

¹Трушель Н. А., ¹Пивченко П. Г., ²Нечипуренко Н. И., ¹Лукьяница В. В.,
¹Мансуров В. А., ¹Капитонов А. М.

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕМОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВИЛЛИЗИЕВА КРУГА, СПОСОБСТВУЮЩИЕ РАЗВИТИЮ ЦЕРЕБРОВАСКУЛЯРНОЙ ПАТОЛОГИИ

¹ Белорусский государственный медицинский университет, г. Минск,
² Республиканский научно-практический центр неврологии и нейрохирургии,
г. Минск

Цель исследования — установить морфологические, морфометрические и гемодинамические закономерности артериального круга большого мозга (виллизиева круга) человека, способствующие развитию цереброваскулярной патологии.

Материал и методы. Материалом для исследования послужил артериальный круг большого мозга и мозговые артерии у 467 человек в возрасте от 0 до 90 лет, умерших от причин не связанных с нарушением мозгового кровообращения и не страдавших артериальной гипертензией, болезнями соединительной ткани и сахарным диабетом. Макроскопическим методом проводилось изучение вариантов строения виллизиева круга. Гистологически (окраска гематоксилин-эозином, по Ван Гизон и орсеином по Унна–Тенцеру), гистохимически (окраска суданом III) и иммуногистохимически (экспрессия протеина Ki-67) изучалась стенка сосудов виллизиева круга в области их бифуркации и на участке между разветвлениями артерий (исследование проводили на базе иммуногистохимической лаборатории отделения общей патологии УЗ «Городское клиническое патологоанатомическое бюро» г. Минска). Для изучения вариантов строения виллизиева круга у пациентов, страдающих нарушением мозгового кровообращения, методом компьютерной томографии изучены КТ-сканы сосудов головного мозга у 100 человек в возрасте от 18 до 80 лет (паспортизированные пациенты), обратившихся в Минский городской диагностический центр. Для объяснения особенностей строения стенки сосудов в месте разветвления артерий виллизиева круга применялись метод физического моделирования с использованием стеклянных моделей раздвоенных трубок, соответствовавших по строению сосудам виллизиева круга, и математического моделирования с помощью пакета численного моделирования кафедры био- и наномеханики БГУ (изучены напряжение фон Мизеса, напряжение сдвига на стенке сосуда, распределение давления крови, двухмерное поле скоростей течения и число Рейнольдса).

В результате макроскопического исследования артериального круга большого мозга у умерших людей, причина смерти которых не связана с нарушением мозгового кровообращения, установлено, что круг взрослого человека в форме, которую традиционно рассматривают в качестве классической, обнаружен в 34,35 % случаев (табл.). При прижизненном исследовании анатомии виллизиева круга у людей, имеющих нарушения мозгового кровообращения, методом компьютерной томографии не было выявлено ни одного случая классического варианта круга.

При анализе вариантов строения виллизиева круга у людей, не имевших нарушений мозгового кровообращения и страдающих ею, выявлены варианты,

которые наиболее часто (на 8–21 % случаев) обнаруживаются у пациентов с нарушением мозгового кровообращения: сочетанный вариант виллизиева круга, отсутствие обеих (одной) задних соединительных артерий и задняя трифуркация внутренней сонной артерии. Следовательно, люди с указанными вариантами входят в группу риска.

Сравнительная характеристика вариантов строения виллизиева круга у людей, не страдавших нарушением мозгового кровообращения (НМК) и имеющих данную патологию

Варианты виллизиева круга у людей, не имеющих НМК	Варианты виллизиева круга у людей с НМК
Классический вариант	
(34,35 %)	Отсутствовал
Группа «редких вариантов»	
(25,41 %)	Редкие варианты сочетались с другими вариантами сосудов круга и входили в «сочетанные варианты»
Задняя трифуркация внутренней сонной артерии	
(15,76 %)	(24 %)
Аплазия (отсутствие) задней соединительной артерии	
(14,36 %)	(25 %)
Сочетанный вариант	
(10,12 %)	(31 %)
Аплазия обеих задних соединительных артерий	
(1,18 %)	(20 %)

Сочетанный вариант строения виллизиева круга — это сочетание нескольких неклассических вариации сосудов в пределах артериального круга. Редкие варианты виллизиева круга, выявленные в 0,47–4 % случаев (наличие срединной артерии мозолистого тела, одноствольный тип передних мозговых артерий, пристеночный контакт передних мозговых артерий, удвоение и расщепление передней соединительной артерии, передняя трифуркация внутренней сонной артерии, аплазия передней соединительной артерии, наличие возвратной артерии, сплетениевидный тип передней мозговой артерии, задняя трифуркация обеих внутренних сонных артерий, аплазия обеих задних соединительных артерий, сплетениевидный тип базилярной артерии и удвоение задней соединительной артерии), в сумме составили 25,41 % и обнаруживались, как правило, в переднем отделе артериального круга большого мозга.

В результате исследования установлено, что в местах разветвления сосудов виллизиева круга в постнатальном онтогенезе человека происходит структурная перестройка стенки артерий: внутренняя оболочка нарастает в виде подушек (интимальных утолщений), а средняя оболочка постепенно истончается вплоть до полного исчезновения ($p < 0,05$). Интимальные утолщения появляются в местах бифуркации сосудов виллизиева круга в конце второго года, увеличиваются по толщине и протяженности и претерпевают возрастную структурную перестройку, вызванную процессами атерогенеза (появление липидных включений, умеренная экспрессия протеина Ki-67). Установлена динамика роста интималь-

ных подушек, представленная 3 периодами: 1) формирования (от 2 лет до 21 года); 2) медленного роста (от 22 до 55 лет); 3) быстрого роста (после 56 лет). Средняя оболочка в местах разветвления сосудов виллизиева круга (под интимальным утолщением) в первом периоде зрелого возраста (22–35 лет) истончена на 53 % ($U = 0,0$; $p = 0,05$) по сравнению с толщиной средней оболочки в областях вне бифуркации артерий, во втором периоде зрелого возраста (36–55 лет) — на 59 % ($U = 15,0$; $p = 0,03$), а в пожилом возрасте (56–74 года) — на 79 % ($U = 0,0$; $p = 0,01$) или отсутствует вовсе, что может способствовать выпячиванию стенки апикального угла. На основании динамики гистогенеза стенки артерий в областях бифуркации сосудов артериального круга большого мозга выделены возрастные периоды человека, когда существует риск развития нарушений мозгового кровообращения: 1-й период (с 30–35 лет) — происходит значительное истончение средней оболочки в области разделения сосудов круга, что может способствовать образованию аневризмы; 2-й период (с 56 лет) — наблюдается значительное увеличение высоты интимальных утолщений, что может привести к стенозу сосуда.

Интимальные утолщения появляются в местах разветвления артерий виллизиева круга, увеличиваются по толщине и протяженности в постнатальном онтогенезе под влиянием кровотока, что подтверждается физическим и математическим моделированием кровотока. Установлена взаимосвязь между вариантом строения виллизиева круга (диаметром и углом бифуркации его сосудов) и размерами подушек. Большие по толщине и протяженности подушки обнаруживаются в области латерального угла бифуркации наибольшего по диаметру дочернего сосуда, меньшие — в области латерального угла меньшего по диаметру дочернего сосуда ($p < 0,05$). Протяженность подушки в области апикального угла разделения сосудов виллизиева круга больше при тупом его угле, чем при остром ($p < 0,05$). Картина локальных завихрений экспериментальной жидкости (их выраженность и места соприкосновения с моделью) зависит от диаметра трубок и величины углов бифуркации модели, что объясняет разную величину интимальных утолщений, установленную при гистологическом исследовании. Чем больше толщина подушек, расположенных в углах бифуркации математической модели, соответствующей по параметрам сосудам виллизиева круга, тем больше давление крови, напряжение сдвига и напряжение фон Мизеса внутри интимальной подушки в месте апикального угла модели, что способствует образованию аневризмы. Максимальное механическое воздействие на стенку апикального угла бифуркации математической модели установлено при углах от 80° до 110° .

Выводы. Таким образом, люди с неклассическими вариантами виллизиева круга, такими, как сочетание нескольких неклассических вариаций сосудов в пределах круга (сочетанный вариант), отсутствие обеих (одной) задних соединительных артерий и задняя трифуркация внутренней сонной артерии входят в группу риска развития цереброваскулярной патологии [1]. Структурные преобразования стенки сосудов артериального круга большого мозга, происходящие после рождения человека, обусловлены гемодинамическим воздействием, и могут способствовать развитию нарушений мозгового кровообращения (ишемическому и геморрагическому инсульту).

ЛИТЕРАТУРА

1. Трушель, Н. А. Роль морфологического и гемодинамического факторов в атерогенезе сосудов виллизиева круга / Н. А. Трушель, П. Г. Пивченко. Минск : БГМУ, 2013. 180 с.

*Trushel N. A., Pivchenko P. G., Nechipurenko N. I., Lukyanitsa A. V.,
Mansurov V. A., Kapitonov A. M.,*

**Morphological and hemodynamic features of Willis' circle contributing
to the development of cerebrovascular disease**

*Belarusian State Medical University, Minsk,
Centre of Neurology and Neurosurgery, Minsk, Belarus*

Willis' circle and cerebral arteries of 467 people died without cerebral circulatory disorders were studied. 100 patients with cerebrovascular pathology were investigated by the means of computer tomography. By the method of physical modeling the structure of arteries in the place of their ramification was determined. The morphological, morphometric and hemodynamic regularities of human circle of Willis contributing to the development cerebrovascular disease were established.

Key words: cerebrum, cerebral arterial circle (Willis' circle), arteries, cerebral circulatory disorders.