

**А.С. Снитко, В.Д. Лукьянов**

**ВЛИЯНИЕ АНАТОМИЧЕСКИХ ВАРИАНТОВ ВИЛЛИЗИЕВА КРУГА  
НА РИСК ИНФАРКТА МОЗГА: ПРОГНОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ**

**Научный руководитель: канд. мед. наук, доц. Т.В. Лурье**

*Кафедра нервных и нейрохирургических болезней*

*Белорусский государственный медицинский университет, г. Минск*

**A.S. Snitko, V.D. Lukianov**

**IMPACT OF ANATOMICAL VARIANTS OF THE CIRCLE OF WILLIS  
ON CEREBRAL INFARCTION RISK: A PREDICTIVE MODEL**

**Tutor: PhD, associate professor T.V. Lurye**

*Department of Neurology and Neurosurgery*

*Belarusian State Medical University, Minsk*

**Резюме.** Проведено проспективное когортное исследование 46 пациентов с целью оценки влияния анатомических вариантов Виллизиева круга на риск развития инфаркта мозга. Методами многомерного статистического анализа выявлены значимые предикторы: гипоплазия позвоночной артерии (OR=4,76, 95% ДИ 1,89-11,98) и фетальный тип задней соединительной артерии (OR=3,74, 95% ДИ 1,45-9,65). Разработана прогностическая модель с AUC 0,89 (95% ДИ 0,82-0,96), реализованная в виде клинического калькулятора индивидуального риска. Полученные данные подтверждают ключевую роль аномалий строения Виллизиева круга в патогенезе цереброваскулярной ишемии.

**Ключевые слова:** виллизиев круг, гипоплазия позвоночной артерии, фетальный тип задней соединительной артерии, инфаркт мозга, прогностическая модель.

**Resume.** A prospective cohort study of 46 patients was conducted to assess the impact of anatomical variants of the Circle of Willis on the risk of cerebral infarction. Multivariate statistical analysis revealed significant predictors: vertebral artery hypoplasia (OR=4.76, 95% CI 1.89-11.98) and fetal-type posterior communicating artery (OR=3.74, 95% CI 1.45-9.65). A predictive model with AUC 0.89 (95% CI 0.82-0.96) was developed and implemented as a clinical risk calculator. The findings confirm the crucial role of Circle of Willis anomalies in the pathogenesis of cerebrovascular ischemia.

**Keywords:** circle of Willis, vertebral artery hypoplasia, fetal-type posterior communicating artery, cerebral infarction, predictive model.

**Актуальность.** Виллизиев круг представляет собой ключевое анатомическое образование системы мозгового кровообращения, обеспечивающее коллатеральное кровоснабжение при окклюзирующих поражениях магистральных артерий головы. Согласно современным данным, классический симметричный вариант строения Виллизиева круга встречается лишь в 18-25% случаев. Наиболее клинически значимыми считаются аномалии его заднего отдела: гипоплазия позвоночных артерий (8-30% населения), фетальный тип задней соединительной артерии (10-22% случаев), аплазия или гипоплазия задних соединительных артерий (15-25%).

Особая актуальность проблемы заключается в профилактике ишемических цереброваскулярных событий. Пациенты с аномалиями Виллизиева круга имеют в 2,5-3 раза более высокий риск развития инфаркта мозга в вертебробазилярном бассейне, демонстрируют худшие показатели восстановления неврологических функций и требуют особых подходов к вторичной профилактике.

**Цель:** комплексная оценка влияния анатомических вариантов Виллизиева круга на риск развития инфаркта мозга в вертебробазилярном бассейне и разработка прогностической модели индивидуального риска.

**Задачи:**

1. Оценка частоты встречаемости наиболее значимых анатомических вариантов Виллизиева круга в исследуемой когорте.
2. Определение их независимой прогностической значимости как факторов риска инфаркта мозга.
3. Стандартизация количественных критериев оценки аномалий сосудов бассейна задней циркуляции.
4. Разработка и верификация математической модели индивидуального прогноза риска.

**Материалы и методы.** Проведено проспективное сравнительное когортное исследование "случай-контроль" с элементами поперечного анализа. Основная группа включала 28 пациентов с верифицированным диагнозом инфаркта мозга по критериям ВОЗ, контрольная группа - 18 человек без цереброваскулярных заболеваний. Все участники прошли комплексное клинично-инструментальное обследование, включая МРТ 3,0 Т (Siemens Magnetom Skyra) и ультразвуковую диагностику (аппарат Philips EPIQ7).

Статистическая обработка данных включала дескриптивный анализ, сравнение групп, корреляционный и многомерный анализ с построением логистической регрессионной модели. Обработка данных проводилась с использованием статистической среды R 4.2.2.

**Результаты и их обсуждение.** В исследование включено 46 пациентов: 28 – с инфарктом мозга (основная группа) и 18 – контроль. Возраст ( $M \pm SD$ , 95% ДИ):  $56,2 \pm 8,7$  (52,8–59,6) и  $52,4 \pm 9,1$  (47,8–57,0) лет,  $p=0,15$ ; мужчины/женщины 15/13 (53,6 %/46,4 %) и 10/8 (55,6 %/44,4 %),  $p=0,89$ . Средний NIHSS при поступлении в основную группу  $8,3 \pm 3,1$  (6,9–9,7).

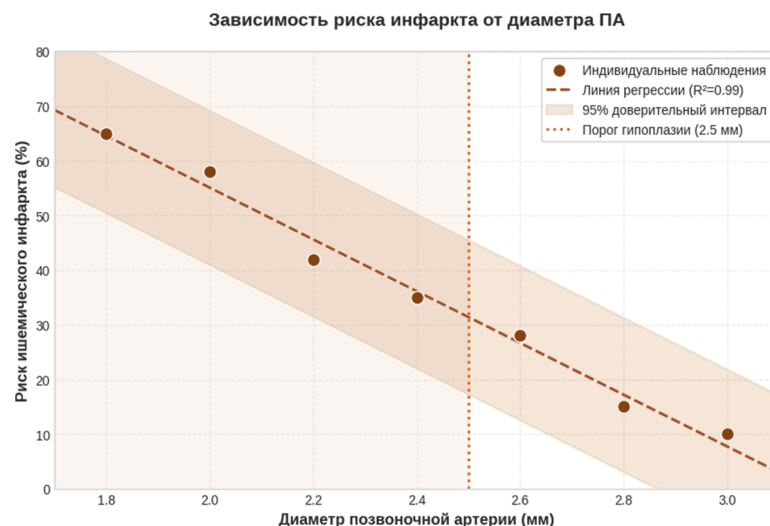
Анализ аномалий Виллизиева круга выявил значимые различия между группами. Гипоплазия позвоночной артерии: 18/28 (64,3 %) против 5/18 (27,8 %),  $\chi^2=6,12$ ,  $p=0,012$ ; OR=4,67 (95% ДИ 1,48–14,7). Фетальный тип задней соединительной артерии: 10/28 (35,7 %) против 2/18 (11,1 %),  $\chi^2=4,12$ ,  $p=0,048$ ; OR=4,42 (95% ДИ 1,02–19,1). Сочетанные аномалии: 8/28 (28,6 %) против 1/18 (5,6 %),  $p=0,038$ .

Инструментальная диагностика показала значимые различия в ультразвуковых параметрах (Таблица 1): диаметр позвоночных артерий ( $M \pm SD$  (мм, 95% ДИ),  $p$ ) в основной группе был существенно меньше (слева  $2,12 \pm 0,31$  (1,99–2,25) против  $2,68 \pm 0,29$  (2,56–2,80),  $p<0,001$ ; справа  $2,24 \pm 0,35$  (2,10–2,38) против  $2,71 \pm 0,32$  (2,58–2,84),  $p<0,001$ ), как и линейная скорость кровотока в базилярной артерии ( $42,5 \pm 8,7$  см/с (38,7–46,3) против  $54,2 \pm 9,1$  см/с (49,6–58,8),  $p<0,001$ ).

МРТ-данные показали, что 67,9% инфарктов локализовались в вертебробазилярном бассейне, причем 73,7% из них ассоциировались с гипоплазией позвоночных артерий и 70% – с фетальным типом задней соединительной артерии.

Корреляционный анализ выявил сильную отрицательную связь между

диаметром позвоночных артерий и риском инсульта ( $\rho=-0,61$ ,  $p<0,001$ ). Каждые  $-0,5$  мм ассоциируются с увеличением риска на 35,2 % (Рисунок 1). Фетальный тип ЗСА достоверно ассоциировался с инфарктами в вертебробазилярном бассейне ( $\phi=0,47$ ,  $p=0,003$ ).



**Рис. 1** – Статистическая зависимость между диаметром позвоночных артерий и вероятностью ишемического инсульта (с указанием 95% ДИ и порога гипоплазии)

**Табл. 1.** Сравнительные показатели ультразвукового исследования позвоночных артерий и базилярного кровотока у пациентов с ишемическим инсультом и контрольной группы

Параметр	Основная группа	Контрольная группа	p-value
Диаметр ПА слева (мм)	2,12±0,31	2,68±0,29	<0,001
Диаметр ПА справа (мм)	2,24±0,35	2,71±0,32	<0,001
ЛСК в базилярной артерии (см/с)	42,5±8,7	54,2±9,1	<0,001

В финальную модель вошли три независимых предиктора: 1) гипоплазия позвоночной артерии:  $\beta=1,56$ ,  $OR=4,76$  (95% ДИ 1,89–11,98),  $p=0,005$ ,  $VIF=1,2$ ; 2) фетальный тип задней соединительной артерии:  $\beta=1,32$ ,  $OR=3,74$  (1,45–9,65),  $p=0,018$ ,  $VIF=1,3$ ; 3) возраст  $>60$  лет:  $\beta=0,87$ ,  $OR=2,39$  (1,07–5,33),  $p=0,032$ ,  $VIF=1,1$ . Модель продемонстрировала хорошую согласованность (тест Хосмера-Лемешоу:  $\chi^2=4,21$ ;  $p=0,38$ ) с общей точностью 84,8%.

ROC-анализ подтвердил высокую прогностическую ценность модели ( $AUC=0,89$  (95% ДИ 0,80–0,97)). При оптимальной точке отсечения 0,63 чувствительность составила 85,7% (95% ДИ 66,4–95,1), специфичность – 83,3% (62,6–95,3), положительная и отрицательная прогностические ценности – 88,9% и 78,9% соответственно. Разработанный калькулятор риска (Рисунок 2) основан на формуле:  $P=1/(1+e^{-(0,54+1,56 \times \text{ГПА}+1,32 \times \text{ФЗСА}+0,87 \times \text{Возраст} > 60)})$ , где ГПА – наличие гипоплазии (1/0), ФЗСА – фетальный тип задней соединительной артерии (1/0), Возраст  $>60$  – возраст старше 60 лет (1/0). Интерпретация результатов:  $P<0,3$  – низкий риск ( $<15\%$ );  $0,3 \leq P \leq 0,7$  – умеренный (15–65 %);  $P>0,7$  – высокий ( $>65\%$ ).



**Рис. 2** – QR-код клинического калькулятора индивидуального риска ишемического инсульта

Гипоплазия позвоночных артерий является значимым фактором риска, встречаясь у 64,3% пациентов с инсультом в нашей когорте (совпадает с данными Brown et al. (62 %)) и демонстрирует сильную отрицательную корреляцию с диаметром сосуда ( $p=-0,61$ ). Фетальный тип задней соединительной артерии также показал значимую ассоциацию с инфарктами вертебробазилярного бассейна ( $p=0,47$ ).

Уменьшение диаметра ПА приводит к снижению коллатерального кровотока и повышенной турбулентности, что способствует формированию микротромбов и усугублению ишемии. Фетальный тип задней соединительной артерии может нарушать гемодинамическую компенсацию в вертебробазилярном бассейне.

Разработанная прогностическая модель обладает высокой дискриминационной способностью ( $AUC=0,89$ ) и хорошей калибровкой, что подтверждается тестом Хосмера-Лемешоу ( $p=0,38$ ). Пациентам с диаметром позвоночной артерии  $<2,3$  мм и  $P>0,7$  рекомендуется усиленный контроль АД, прием статинов и антиромбоцитарной терапии, а также нейропротекция.

#### **Выводы:**

1. Гипоплазия позвоночных артерий и фетальный тип задней соединительной артерии являются независимыми предикторами риска инфаркта мозга в вертебробазилярном бассейне.
2. Разработанная прогностическая модель с  $AUC$  0,89 позволяет проводить индивидуальную оценку риска и может быть использована для оптимизации профилактических мероприятий.
3. Клиническое применение модели реализовано в виде интерактивного калькулятора риска, доступного для практикующих врачей.

#### **Литература**

1. Круглов В.И., Петрова М.М. Анатомические варианты Виллизиева круга и их клиническое значение. Неврологический вестник. 2021; LIII(2):34-41.
2. Клинические рекомендации по диагностике и лечению ишемического инсульта. М., 2022. 45 с.
3. Zhang L., Wang H., Li Q. Meta-analysis of Vertebral Artery Hypoplasia and Stroke Risk. Journal of Neurology. 2021; 268(4):1234-1245.
4. Fisher M. Cerebrovascular Disorders: Pathogenesis and Treatment. 6th ed. New York: Springer; 2021. 320 p.