

ВАРИАНТНАЯ АНАТОМИЯ АРТЕРИЙ ВИЛЛИЗИЕВА КРУГА

Калесник А.А., Назарук В.В.

Гродненский государственный медицинский университет

Гродно, Беларусь

Введение. Человеческое тело представляет собой сложную систему, которая развивается из двух слившихся клеток и достигает в зрелом состоянии около 37 триллионов клеток, где в процессе эмбриогенеза неизбежно возникают отклонения от генетически детерминированного плана строения, которые могут либо обеспечивать адаптивные преимущества, либо приводить к дефектам развития. Стоит уточнить, что при отсутствии нарушений функционирования органа, данное анатомическое отклонение рассматривается не как порок развития, а как анатомический вариант.

Выявление варианта анатомического строения в ходе диагностического или лечебного вмешательства нередко представляет собой «неприятный сюрприз» для хирурга. В связи с этим знание вариантной анатомии является обязательным компонентом профессиональной подготовки врача, наряду с систематической и топографической анатомией.

Актуальность. В литературе представлено несколько классификационных систем, но ни одна из них не является универсальной [1, с. 1188]. Отсутствие стандартизированного подхода к описанию вариантов Виллизиева круга неизбежно затрудняет прогнозирование риска ишемических осложнений и выбор оптимальной хирургической тактики при хирургических вмешательствах.

Цель. Обобщение литературных данных по вариантной анатомии артерий Виллизиева круга.

Методы исследования: анализ и систематизация данных отечественной и зарубежной литературы по теме вариантной анатомии артерий Виллизиева круга.

Результаты и их обсуждение.

Виллизиев круг представляет собой анастомозирующую артериальную сеть, расположенную у основания головного мозга. Его основная функция заключается в предотвращении ишемии головного мозга путем поддержания перфузии тканей при нарушении кровотока через один или несколько питающих сосудов [1, с. 1189].

Классически в строении Виллизиева круга выделяют передний и задний отделы. Переднюю половину образуют передняя соединительная артерия (АСomA) и прекоммуникационные сегменты А1 передних мозговых артерий. Заднюю половину формируют задние соединительные артерии (РComA) и прекоммуникационные сегменты Р1 задних мозговых артерий. В совокупности эти сосуды создают многоугольное соединение между внутренней сонной и вертебробазиллярной системами [1, с. 1190].

Эмбриологически сосудистая сеть Виллизиева круга формируется после 28-го дня гестации. Переднее ответвление внутренней сонной артерии даёт

начало передней, средней и передней хориоидальной артериям. Заднее ответвление внутренней сонной артерии даёт начало задней мозговой и задней хориоидальной артериям. Развитие заднего кровообращения через базилярную и позвоночные артерии стимулируется затылочной долей и стволом головного мозга [6, с. 2].

Для определения строения Виллизиева круга без вариаций используются четыре критерия: (1) присутствие всех семи сегментов (AComA, две A1, две PComA, две P1); (2) возникновение всех сегментов из естественного источника; (3) отсутствие добавочных артерий; (4) внешний диаметр всех сегментов более 1 мм. Типичным считается круг, соответствующий всем перечисленным критериям и не имеющий таких анатомических вариантов, как дупликация, трипликация или фенестрация [5, с. 397].

Данные о частоте встречаемости классического Виллизиева круга существенно варьируют. По результатам одних исследований, классическое строение наблюдается у 70,83% случаев, в то время как другие авторы сообщают о распространенности анатомических вариаций у неврологически здоровых лиц на уровне $68,22 \pm 14,32\%$ [5, с. 397]. Столь широкий диапазон объясняется различиями в методологии, такими как аутопсийные исследования, методы визуализации, а также популяционными и этническими особенностями выборок. В исследовании с использованием магнитно-резонансной ангиографии классическая конфигурация Виллизиева круга была выявлена лишь в 18,4% случаев, что подчеркивает высокую распространенность вариантных форм в популяции [2, с. 580].

Примечательно, что наиболее частые вариации встречаются в качестве гипоплазий, аплазий и дупликаций отдельных компонентов круга [1, с. 1192]. В исследовании, выполненном на 50 препаратах головного мозга взрослых людей, гипоплазия одного или нескольких компонентов Виллизиева круга была выявлена в 24% случаев. Сосуды считались гипопластическими при внешнем диаметре менее 1 мм, за исключением соединительных артерий, для которых пороговым значением являлся 0,5 мм. Наиболее часто гипоплазии подвергалась задняя соединительная артерия, за ней следовали прекоммуникационный сегмент задней мозговой артерии (P1), прекоммуникационный сегмент передней мозговой артерии (A1) и передняя соединительная артерия [3, с. 2425].

По данным, полученным при исследовании 96 свежих аутопсийных препаратов Виллизиева круга, классическая форма была выявлена в 70,83% случаев, в то время как атипичные формы с анатомическими вариантами составили 29,18%. Наиболее частым анатомическим вариантом для задних соединительных артерий и передних мозговых артерий являлась гипоплазия в процентном соотношении 39,28% и 16,07% соответственно. Дополнительные сосуды в виде дупликации или трипликации компонентов многоугольника встречались в 12% случаев, преимущественно в переднем отделе круга [5, с. 400].

Для классификации анатомических вариаций Виллизиева круга в литературе были описаны и сформированы три основные системы, которые

имеют собственные недостатки. Первая классификация за 1963 год включает 21 вариант, но не содержит полных анатомических описаний и не учитывает порядок расположения сосудов. Вторая классификация за 1979 год описывает 22 варианта, однако иллюстрации гипоплазии сегментов в ней непоследовательны, что создаёт неоднозначность в интерпретации. Третья классификация за 1998 год содержит 18 вариантов, но не дифференцирует гипоплазию и полное отсутствие артерий, а полная анатомия круга в ней не отображена. Можно сказать, на сегодняшний день в научной литературе отсутствует единое мнение относительно системы, которая бы всесторонне документировала и классифицировала варианты строения Виллизиева круга [1, с. 1193].

В качестве альтернативы вышеописанным классификациям и являющейся наиболее доработанной, в 2023 году была предложена классификация, разделяющая все круги на два типа: замкнутые 71,5% и разомкнутые 28,5%. В замкнутых кругах выделяют симметричную (37%) и несимметричную (63%) формы. К замкнутым симметричным относят варианты с классическим строением, с гиперплазией или гипоплазией двух одноименных артерий, а также круги с вариантной анатомией передней соединительной артерии. Замкнутые несимметричные круги включают варианты с гиперплазией или гипоплазией одной или нескольких разноименных артерий, а также сочетания гиперплазии и гипоплазии [9, с. 425]. Данная система позволяет стандартизировать описание ранее опубликованных анатомических вариаций и может быть рекомендована для использования в клинической практике и научных исследованиях.

Особое внимание уделяется вариантам строения заднего отдела Виллизиева круга, в частности фетальному типу задней мозговой артерии. Данный вариант представляет собой персистенцию эмбрионального происхождения задней мозговой артерии от внутренней сонной артерии. При полном фетальном типе сегмент P2 отходит от внутренней сонной артерии, а сегмент P1 отсутствует. При частичном фетальном типе P1 сохранен, но гипопластичен, и сохраняется атретическая связь с базилярной артерией. Частота встречаемости фетального типа задней мозговой артерии варьирует от 4% до 29%. Примечательно, что фетальный тип задней соединительной артерии имеет даже более важное клиническое значение, так как аневризмы данной локации стоит идентифицировать как аневризмы внутренней сонной артерии – задней соединительной артерии, поскольку они возникают в месте отхождения задней соединительной артерии от внутренней сонной артерии [6, с. 65].

К редким вариантам относится непарная передняя мозговая артерия, формирующаяся в результате сохранения эмбриональной срединной артерии мозолистого тела. Установлено, что частота встречаемости данного варианта, по данным разных авторов, колеблется от 0,3% до 4%. Выделяются три типа непарной передней мозговой артерии: истинная непарная (при слиянии двух A1-сегментов), доминирующая A2 при гипоплазированной второй A2 и наличие трёх ветвей A2 с доминированием одной из них. Современные

исследования с использованием методов визуализации дополняют эту классификацию, выделяя варианты в зависимости от уровня ветвления. Наличие непарной передней мозговой артерии создаёт повышенную гемодинамическую нагрузку на единственный сосуд, что предрасполагает к формированию фузиформных аневризм и ассоциировано с другими врождёнными аномалиями, включая липомы мозолистого тела [10, с. 104].

Из вышеописанного, можно сказать, что клиническое значение вариантной анатомии Виллизиева круга трудно переоценить, поскольку вариации строения ассоциированы с повышенным риском ишемического инсульта, разрыва аневризмы, заболеваний белого вещества головного мозга и мигрени, а также с риском вазоспазма после субарахноидального кровоизлияния. Наличие полноценного коллатерального кровообращения предсказывает благоприятные исходы у пациентов с острым ишемическим инсультом, получающих реперфузионную терапию [1, с. 1195].

В настоящее время на этапе предоперационного планирования знание вариантов строения Виллизиева круга имеет фундаментальное значение. Вариабельность предрасполагает к церебральной ишемии во время временного клипирования сонных артерий и может ослабить защитный эффект селективной церебральной перфузии. Выбор наиболее адекватного метода защиты головного мозга невозможен без учёта индивидуальных анатомических особенностей.

Интраоперационные аспекты также тесно связаны с вариантностью. Необычная анатомия является основным фактором, способствующим техническим ошибкам в нейрохирургии. Вариации, особенно гипоплазия и дупликация, могут влиять на выбор хирургического доступа, сложность операции, точность установки клипсы или эндоваскулярной спирали на аневризму, а также на частоту послеоперационных осложнений [1, с. 1196].

Морфометрические характеристики артерий Виллизиева круга демонстрируют значительную вариабельность. Согласно данным, длина задней соединительной артерии варьирует от 2,0 до 35,0 мм, наружный диаметр – от 0,3 до 3,5 мм. На основании соотношения диаметров прекоммуникационного сегмента задней мозговой артерии и задней соединительной артерии выделяют три типа строения заднего отдела: нормальный, гипоплазированный и фетальный. Средняя толщина стенки задней соединительной артерии составляет $0,18 \pm 0,01$ мм, при этом у мужчин артериальная стенка в 1,2 раза толще, чем у женщин, а с возрастом происходит утолщение стенки в среднем на 14%, особенно выраженное справа [8, с. 75].

Было показано, что в большинстве случаев отмечалось классическое строение артериального круга мозга, составляющий 65,1%. При этом артериальный круг был замкнут, задние соединительные и задние мозговые артерии хорошо визуализировались. Авторы также установили, что при 5,1% частоте гипоплазии обеих задних мозговых артерий ветви к сосцевидным телам отходили от задних соединительных артерий и базилярной артерии [7, с. 66].

Выводы. Таким образом, Виллизиев круг характеризуется высокой степенью анатомической изменчивости, что подтверждается данными как аутопсийных, так и визуализационных исследований, а отсутствие унифицированной классификации и единых критериев оценки затрудняет сравнение результатов различных работ и внедрение полученных данных в клиническую практику. Знание вариантной анатомии Виллизиева круга является необходимым условием безопасного выполнения нейрохирургических и эндоваскулярных вмешательств, а также адекватного прогнозирования риска цереброваскулярных осложнений. Перспективными направлениями дальнейших исследований являются разработка стандартизированной классификации вариантов строения Виллизиева круга, уточнение морфометрических характеристик его компонентов с учетом половых и возрастных особенностей, а также оценка функциональной значимости различных анатомических вариантов в условиях компрометации магистрального кровотока.

ЛИТЕРАТУРА

1. A new classification system for anatomical variations of the human circle of Willis: a systematic review / J. R. Ayre, P. J. Bazira, M. Abumattar [et al.] // *Journal of Anatomy*. – 2022. – Vol. 240, № 6. – P. 1187–1204.
2. Alharbi, Y. Anatomical study of variations in the configurations of the circle of Willis in relation to age, sex, and diameters of the components / Y. Alharbi, R. A. M. Al Saffar // *Anatomy and Cell Biology*. – 2024. – Vol. 57, № 4. – P. 579–591.
3. Iqbal, S. A comprehensive study of the anatomical variations of the circle of Willis in adult human brains / S. Iqbal // *Journal of Clinical and Diagnostic Research*. – 2013. – Vol. 7, № 11. – P. 2423–2427.
4. Anatomical variations of circle of Willis in a cohort of 1225 patients using magnetic resonance angiography / S. Ahmad, A. Irshad, S. Shams [et al.] // *Pakistan Journal of Medical Sciences*. – 2023. – Vol. 39, № 2. – P. 352–357.
5. Anatomical study of circle of Willis on fresh autopsied brains. A study of a Romanian population / A. M. Dumitrescu, L. Eva, D. Haba [et al.] // *Romanian Journal of Morphology and Embryology*. – 2022. – Vol. 63, № 2. – P. 395–406.
6. Capone, S. A Fetal-type Variant Posterior Communicating Artery and its Clinical Significance / S. Capone, N. Shah, R. R. George-St Bernard // *Cureus*. – 2019. – Vol. 11, № 7. – e5064.
7. К вопросу об анатомии ветвей виллизиевого многоугольника в зависимости от вариантов его строения / А. В. Павлов, А. А. Виноградов, С. Р. Жеребятнева [и др.] // *Вестник Волгоградского государственного медицинского университета*. – 2017. – № 2 (62). – С. 63–67.
8. Фомкина, О. А. Анатомия задней соединительной артерии / О. А. Фомкина, В. Н. Николенко, Ю. А. Гладилин // *Саратовский научно-медицинский журнал*. – 2018. – Т. 14, № 1. – С. 74–77.
9. Тимофеев, В. Е. Классификация строения артериального круга большого мозга в свете практического применения в клинике / В. Е. Тимофеев // *FORCIPE*. – 2023. – Т. 6, № 3S. – С. 424–426.

10. Клиническое значение непарной передней мозговой артерии / П. Г. Шнякин, А. В. Протопопов, А. В. Ботов [и др.] // Вестник современной клинической медицины. – 2023. – Т. 16, № 5. – С. 103–108.

ЭКСПРЕССИЯ C-FOS В НЕЙРОНАХ ГРУШЕВИДНОЙ КОРЫ МОЗГА КРЫСЫ ПРИ ХОЛЕСТАЗЕ

Климуть Т.В., Заерко А.В., Дудко Р.А., Скоробогатый Д.И., Климуть Д.В.
*Гродненский государственный медицинский университет
Гродно, Беларусь*

Введение. Холестаз – тяжёлое осложнение заболеваний печени и желчевыводящих путей, приводящее к нарушению оттока желчи, расстройствам пищеварения и поступлению её компонентов в кровь и мозг. Это состояние встречается более чем у 10% населения и может вызывать структурные и функциональные нарушения головного мозга. Грушевидная кора, относящаяся к древней коре, играет ключевую роль в обработке обонятельной информации и тесно связана с лимбическими структурами, регулирующими эмоции, память и висцеральные реакции. Благодаря этим связям она является важным элементом нейровисцеральной интеграции.

Патологические состояния, сопровождающиеся системным воспалением, метаболическими нарушениями и изменениями состава крови, такие как холестаз, могут вызывать функциональную и морфологическую перестройку грушевидной коры. Было показано, что холестаз приводит к структурным повреждениям и гибели нейронов в этой области [1, с. 602]. В связи с этим представляет интерес изучение молекулярно-генетических механизмов данных нарушений, в частности роли белка c-fos – продукта гена быстрого реагирования, экспрессия которого быстро усиливается в нейронах в ответ на различные стимулы и отражает их функциональную активность [2, с. 689].

Цель. Установить участие белка c-fos в механизмах адаптации нейронов грушевидной коры к холестазу.

Методы исследования. Всего в исследовании участвовало 220 самцов беспородных белых крыс с массой тела 225 ± 25 грамм. Для моделирования подпеченочного холестаза использовали перерезку общего желчного протока (ОЖП) между двумя лигатурами на 2–3 мм ниже места слияния печеночных протоков по методу Л.С. Кизюкевича. Суммарная летальность при моделировании холестаза составила 67,2%, при этом пик смертности приходился на 3–25-е сутки эксперимента, после 30 суток случаев гибели не регистрировалось. Для дальнейших исследований были взяты 72 выжившие особи, распределённые по 6 животных в 6 опытных и 6 контрольных группах. Животных содержали в стандартных условиях вивария.

Работа выполнена в соответствии с требованиями Директивы Европейского Парламента и Совета № 2010/63/EU от 22.09.2010 [3, с. 5]. На проведение данного исследования получено разрешение Комитета