

## МОРФОМЕТРИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АРТЕРИАЛЬНЫХ ДИХОТОМИЙ СОСУДИСТОГО РУСЛА ПЕЧЕНИ

П. А. Тополов, О. К. Зенин, А. В. Дмитриев, П. В. Кудымов, А. Е. Худяков

ГУ «Институт неотложной и восстановительной хирургии им. В.К. Гусака НАМН Украины» (дир. – академик НАМНУ В.К. Гринь). 83047 Украина, г. Донецк, пр. Ленинский, 47. E-mail: iurs@mail.ru

THE MORPHOMETRIC CHARACTERISTIC OF ARTERIAL DICHOTOMIES OF THE LIVER VASCULAR BED  
P.A. Topolov, O.K. Zenin, A.V. Dmitriev, P.V. Kudymov, A.E. Khudyikov

### SUMMARY

The aim of this work was a studying of the arterial segments internal diameters attitude, making a dichotomy, as a part of liver vessel network. The morphometrical investigation of the 1603 dichotomies was done. Was fined 4 different types of the arterial dichotomies, depending of it function. Percent attitude between the quantity of asymmetrical dichotomies (dichotomies of the 1 and 2 types) and symmetrical dichotomies (dichotomies of the 3 and 4 types) can be a quantitative characteristic of the arterial beds form.

МОРФОМЕТРИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА АРТЕРІАЛЬНИХ ДИХОТОМІЙ СУДИННОГО РУСЛУ ПЕЧІНКИ  
П. О. Тополов, О. К. Зенін, А. В. Дмитрієв, П. В. Кудимов, А. Е. Худяков

### РЕЗЮМЕ

Метою роботи було вивчення співвідношень внутрішніх діаметрів артеріальних сегментів, які складають дихотомію – структурну одиницю печінки. Було проведене морфометричне дослідження 1603 дихотомій. Встановлено наявність 4-х структурно-різних типів артеріальних дихотомій. Кількісною мірою, яка визначає форму артеріального русла печінки, може бути визнане відсоткове співвідношення кількості асиметричних (в нашому розумінні 1 та 2 типів) та симетричних (дихотомій 3 та 4 типів).

**Ключевые слова:** артерии печени, морфометрия, дихотомия.

Любая характеристика кровеносной системы – производная ее структуры. Примат формы над функцией, в данном случае, очевиден [7, 8]. Принимая во внимание вышесказанное, с конца 50-х годов XX в. широко проводился теоретический анализ возможных конструкций кровеносного русла [3, 7, 8]. В последнее время также проводятся исследования в этом направлении [1, 2, 3, 4]. Особенностью артериального русла печени является наличие большого количества сосудистых дихотомий. В литературе имеется ряд работ, посвященных их исследованию [1, 2, 3, 4, 5], однако, работ, посвященных подробному морфометрическому анализу соотношений диаметров сегментов составляющих дихотомию артериального русла печени явно недостаточно. Поэтому целью настоящего исследования явилось морфометрическое изучение соотношений внутренних диаметров артериальных сегментов, составляющих дихотомию – структурную единицу сосудистого русла печени.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для достижения поставленной цели были изучены коррозийные препараты артериального русла печени 5 практически здоровых мужчин, погибших от асфиксии, в возрасте 38–47 лет. Препараты получали и измеряли, используя известные методики [3, 8]. В исследование были включены только дихотомии. Число измеренных дихотомий составило 1603 штуки. Измеряли: D – диаметр материнского артериального сегмента, dmax – диаметр максималь-

ной дочерней ветви, dmin – диаметр минимальной дочерней ветви. Рассчитывали:  $\gamma$  – коэффициент асимметрии дочерних ветвей [3, 8]  $\gamma = (r_{\min}/r_{\max})^2$ ;  $\eta$  – коэффициент ветвления [3, 8]  $\eta = (d_{\max}^2 + d_{\min}^2)/D^2$ , а также D/dmax и D/dmin – коэффициенты деления материнской артерии [3]. Статистическая обработка включала вычисление основных показателей распределения случайных величин. Если распределение величин не отличалось от нормального закона распределения использовали параметрические методы, в противном случае – непараметрические. Анализ проводили с использованием пакета прикладных статистических программ MedStat [6].

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что законы распределения изучаемых величин отличены от нормального. Поэтому для дальнейшего исследования использовали непараметрические методы. Анализ гистограмм распределений величин изучаемых показателей свидетельствует о неоднородности изучаемой совокупности артериальных дихотомий и нацеливает на поиск отдельных их групп или типов. Действительно, установлено присутствие 4-х структурно-различных типов артериальных дихотомий. В результате множественного сравнения значений исследованных параметров (критерий Крускала-Уоллиса) обнаружено наличие значимых ( $p < 0,05$ ) отличий между значениями медиан, показателей, количественно характеризующих дихотомии структурно-различных типов. Дихотомий с полной асимметрией (1-го

типа –  $D \neq d_{\max} \neq d_{\min}$ ) было обнаружено 46%; с боковой асимметрией (2-го типа –  $D = d_{\max}$ ,  $D \neq d_{\min}$ ,  $d_{\max} \neq d_{\min}$ ) – 30%; с односторонней симметрией (3-го типа –  $D \neq d_{\max}$ ,  $D \neq d_{\min}$ ,  $d_{\min} = d_{\min}$ ) – 23,5% и с полной симметрией (4-го типа –  $D = d_{\max} = d_{\min}$ ) – 0,5%. В связи с малым количеством дихотомий 4-го типа, для них сравнительный анализ не проводили. Для дихотомий 1-го типа (характерны: наибольшее значение параметра ( $Me \pm m$ , здесь и далее по тексту)  $D = 0,7 \pm 0,04$  мм, значения  $\gamma = 0,25 \pm 0,01$ ,  $\eta = 0,78 \pm 0,01$ ,  $D/d_{\max} = 1,33 \pm 0,03$  и  $D/d_{\min} = 2,5 \pm 0,19$  – занимают среднее положение, в ряду величин исследованных дихотомий. Для дихотомий 2-го типа характерны: наибольшие значения параметров  $\eta = 1,11 \pm 0,01$  и  $D/d_{\min} = 3 \pm 0,16$ , наименьшие значения –  $\gamma = 0,11 \pm 0,01$  и  $D/d_{\max} = 1$ , значение  $D = 0,5 \pm 0,03$  мм – занимает среднее положение. Для дихотомий 3-го типа характерны наибольшие значения параметров  $\gamma = 1$  и  $D/d_{\max} = 2 \pm 0,06$ , наименьшее значение –  $D = 0,3 \pm 0,02$  мм,  $\eta = 0,5 \pm 0,02$  и  $D/d_{\min} = 2 \pm 0,06$ .

В основу теоретических построений идеального артериального дерева положен принцип минимальных [7] затрат биологического материала и энергии, идущей на функционирование сосудистой дихотомии. Практическая реализация данного принципа осуществляется, по мнению многих авторов [10, 11] путем согласования диаметров сегментов артерий составляющих дихотомию. Н.В.М. Ulings для оценки оптимальности использовал показатель  $\eta$  и утверждал, что оптимальными являются дихотомии с  $1 < \eta \leq 1,26$  [11]. В настоящем исследовании дихотомий удовлетворяющих данному требованию было обнаружено 32%. Возникает закономерный вопрос об адекватности применяемой методики и «нормальности» изучаемого артериального русла. Касательно первого, можно сказать, что данная методика для решения подобного рода задач применяется довольно давно и успешно [9]. Особенностью ее является то, что получаемые слепки артериального русла отображают его структуру в состоянии крайней степени дилатации. Таким образом, отвечая на вторую часть поставленного вопроса можно предположить, что в состоянии крайней степени дилатации только около 32% дихотомий отвечают теоретически установленным требованиям оптимальности, по крайней мере, для рассматриваемой части артериального русла. Возможно, в физиологических условиях функционирования артериальной системы данный феномен компенсируется за счет разности реологических свойств крови и/или артериальной стенки на разных уровнях деления артерий. Кроме того, как известно, сосудистое русло делится на ряд функциональных групп сосудов: амортизирующие, резистивные, обменные и др., которые выполняют разные функции. Настоящее исследование касается артерий резистивного типа, поэтому логично предположить, что показатели, характеризующие

оптимальность для них, имеют значения отличные от таковых у амортизирующих и обменных сосудов. Очевидно, функция дихотомий, состоит не только в проведении крови, но и в ее равномерном распределении, регулировании давления и объемной скорости тока крови. Поэтому применять один и тот же принцип оптимальности для дихотомий, выполняющих различные функции не совсем верно. Учитывая вышесказанное, можно предположить, что в данном случае, около 32% дихотомий обеспечивают минимальные потери энергии потока крови при ее проведении. Нельзя также отрицать наличие определенного процента патологических артериальных дихотомий, которые, вероятно, в таком качестве и количестве себя клинически не проявляют, однако, могут служить потенциальной основой возможной в будущем несостоятельности русла. Вероятно также наличие погрешности измерений и методики изготовления коррозионных препаратов. Однако, не смотря на это, обнаруженные факты следует учитывать при математическом моделировании структуры артериального русла печени. Обязательно следует учитывать процентное соотношение присутствия дихотомий структурно-различных типов. Можно ожидать, что каждый из типов имеет свое функциональное значение, и функция артериальной конструкции в целом сильно зависят от их процентного соотношения.

## ВЫВОДЫ

1. Обнаружены четыре структурно-различные типы артериальных дихотомий. Структурные отличия артериальных дихотомий, вероятно, определяют различия выполняемых ими функций.
2. Принцип оптимальности должен формулироваться в соответствии с различиями выполняемых артериальными дихотомиями функций, поэтому для разных типов дихотомий цифры, свидетельствующие об оптимальности не должны иметь одинаковое значение.
3. Обнаруженные закономерности следует учитывать при математическом моделировании структуры артериального русла печени.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Герасимюк І.Є. Структурні механізми адаптації кровоносних русел печінки та нирок до різних умов гемодинаміки / І.Є. Герасимюк, А.В. Гантімуров, І.В. Пилипко // Клінічна анатомія та оперативна хірургія.– 2010.– Т. 9, № 2.– С. 14–17
2. Дослідження математичної моделі біфуркації судинної ділянки з детальністю, що відповідає контролю хворого в середовищі LabVIEW / С.Н. Маковеев, Д.Ш. Газизова, А.А. Горбач [та ін.] // Мед. інформатика та інженерія.– 2008.– № 4.– С. 25–45.
3. Зенин О.К. Морфофункциональные принципы организации артериального русла большого круга

кровообращения: дисс. ... доктора мед.наук: 14.03.01 / О. К. Зенин.– К., 2005.– 468 с.

4. Марценюк В. П. Кореляційний підхід до обґрунтування оптимальних моделей розгалуження мікросудинних вузлів / В. П. Марценюк, Д. В. Вакулєнко, І. Є. Андрущак // Мед. інформатика та інженерія.– 2011.– № 3.– С. 49–52.

5. Неверов С. Л. Математическая модель бифуркации сосуда, модуль бифуркации сосуда в LAVVIEW / С. Л. Неверов // Клиническая физиология кровообращения.– 2008.– № 3.– С. 65–70.

6. Основы компьютерной биостатистики: анализ информации в биологии, медицине и фармации статистическим пакетом MedStat / Ю. Е. Лях, В. Г. Гурьянов, В. Н. Хоменко, О. А. Панченко.– Д.: Папакица Е. К., 2006.– 214 с.

7. Розен Р. Принцип оптимальности в биологии / Р. Розен.– М: Медицина, 1969.– 215 с.

8. Шошенко К. А. Архитектоника кровеносного русла / К. А. Шошенко, А. С. Голубь, В. И. Брод.– Новосибирск: Наука, 1982.– 182 с.

9. Estimation of instantaneous blood pressure gradient by mathematical analysis of arterial casts / N. Suwa, T. Niwa, H. Fukasawa, et al// J. Exp. Med.– 1963.– № 79.– P.168–198.

10. Kamiya A. Quantitative assessments of morphological and functional properties of biological trees based on their fractal nature / A. Kamiya, T. Takahashi //J. Appl. Physiol.– 2007.– № 102, V.6.– P.2315–2323.

11. Uylings H. B. M. Optimization of diameters and bifurcation angles in lung and vascular tree structures/ H. B. M. Uylings //Bull. Math. Biol.– 1977.– № 39.– P. 509–520.