

stenosis before and after ballon valvuloplasty // Amer. J. Cardiol. — 1990. — Vol.66, № 1. — P.79-84.

64. Vitolo E., Castini D., Colombo A. et al. Two-dimensional echo evaluation of right ventricular ejection fraction: Comparison between three different method // Acta Cardiol. — 1988. — Vol.43, № 4. — P.469-481.
65. Watanabe K. Evaluation of right ventricular pressure by two-dimensional echocardiography // Jap. Heart J. — 1984. — Vol.25, № 4. — P.523-531.
66. Weyman A., Dillon J., Feigenbaum H., Chang S. Echocardiographic patterns of pulmonic valve motion wight pulmonary hypertension // Circulation. — 1974. — Vol.50. — P.905-910.

THE ROLE OF THE ULTRASOUND INVESTIGATION FOR DIAGNOSIS OF COR PULMONALE

E. S. Eniseeva

The Echocardiography is important method for diagnosis of cor pulmonale, informing about the right ventricular hypertrophy, enlargement and contractility. The pulmonary hypertension can be revealed by the Doppler echocardiography. The acceleration time of the Doppler signal in the right ventricular outflow tract correlates with pressure in the pulmonary artery. An present, Doppler echocardiography is the most exact noninvasive method for detection pulmonary hypertension.

ОРИГИНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 616.34-053.3/.7-089:616.1

ХИРУРГИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ КИШЕЧНОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ У ДЕТЕЙ

В. В. Подкаменев, Е. В. Шевченко

(Иркутский государственный медицинский университет — ректор акад. А. А. Майборода, кафедра детской хирургии — зав. профес. В. В. Подкаменев, кафедра медицинской биофизики — д. ф. н. Е. В. Шевченко)

Резюме. На основании анатомо-экспериментальных исследований и физических законов гидродинамики установлено новое свойство кишечного кровообращения, заключающееся в увеличении объемного кровотока в отдельном сосудистом звене при перевязке межаркадных анастомозов, и доказана возможность его регулирования с целью улучшения кровоснабжения органа.

В хирургии кишечника у детей до настоящего времени остается неизученным вопрос о возможности регулирования кишечного кровообращения. Практическая значимость разработки методик улучшения кровоснабжения кишечника чрезвычайно важна, так как в основе ряда его хирургических заболеваний и причин послеоперационных осложнений лежат интраорганные гемоциркуляторные нарушения.

Методы и материалы

Разработанный метод улучшения кровоснабжения различных отделов кишечника у детей основан на анатомо-физиологических особенностях его кровообращения, физических законах гидродинамики и апробирован в условиях эксперимента.

Изучение анатомо-физиологических особенностей кровообращения кишечника выполнено в анатомическом эксперименте. Экстраорганную сосудистую сеть кишечника заполняли тушь-желатиновой смесью под давлением, равным 70 мм.рт.ст., которое контролировали ртутным манометром, соединенным через систему трубок со шприцом. Осуществляли селективную катетеризацию основных артериальных стволов верхней и ниж-

ней брыжеечных артерий. В различных сериях экспериментов краситель вводили в подвздошно-ободочную, правую, среднюю и левую ободочные артерии. Это позволяло косвенно судить об участии каждой из артерий в кровоснабжении различных отделов кишечника.

Для теоретического обоснования возможности регулирования кишечного кровообращения использовали физические законы гидродинамики: уравнение Бернулли и Пуазейля. Уравнение Бернулли является основным уравнением гидродинамики, которое выражает закон сохранения энергии для движущейся жидкости или несущего в гидродинамике название закона неразрывности [9]. Уравнение Пуазейля рассматривает зависимость объемного тока жидкости от градиента давления, радиуса, длины трубки и вязкости жидкости и записывается:

$$Q = \frac{\pi r^4 (P_1 - P_2)}{8 \eta l},$$

где коэффициент $\frac{8 \eta l}{\pi r^4}$, называют гидравлическим сопротивлением сосуда и обозначают X [7].

Экспериментальная апробация метода улучшения кровоснабжения кишечника выполнена на 8 кроликах породы шиншилла.

Результаты и обсуждение

Кровоснабжение кишечника у детей принципиально не отличается от кровоснабжения у взрослых, описанного в классических анатомических трудах [6,5,2]. Исследования по-

зволили выявить ряд закономерностей в ангиоархитектонике кишечника, явившиеся основой для разработки метода регулирования кровообращения. Отличительная особенность сосудистой системы кишечника заключается в том, что все основные артерии тонкой и толстой кишки имеют дихотомический тип деления. Так, тонкая кишка кровоснабжается тоще-кишечными и подвздошно-кишечными артериями, отходящими от верхней брыжеечной артерии. На определенном расстоянии от своего начала артерии тонкой кишки делятся на две ветви (дихотомически): восходящую и нисходящую. В свою очередь, восходящая ветвь анастомозирует с нисходящей ветвью вышележащей артерии, а нисходящая — с восходящей ветвью ниже лежащей артерии, образуя аркады первого порядка. От них дистально отходят новые ветви, которые дихотомически делятся и, соединяясь между собой, образуют аркады второго порядка. Обычно насчитывается от 2 до 5 аркад, которые между собой анастомозируют. Аналогичный тип строения основных артериальных стволов отмечается и у толстой кишки. Правая ободочная артерия делится на восходящую и нисходящую ветви. Первая из них соединяется с нисходящей ветвью средней ободочной артерии, а вторая — с восходящей ветвью подвздошно-ободочной артерии. Средняя ободочная артерия делится на правую и левую ветви, которые расходятся в соответствующие стороны и анастомозируют: правая ветвь с восходящей ветвью правой ободочной артерии, левая — с восходящей ветвью левой ободочной артерии. Характерной особенностью васкуляризации толстой кишки является наличие краевого сосуда, идущего вдоль ее брыжеечного края. Этот сосуд представляет собой непрерывную цепь анастомозов — сосудистых аркад первого порядка. Сосудистые аркады первого порядка тонкой и толстой кишки называют «хирургическими», они являются распределительным коллектором в осуществлении коллатерального кровотока [4,2].

Физиологические особенности кровоснабжения кишечника у детей рассмотрим на примере илеоцекального отдела. При селективной катетеризации подвздошно-ободочной артерии и введении в нее тушь-желатиновой смеси было отмечено, что прокрасились 25 см подвздошной кишки, слепая и восходящий отдел толстой кишки до печеночного изгиба. При введении красящего вещества только в правую ободочную артерию прокрашивается толстая кишка от восходящего отдела до селезеночного изгиба. Одновременно отмечено поступление красителя в подвздошную кишку на протяжении 10-15 см. Было установлено, что одной из функциональных особенностей кровоснабжения кишечника является наложение кровотоков в области илеоцекального отдела из дихотомически делящихся ветвей подвздошно-ободочной и пра-

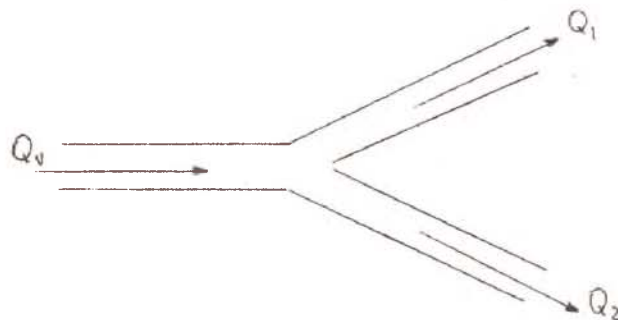


Рис. 1. Упрощенная геометрическая модель для дихотомически делящихся артериальных сосудов

вой ободочной артерий. Аналогичное явление, заключающееся в наложении кровотоков, отмечено на всем протяжении толстой и тонкой кишок при селективной катетеризации основных артериальных стволов кишечника.

На основании выявленных анатомо-функциональных особенностей кровообращения кишечника, априори было выдвинуто положение о том, что лигирование одной из дихотомически делящихся артериальных ветвей должно увеличивать объемный кровоток по другой артериальной ветви, а условие наложения кровотоков из соседних артериальных сосудов должно предупреждать нарушение кровоснабжения органа на уровне перевязанной артерии. Применение уравнений Бернулли и Пуазейля позволило теоретически подтвердить выдвинутое положение. На рис. 1 представлена геометрическая интерпретация уравнения Бернулли для дихотомически делящихся артериальных сосудов кишечника. При установившемся движении жидкости по сосудам через каждое сечение проходит одинаковое количество жидкости Q_v — объемная скорость. Математически это уравнение записывается следующим образом: $Q_v = Q_1 + Q_2 = \text{const}$. Следовательно, исходя из закона сохранения массы, в случае лигирования сосуда-1, уравнение Бернулли можно записать: $Q_v = Q_2 = \text{const}$.

Как отмечено выше, уравнение Пуазейля устанавливает зависимость расхода жидкости от разницы давлений на концах сосуда, его радиуса, длины и вязкости жидкости. На основании закона Пуазейля покажем возможность повышения объемного тока жидкости в условиях лигирования межаркадных сосудов. Для этого используем упрощенную геометрическую модель экстраорганической системы, представленной кишечной артерией ее дихотомически делящимися ветвями, аркадой первого порядка, от которой отходят прямые сосуды к стенке кишки (рис. 2). Согласно данной схеме, по сосудам 1 и 2 в систему сосудистой аркады поступают потоки крови Q_0 и Q_1 . Найдем распределение потоков и вычислим давление в конечных точках сосудов 3 и 4, считая, что давление в точке 0 задано. Обозначим давления в точках 1, 2, 3, 4 как P_1, P_2, P_3, P_4 , а соответствующие потоки между точками — Q_i , где i — начало

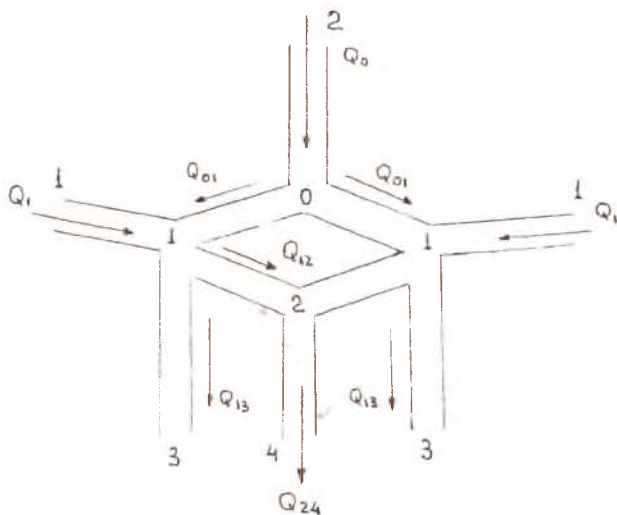


Рис.2. Упрощенная геометрическая модель экстраорганный сосудистой системы кишечника

сосуда, j — конец. В модели примем, что все сосуды имеют одинаковые радиусы и длину, т.е. одинаковое гидравлическое сопротивление X . Запишем систему линейных алгебраических уравнений, определяющих кровотоки:

$$\begin{aligned} Q_0 &= 2Q_{01} \quad (1); \quad Q_1 + Q_{01} = Q_{13} + Q_{12} \quad (2); \\ 2Q_{12} &= Q_{24} \quad (3); \quad Q_{01} = (P_0 - P_1)/X \quad (4); \\ Q_{12} &= (P_1 - P_2)/X \quad (5); \quad Q_{13} = (P_1 - P_3)/X \quad (6); \\ Q_{24} &= (P_2 - P_4)/X \quad (7). \end{aligned}$$

Поскольку сосуды 3 и 4 подходят к одному венам, то $P_3 = P_4$ [8]. Система уравнений (1 - 8) позволяет полностью описать кровоток в системе разветвляющихся сосудов и найти величины давлений в точках 1, 2, 3, 4, а также потоки между этими точками. Решение системы уравнений имеет вид:

$$\begin{aligned} Q_{01} &= 1/2 \cdot Q_0; \quad Q_{12} = 1/4 \cdot Q_1 + 1/8 \cdot Q_0; \\ Q_{13} &= 3/4 \cdot Q_1 + 3/8 \cdot Q_0; \quad P_1 = P_0 - 1/2 \cdot Q_0/X; \\ P_2 &= P_0 - 1/X \cdot (5/8 \cdot Q_0 + 1/4 \cdot Q_1); \\ P_3 &= P_4 = P_0 - 1/X \cdot (7/8 \cdot Q_0 + 3/4 \cdot Q_1). \end{aligned}$$

В случае, когда сосуды 1 перевязаны, потоки Q_1 равны 0. При этом давление в точках 3 и 4 увеличивается на величину

$$\Delta P = 3/4 \cdot Q_1/X.$$

Используя стандартные параметры сосудов для микроциркуляторной системы и значения вязкости крови [8], математически было рассчитано, что кровяное давление в точках 3 и 4 после лигирования сосудов-1 увеличивается на 20%. Повышение кровяного давления свидетельствует об увеличении объемного кровотока, что и определяет улучшение кровоснабжения органа. Основной вывод, который можно сделать из уравнения Бернулли и Пуазейля применительно к биологическим объектам, связан не столько с теоретическим моделированием регионарного кишечного кровотока, сколько с обоснованием возможностей его практического регулирования.

Экспериментальная часть исследования, выполненная на кроликах, не только подтвердила теоретические положения о возможнос-

ти регулирования кишечного кровотока, но и позволила установить его количественные характеристики. Регулируемое повышение интенсивности кровотока на отдельных участках тонкой кишки создавали путем перевязки сосудов, соединяющих соседние аркады. Перевязка межаркадных сосудов выполнялась по обе стороны от аркады, изолируя ее от соседних сосудистых аркад. При указанной перевязке не происходило перераспределения потока крови, протекающего по основной кишечной артерии и ее ветвям на соседние сосудистые аркады. Следовательно, в соответствии с законами гидродинамики, объемный кровоток, протекающий по данной кишечной артерии, полностью расходуется на кровоснабжение выбранного участка кишечной трубки. Измерение кровяного давления в интраорганных сосудах кишки проводилось до и после лигирования межаркадных сосудов. В работе использована методика измерения кровяного давления в сосудах кишечника, предложенная М.З.Сигалом. Полученные результаты исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1

Показатели кровяного давления в сосудах тонкой кишки в условиях регулируемого кровотока ($n = 8$)

Параметры кровяного давления ($M \pm m$)	Контроль мм.рт.ст. кПа	Опыт мм.рт.ст. кПа	P
Систолическое артериальное давление	112.1 ± 3.4 14.9 ± 0.3	145.6 ± 5.2 19.4 ± 0.7	<0.001
Диастолическое артериальное давление	81.0 ± 3.2 10.7 ± 0.4	115.5 ± 5.0 15.3 ± 0.6	<0.001
Венозное давление	60.3 ± 2.9 8.0 ± 0.3	87.6 ± 4.1 11.6 ± 0.5	<0.001

Анализ гемодинамических количественных характеристик регулируемого кровотока свидетельствует о том, что систолическое артериальное давление в интраорганных сосудах кишки увеличивается на 33.7 ± 1.8 мм.рт.ст. (4.5 ± 0.4 кПа), или на 30,1% по сравнению с контрольными цифрами. Диастолическое артериальное давление при этом повышается на 34.3 ± 2.1 мм.рт.ст. (4.5 ± 0.2 кПа), или на 41,9%. Это обстоятельство является весьма существенным, так как диастолическое артериальное давление характеризует адекватное перфузионное давление крови [7]. Венозное давление увеличивается на 27.3 ± 1.7 мм.рт.ст. (3.6 ± 0.2 кПа).

Таким образом, установлено новое свойство кишечного кровообращения, заключающееся в увеличении объемного кровотока в отдельных сосудистых звеньях при избирательном лигировании межаркадных анастомозов, и доказана возможность его хирургического регулирования с целью улучшения кровоснабжения органа.

Фундаментальными исследованиями [8] установлено, что количество активных капилляров является весьма динамичным показателем. Хорошо известно, что от количества протекающей через капилляры крови зави-

сят питание и специфическая функция органа, а также поддержание кровяного давления на определенном уровне. В свою очередь, количество активных капилляров в нормальных и патологических условиях определяется соотношением артериального и венозного давления, т.е. артерио-венозным градиентом. Чем больше разница между ними в пользу артериального давления, тем больше число активных капилляров и площадь транскapиллярного обмена в тканях. Наши расчеты показали, что артерио-венозный градиент увеличивается с $51,8 \pm 0,5$ мм.рт.ст. до $58,2 \pm 1,1$ мм.рт.ст. Замедление кровотока имеет особое значение в патологии кровообращения, так как вызывает недостаточную перфузию микроциркуляторного сосудистого русла, которая является существенным патогенетическим звеном всех процессов, сопровождающихся падением кровяного давления в сосудах. Последствием этого может быть гипоксия, а при критически низких показателях давления — аноксия тканей со всеми вытекающими последствиями [8,3].

Указанными патофизиологическими аспектами определяется практическая значимость исследования. Способ может быть использован для сохранения жизнеспособности кишки при ее ишемических повреждениях. Это положение основано на том, что исследованиями [1], посвященными нарушениям кровообращения в органе в раннем постишемическом периоде, доказана фазность этих нарушений. Главным проявлением постишемических нарушений гемодинамики является феномен неполного восстановления кровотока, который может быть обратимым и необратимым. Следовательно, метод хирургического регулирования кишечного кровообращения может способствовать восстановлению кровотока при его обратимых состояниях и сохранять функцию органа. В случа-

ях необратимого восстановления кровотока в кишке повышение интенсивности кровоснабжения в ней можно использовать для верификации границ некроза. Выявленное свойство кишечного кровообращения открывает возможности профилактики ишемических поражений толстой кишки при операциях, сопровождающихся ее резекцией в дистальном отделе. Перспективным направлением представляется улучшение кровоснабжения кишечного анастомоза и возможность его формирования в терминальном отделе подздошной кишки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Биленко М.В. Ишемические и реперфузионные повреждения органов. — М.: Медицина, 1989. — 256 с.
2. Кононов В.В. Оперативная хирургия и топографическая анатомия. — М.: Медицина, 1978. — 416 с.
3. Марстон Л. Сосудистые заболевания кишечника. — М., 1989. — 304 с.
4. Мещерякова М.А. Острая ишемия тонкой кишки // Автореф. дис. ... канд. мед. наук. — М., 1976. — 22 с.
5. Островерхов Г.Е., Лубоцкий Д.Н., Бомаш Ю.М. Курс оперативной хирургии и топографической анатомии. — М., 1964. — 270 с.
6. Привес М.Г., Лысенков Н.Е., Бушкович В.И. Анатомия человека. — М., 1968. — 811 с.
7. Фолков Б., Нил Э. Кровообращение. — М., 1976. — 463 с.
8. Чернух А.М., Александров П.Н., Алексеев О.В. Микроциркуляция. — М., 1984. — 432 с.
9. Эман А.А. Биофизические основы измерения артериального давления. — Л., 1983. — 128 с.

SURGICAL REGULATION OF THE INTESTINAL BLOODCIRCULATION IN CHILDREN

V. V. Podkamenev, E. V. Shevchenko

The new characteristics of intestinal bloodcirculation were determined on the basis of the anatomical researches and physical law of hydrodynamics. The possibility of improve the blood supply of the organ is proved.

УДК 616.2+616.1:331.441

ВОСПРОИЗВОДИМОСТЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭНЕРГОДЕЯТЕЛЬНОСТИ И РЕАКЦИИ КАРДИОРЕСПИРАТОРНОЙ СИСТЕМЫ НА ФИЗИЧЕСКУЮ НАГРУЗКУ У ЗДОРОВЫХ ЛИЦ

Н. Н. Вавилова, Ю. М. Перельман

(Благовещенский институт физиологии и патологии дыхания СО РАМН — директор акад. РАМН, профес. М. Т. Луценко)

Резюме. Для разработки критериев количественной оценки предельных возможностей человека изучена воспроизводимость эргоспирометрических показателей у 11 здоровых лиц с интервалом в 24 часа, 1 месяц и 1 год. Применялся велоэргометрический тест с нагрузкой возрастающей мощности. Установлены 95% доверительные интервалы показателей энергодеятельности, вентиляции, гемодинамики и газообмена для оценки результатов повторных исследований.

Эргоспирометрия — исследование реакции дыхательной системы во время мышечной деятельности — является перспективным методом оценки уровня физического состояния организма. Факторы, определяющие вариабильность функциональных показателей дыхания, измеренных в состоянии покоя [1], имеют место и при определении диапазона изменений в исследованиях, требующих активного участия испытуемого при достиже-