻ

ԶԱՐԿԵՐԱԿԱՅԻՆ ՍՏԵՆՈԶԻ ՀԻՓՐՈՂԻՆԱՄԻԿԱԿԱՆ ՄՈԴԵԼԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Քննարկվում է մոդելի հետազոտության արդյունքների օգտագործման հնարավորությունը գոտկային սիմպաթէկտոմիայի էֆեկտի բացատրման համար ստորին վերջույթների ծանր ատիանի սակավարյունությամբ հիվանդների մոտ:

V. N. Vavilov, V. V. Shlomin, B. G. Bershadski

Study of Hidrodynamic Model of Arterial Stenosis

S u m m a r y

The possibility of the application of the results obtained by the study of the model for the explanation of the effect of lumbar sympathectomy in patients with severe Ischemia of the lower extremities is discussed.

1. Бэтчелор Дж. Введение в динамику жидкости. М., «Мир», 1973, 758.
2. Каро К., Педли Т., Шротер Р., Суд У. Механика кровообращения. М., «Мир», 1981, 624.
3. Садицкий Н. Н. Биофизические основы кровообращения и клинические методы изучения гемодинамики. Л., «Медицина», 1974, 311.
4. Складенко Р. Т. Вестник хирургии, 1982, 3, 69—71.
5. Flamigan D. P., Tullis J. F., Stredler V. Z., Whitehouse W. M., Fry W. J., Stanley J. C. Ann. Surgery, 1977, 186, 5, 663—668.
6. Killen D. A., Oh S. U. Amer. Surgeon, 1968, 34, 5, 341—349.
7. May A. G., De Weese J. A., Bob C. G. Surgery, 53, 4, 513—524.
8. Moore W. S., Malone J. M. Journ. of Surg. Res. 1979, 26, 1, 1—9.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 616.1—008.1—07:612.172.1:616—099

Е. А. ВОРОБЬЕВ

ПРОФИЛАКТИКА НАРУШЕНИЙ РЕГИОНАРНОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ И СОКРАТИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ МИОКАРДА ПРИ ХРОНИЧЕСКОЙ ФТОРИСТОЙ ИНТОКСИКАЦИИ

Соединения фтора нашли широкое применение в различных отраслях народного хозяйства. Высокая их токсичность в больших дозах общеизвестна.

Однако имеющиеся в литературе сведения о действии фтористых соединений на сердечно-сосудистую систему немногочисленны, противоречивы и к тому же касаются лиц с явными клиническими проявлениями флюороза.

Несмотря на то, что вопросами профилактики фтористой интоксикации занимаются давно, эффективных мер до настоящего времени не разработано.

Мы поставили перед собой цель исследовать действие фторидов на сердечно-сосудистую систему и изучить, в качестве профилактического средства, широко применяемый в пищевой промышленности яблочный пектин в виде киселя. Кисель в течение 6 мес, по 250 мл утром и в обед получала группа рабочих из 12 человек.

Нами проведено углубленное комплексное обследование 64 рабочих, контактирующих с повышенными концентрациями фтористых соединений. Контрольную группу составил 31 человек того же возраста, что и основная группа, но без контакта с фторидами. Использованы общеклинические методы, потенциометрический метод определения фтора в моче, реография. Проведена корреляция изучаемых показателей со стажем работы и концентрацией фтора в моче. Полученные результаты представлены в таблице, откуда следует, что у рабочих, кон-