

# Малоизученная анатомия зон конвергенции ветвей поверхностных и глубоких артерий головного мозга – новый вектор в клинической неврологии



Николенко В.Н.<sup>1,2</sup>, Никитина А.Т.<sup>1</sup>, Гуриелидзе Л.М.<sup>2</sup>, Павлив М.П.<sup>1</sup>, Гольмагомедова Ф.Р.<sup>1</sup>,  
Беличенко А.А.<sup>1</sup>, Ризаева Н.А.<sup>1,2</sup>, Гаврюшова Л.В.<sup>3</sup>, Оганесян М.В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Кафедра анатомии и гистологии человека Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского  
ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова»  
Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва; <sup>2</sup>кафедра нормальной и топографической анатомии  
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», Москва;  
<sup>3</sup>кафедра терапевтической стоматологии ФГБОУ ВО «Саратовский государственный  
медицинский университет им. В.И. Разумовского», Саратов

<sup>1</sup>Россия, 125009, Москва, ул. Моховая, 11, стр. 10; <sup>2</sup>Россия, 119991, Москва,  
Ломоносовский просп., 27, корп. 1; <sup>3</sup>Россия, 410012, Саратов, ул. Большая Казачья, 112

В соседних пограничных артериальных зонах мозга (watershed) возможны инфаркты из-за недостаточного кровоснабжения. При постепенном развитии окклюзионного поражения церебральных артерий в этих зонах формируются разветвленные анастомотические сети, способные компенсировать гипоперфузию. В данном обзоре собран материал, выделяющий формирование двух наружных сетей: лептоменингеальной и дурокортикальной, а также трех внутренних паренхиматозных сетей: субэпендимальной (включая эпителиальную), интраталамической и интрастриарной. Лептоменингеальная сеть включает анастомозы между ветвями задней и передней, задней и средней мозговых артерий. Дурокортикальная сеть формируется всеми твердоменингеальными ветвями от вертебробазиллярной системы, наружной и внутренней сонной артерий. Субэпендимальная сеть образована передними и задними сосудистыми артериями, таламоперфорирующими артериями и перфорантами задней соединительной артерии. Интраталамическая и интрастриарная сети формируются анастомозами между стриарными артериями и таламоперфорирующими сосудами. Идентификация этих сетей может играть важную роль в определении стадии заболевания, выборе методов лечения и прогнозировании клинических исходов, а также в исключении возможных осложнений.

**Ключевые слова:** артериальные анастомозы пограничной зоны; коллатеральное кровоснабжение; лептоменингеальная сеть; дурокортикальная сеть; субэпендимальная сеть; интраталамическая сеть.

**Контакты:** Арина Тимофеевна Никитина; [arinia2000@yandex.ru](mailto:arinia2000@yandex.ru)

**Для цитирования:** Николенко В.Н., Никитина А.Т., Гуриелидзе Л.М., Павлив М.П., Гольмагомедова Ф.Р., Беличенко А.А., Ризаева Н.А., Гаврюшова Л.В., Оганесян М.В. Малоизученная анатомия зон конвергенции ветвей поверхностных и глубоких артерий головного мозга – новый вектор в клинической неврологии. *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика.* 2026;18(1):83–90. <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2026-1-83-90>

*The little-studied anatomy of the convergence zones of the superficial  
and deep arteries of the brain – a new vector in clinical neurology*  
Nikolenko V.N.<sup>1,2</sup>, Nikitina A.T.<sup>1</sup>, Gurielidze L.M.<sup>2</sup>, Pavliv M.P.<sup>1</sup>, Gyulmagomedova F.R.<sup>1</sup>,  
Belichenko A.A.<sup>1</sup>, Rizaeva N.A.<sup>1,2</sup>, Gavryushova L.V.<sup>3</sup>, Oganesyanyan M.V.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Department of Human Anatomy and Histology, N.V. Sklifosovsky Institute of Clinical Medicine, I.M. Sechenov  
First Moscow State Medical University, Ministry of Health of Russia (Sechenov University), Moscow;

<sup>2</sup>Department of Normal and Topographic Anatomy, M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow;

<sup>3</sup>Department of Therapeutic Dentistry, V.I. Razumovsky Saratov State Medical University, Ministry of Health of Russia, Saratov  
<sup>1</sup>11, Mokhovaya St., 11, Build. 10, Moscow, 125009, Russia; <sup>2</sup>27, Lomonosovsky Prosp., Build. 1,  
Moscow, 119991, Russia; <sup>3</sup>112, Bolshaya Kazachya St., Saratov 410012, Russia

In neighbouring borderline arterial zones of the brain (watershed), infarcts are possible due to insufficient blood supply. With the gradual development of occlusive lesions of the cerebral arteries in these areas, branched anastomotic networks form, capable of compensating for hypoperfusion. This review compiles material highlighting the formation of two external networks: leptomeningeal and durocortical, as well as three internal parenchymal networks: subependymal (including epithalamic), intrathalamic, and intraatrial. The leptomeningeal network includes anastomoses between the branches of the posterior and anterior, posterior and middle cerebral arteries. The durocortical network is formed by all the dural branches from the vertebrobasilar system, the external and internal carotid arteries. The subependymal network is formed by the anterior and posterior choroidal arteries, thalamoperforating arteries, and perforating branches of the posterior communicating artery. The

*intratamalic and intrastriatal networks are formed by anastomoses between the striatal arteries and thalamoperforating vessels. Identification of these networks can play an important role in determining the stage of the disease, selecting treatment methods, and predicting clinical outcomes, as well as in ruling out possible complications.*

**Keywords:** arterial anastomoses of the watershed zone; collateral blood supply; leptomeningeal network; durocortical network; subependymal network; intratamalic network.

**Contact:** Arina Timofeevna Nikitina; [arina2000@yandex.ru](mailto:arina2000@yandex.ru)

**For citations:** Nikolenko VN, Nikitina AT, Gurielidze LM, Pavliv MP, Gyulmagomedova FR, Belichenko AA, Rizaeva NA, Gavryushova LV, Oganessian MV. The little-studied anatomy of the convergence zones of the superficial and deep arteries of the brain – a new vector in clinical neurology. *Nevrologiya, neiropsikhiatriya, psikhosomatika = Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics.* 2026;18(1):83–90. <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2026-1-83-90>

Смежные (пограничные) зоны кровоснабжения (watershed zones) располагаются на стыке различных сосудистых бассейнов. Эти области кровоснабжаются конечными ветвями артерий, между которыми в норме существуют лишь капиллярные анастомозы, не способные обеспечить адекватную перфузию в случае окклюзии сосуда одного из бассейнов. Однако при прогрессирующих заболеваниях, характеризующихся медленным сужением просвета интракраниальных мозговых артерий (например, при болезни мойя-мойя), в поверхностных и глубоких пограничных зонах развиваются обширные анастомотические сети. Описание этих анастомозов позволит идентифицировать их с помощью цифровой субтракционной ангиографии, компьютерной томографии, магнитно-резонансной томографии и других методов оценки коллатерального кровотока. Оценка локализации и степени развития данных сетей даст возможность распознавать зоны окклюзии и определять стадию заболевания. Кроме того, состояние этого анастомотического кровообращения играет важную роль в прогнозировании эффективности лечения по восстановлению перфузии при остром ишемическом инсульте [1].

**Смежные (пограничные) артериальные зоны головного мозга**

Артериальные смежные зоны головного мозга, также известные как интертерриториальные пограничные зоны, представляют собой участки мозга, расположенные на стыке двух различных сосудистых систем, и являются зонами гемодинамического риска [2, 3].

Эти территории можно разделить на две большие категории:

- наружные (кортикальные) пограничные зоны;
- внутренние (субкортикальные) пограничные зоны [3, 4].

**Наружные, или кортикальные, пограничные зоны** расположены на стыке бассейнов передней, средней и задней мозговых артерий (рис. 1). Эти зоны обычно имеют клиновидную или яйцевидную форму [4].

Разновидности наружных пограничных зон:

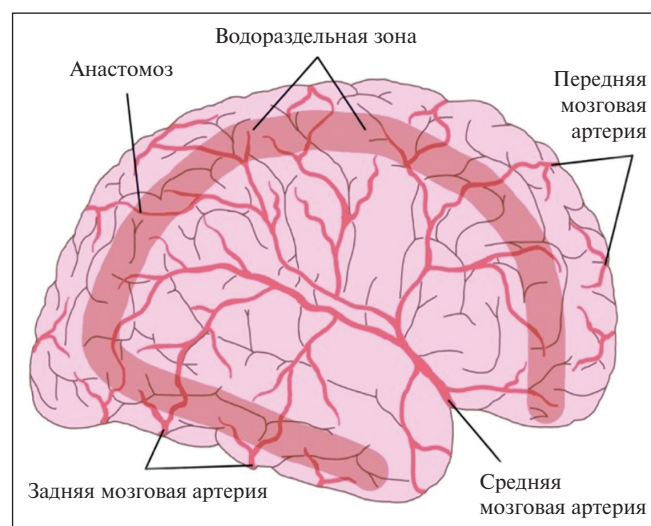
1. Область лобной и теменной коры (граница бассейнов передней и средней мозговых артерий).
2. Область затылочной коры (граница бассейнов средней и задней мозговых артерий).
3. Область парамедианного белого вещества (граница бассейнов передней и средней мозговых артерий) [4].

**Внутренние, или субкортикальные, пограничные зоны** располагаются на стыках бассейнов передней, средней и задней мозговых артерий с зонами кровоснабжения возвратной артерии Гюбнера (медиальной стриарной артерии), лентикюлостриарных артерий и передней ворсинчатой артерии [4]. Топографически они локализуются в области боковых желудочков [3].

Разновидности внутренних пограничных зон (рис. 2):

1. Пограничная зона между лентикюлостриарными артериями и средней мозговой артерией.
2. Пограничная зона между лентикюлостриарными артериями и передней мозговой артерией.
3. Пограничная зона между медиальной стриарной артерией (возвратной артерией Гюбнера, ветвью передней мозговой артерии) и корковыми ветвями передней мозговой артерии.
4. Пограничная зона между передней ворсинчатой и средней мозговой артериями.
5. Пограничная зона между передней ворсинчатой и задней мозговой артериями [4].

Данные пограничные зоны склонны к инфарктам вследствие недостаточной перфузии. В норме, как и в дру-



**Рис. 1. Главные артерии головного мозга<sup>1</sup>**  
**Fig. 1. The main arteries of the brain**

<sup>1</sup>Цветные рисунки к этой статье представлены на сайте журнала: [nnp.ima-press.net](http://nnp.ima-press.net)

гих структурах головного мозга, между артериями, формирующими эти зоны, существуют лишь капиллярные анастомозы, которые не способны обеспечить адекватное питание ткани в случае окклюзии [3]. Однако в современных исследованиях особое внимание уделяется развитию коллатералей между различными сосудистыми бассейнами у пациентов с окклюдующими заболеваниями церебральных артерий.

В наружных пограничных зонах анастомозы формируют лептоменингеальную и дурально-кортикальную сети [3, 5].

Во внутренних пограничных зонах, между медулярными артериями пиальной сети и перфорирующими базальными артериями, в ответ на гипоперфузию формируются субэпендимальная, интраламическая и интрастриарная сети [5]. В глубоких отделах паренхимы головного мозга описан анастомотический эпителиамический круг, который может наблюдаться как в норме, так и при патологии [6, 7].

#### Развитие коллатерального кровоснабжения в области наружных пограничных зон

В области наружных смежных (пограничных) зон описано формирование двух менингеальных анастомотических сетей. К ним относятся лептоменингеальная и дурально-кортикальная сети. Лептоменингеальная сеть может располагаться в конвекситальных отделах пограничных зон или иметь базальную височно-орбитофронтальную локализацию. Дурально-кортикальная сеть имеет базальное или конвекситальное (сводчатое) расположение [5].

#### Лептоменингеальная (менингеальная) система

Лептоменингеальная сеть состоит преимущественно из анастомозов между ветвями задней и передней мозговых артерий, а также ветвями задней и средней мозговых артерий в пограничных зонах.

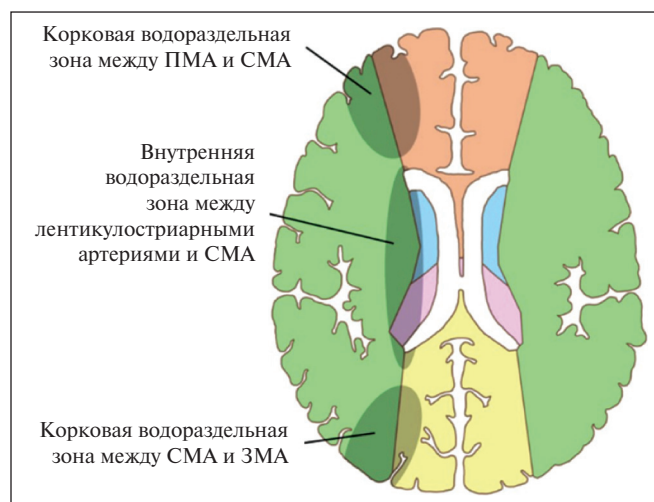


Рис. 2. Водораздельные зоны.

ПМА — передняя мозговая артерия;

СМА — средняя мозговая артерия;

ЗМА — задняя мозговая артерия

Fig. 2. Watershed zones

Лептоменингеальная сеть играет ключевую роль в коллатеральном кровоснабжении ишемизированной коры и подкорковых структур в бассейнах передней и средней мозговых артерий, особенно на ранних стадиях заболевания [8, 9]. Это обусловлено наличием анастомотических связей между задней мозговой артерией и лептоменингеальными коллатеральными внутренней сонной артерией, расположенными проксимальнее стено-окклюдующего поражения.

Кровоснабжение сети осуществляется также из артерии крючка (*artery of uncus*), через которую может происходить реваскуляризация средней мозговой артерии на уровне сегмента М1 [8, 10]. Возможны также связи лептоменингеальной сети с орбитофронтальными ветвями передней мозговой артерии.

Еще одна локальная лептоменингеальная сеть — между верхними гипофизарными артериями и артериями промежуточного мозга — обеспечивает кровоснабжение территории передней мозговой артерии на уровне дистальной части сегмента А1 и передней соединительной артерии [5, 9, 11, 12]. Эта сеть необходима не только для коллатерального кровотока в корковых сосудах передней мозговой артерии, но и для питания передней части гипоталамуса через перинфундибулярную сеть. Впоследствии, даже при выраженной окклюзии в проксимальном направлении экстрадуральной части, внутренняя сонная артерия может реваскуляризоваться через заднюю гипофизарную ветвь менингогипофизарного ствола внутренней сонной артерии. Это обеспечивает высокую эффективность развития коллатерального кровообращения в данной области головного мозга.

Другой лептоменингеальный коллатеральный путь соединяет заднюю соединительную артерию с передней ворсинчатой артерией и способен восстанавливать кровоток в последней при ее окклюзии в области устья [10].

#### Дурально-кортикальная система

Дурально-кортикальная сеть включает менингеальные ветви внутренней сонной артерии, наружной сонной артерии и вертебробазилярной системы. В состав этой сети входят передняя и задняя решетчатые артерии (менингеальные ветви передней и задней решетчатых артерий), артерия серпа мозга, тенториальные ветви внутренней сонной артерии (кровооснабжающие намет мозжечка и серп мозга), задняя менингеальная ветвь задней нижней мозжечковой артерии или позвоночной артерии, менингеальные ветви передней нижней мозжечковой артерии и задней мозговой артерии, а также средняя менингеальная артерия [5].

Решетчатые дурально-кортикальные коллатерали развиваются на ранних этапах гипоперфузии, предположительно потому, что коллатеральное кровоснабжение через лептоменингеальную систему между задней и передней мозговыми артериями не позволяет полностью компенсировать дефицит кровотока в лобных и лобно-орбитальных областях мозга [5].

Вероятно, эти дурально-кортикальные связи возникают в зонах, где сосудистая сеть скальпа и перикраниальных мышц контактирует с дуральной и пиальной артериальными системами, а также в местах впадения мостиковых вен в синусы твердой мозговой оболочки. В процесс также могут вовлекаться грануляции паутинной оболочки или связи между твердой мозговой оболочкой и мозгом, осуществляемые через артерии или нервы [13].

Предполагается, что в зависимости от уровня окклюзии все ветви твердой мозговой оболочки могут быть вовлечены в процесс коллатерального кровообращения, по крайней мере в некоторой степени [14].

#### **Развитие коллатерального кровоснабжения в области внутренних пограничных зон**

При гемодинамических нарушениях, вызванных сужением просвета сосудов во внутренних пограничных зонах, наблюдается развитие коллатерального кровоснабжения. В ответ на гипоперфузию формируются глубокие паренхиматозные анастомотические сети, соединяющие перфорирующие базальные сосуды с дистальными корковыми ветвями [6, 7, 15–18]. В формировании этих сетей участвуют ветви внутренней сонной и основной артерий, и их можно классифицировать в зависимости от сосудов-источников, обеспечивающих приток крови.

#### **Зоны кровоснабжения, обеспечиваемые внутренней сонной артерией**

Согласно классификации Бутилье (Bouthillier), внутренняя сонная артерия имеет восемь сегментов в направлении от проксимального конца: шейный (от бифуркации до входа в сонный канал), каменистый (в сонном канале), рваного отверстия (проходит в полости черепа над рваным отверстием), кавернозный (через кавернозный синус), клиновидный (между проксимальным и дистальным дуральными кольцами), офтальмический (от дистального дурального кольца до места отхождения задней соединительной артерии), коммуникантный (до отхождения передней ворсинчатой артерии) и хориоидальный (до бифуркации на переднюю и среднюю мозговые артерии) [3]. Глубокие паренхиматозные сети формируются из сосудов коммуникантного и хориоидального сегментов [19].

**Ветви коммуникантного сегмента.** От этого сегмента отходят перфорирующие артерии, которые проходят через промежуточный мозг к латеральной части полосатого тела. Эти перфорирующие артерии образуют анастомозы с медуллярными артериями, берущими начало от пиальных сетей на поверхности полушарий мозга и направляющимися вентрикулопетально к стенке боковых желудочков [20, 21]. Данное сплетение располагается на теле бокового желудочка [14].

Помимо описанных выше сосудов, от коммуникантного сегмента отходит задняя соединительная артерия, которая также отдает перфорирующие ветви к глубоким слоям белого вещества головного мозга. Эти сосуды направляются к стенкам боковых желудочков, формируя субэпендимальную сеть в перивентрикулярной зоне. Выходя из нее, эти артерии анастомозируют с медуллярными артериями [5, 22].

**Ветви хориоидального сегмента.** От хориоидального сегмента (или горизонтального сегмента А1 передней мозговой артерии) отходят 7–8 перфорирующих и медиальных стриарных артерий. Они проходят через переднемедиальную часть переднего продырявленного вещества над зрительным нервом и хиазмой [3]. Эти сосуды обычно кровоснабжают области передней части гипоталамуса, медиальную треть передней спайки, переднюю ножку внутренней капсулы, головку хвостатого ядра и иногда бледный шар [3, 23]. Эти артерии анастомозируют с латеральными стриар-

ными (лентикулостриарными) артериями, в которых кровоток направляется ретроградно к сегменту М2 средней мозговой артерии [5, 14, 22].

Лентикулостриарные артерии отходят от проксимальной части средней мозговой артерии (сегмент М1), проникают в мозг через латеральные две трети переднего продырявленного вещества и кровоснабжают бледный шар, скорлупу, внутреннюю капсулу и головку хвостатого ядра [3, 23, 24].

Кроме того, передняя ворсинчатая артерия, отходящая от этого сегмента, является источником сосудов, формирующих несколько анастомозов в паренхиме белого вещества. Во-первых, артерия крючка (*artery of uncus*) имеет переднелатеральное направление к височной доле, где она анастомозирует с передней височной ветвью средней мозговой артерии. Во-вторых, латеральные и медиальные интравентрикулярные ветви передней ворсинчатой артерии участвуют в формировании субэпендимальной сети: после отхождения от сосудистого сплетения желудочков они анастомозируют с медуллярными артериями в перивентрикулярной зоне [5]. Также возможны анастомозы этих артерий с медиальными (от сегмента А1 передней мозговой артерии) и латеральными (от сегмента М2 средней мозговой артерии) стриарными артериями [14]. А латеральные интравентрикулярные ветви имеют связи с артериями ограда и островка (ветвями сегмента М2 средней мозговой артерии) [5, 22].

#### **Зоны кровоснабжения, обеспечиваемые задней мозговой артерией**

Сегмент Р1 задней мозговой артерии простирается от места деления основной артерии до места отхождения задней соединительной артерии. От него берут начало таламоперфорирующие ветви, входящие в группу артерий межножковой ямки. Эти перфорирующие артерии проникают в мозг через ростральную часть заднего продырявленного вещества и дивергируют в таламусе. Далее эти артерии распространяются в двух направлениях. Во-первых, они формируют интраталамическую сеть и образуют коллатерали с сосудами смежных территорий. Во-вторых, они направляются в перивентрикулярное пространство нижнего (височного) рога боковых желудочков, где присоединяются к субэпендимальной сети и анастомозируют с медиальными и латеральными стриарными артериями, а также с медуллярными артериями.

Кроме того, от сегмента Р1–Р2 задней мозговой артерии отходит медиальная задняя ворсинчатая артерия (*medial posterior choroidal artery*), которая направляется к крыше III желудочка. Она отдает ветви, идущие от цистернальной части этой артерии к различным отделам мозга, включая ножки мозга, метаталамус, покрывку, верхние холмики четверохолмия, подушку таламуса, шишковидную железу (эпифиз), заднюю спайку, кору затылочной доли и медиальную часть таламуса. Эта артерия дает два типа ветвей. Медиальные ветви заканчиваются в сосудистом сплетении III желудочка, а также проходят через отверстие Монро между сводом и таламусом, участвуя в формировании сплетения боковых желудочков. Латеральные ветви проходят через поводок (*habenula*) и разветвляются в переднемедиальной части таламуса, образуя субэпендимальные ветви, которые анастомозируют с латеральными и ме-

диальными стриарными артериями. Эти субэпендимальные артерии также кровоснабжают стенки тела и переднего рога боковых желудочков.

Латеральная задняя ворсинчатая артерия (*lateral posterior choroidal artery*) отходит от сегмента P2 задней мозговой артерии. Ее ветви кровоснабжают сосудистое сплетение центральной части боковых желудочков, прозрачную перегородку и сосудистое сплетение височного рога. Субэпендимальные ветви этой артерии перфузируют тело боковых желудочков и образуют анастомозы с перикаллозной артерией из системы передней мозговой артерии. Ветви, отходящие от цистернальной части этой артерии, кровоснабжают различные отделы мозга, включая таламус, метаталамус, свод, ножки мозга, шишковидную железу, валик мозолистого тела, гиппокамп, височную и затылочную кору, а также покрывку.

Таким образом, в глубине белого вещества головного мозга выделяют три различные анастомотические сети: субэпендимальную, интраталамическую и интрастриарную.

### Эпиталамический круг

S. Eliava и соавт. [6] описали еще один глубокий артериальный анастомоз, названный эпиталамическим кругом. Они обнаружили три зоны анастомозирования между передней и задними ворсинчатыми артериями, которые формируют глубокий круг (рис. 3). Первая зона образована ветвями передней ворсинчатой и латеральной задней ворсинчатой артерий. Эта зона расположена рядом с латеральным коленчатым телом в дистальной части цистерны передней ворсинчатой артерии. В эту сеть анастомозов могут также включаться артерии гиппокампа, отходящие от задней мозговой, передней ворсинчатой, а также передней и нижней височных артерий. Вторая зона расположена в области подушки таламуса (*pulvinar*), где сходятся ветви латеральной и медиальной задних ворсинчатых артерий. Третья зона образована анастомозом правой и левой медиальных и латеральных задних ворсинчатых артерий и расположена в основании III желудочка и хвостатого ядра.

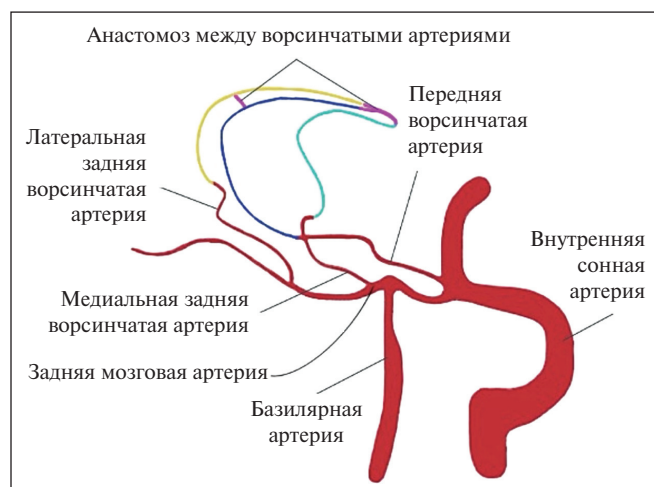


Рис. 3. Анастомозы ворсинчатых артерий  
Fig. 3. Anastomoses of choroidal arteries

Таким образом, эпиталамический круг представляет собой альтернативный путь распределения крови как из системы сонной артерии, так и из вертебробазилярной системы [6, 7].

### Предполагаемая роль анастомозов смежных (пограничных) зон

Коллатеральное артериальное кровообращение головного мозга является одним из наиболее значимых факторов в лечении острого ишемического инсульта и прогнозирования исходов терапии. Накапливается все больше данных, свидетельствующих о том, что количество анастомозов позволяет прогнозировать скорость прогрессирования инсульта, реканализацию, вероятность геморрагической трансформации и другие показатели [25, 26].

Во-первых, развитие коллатерального кровообращения до начала лечения у пациентов с острым ишемическим инсультом влияет на уровень реваскуляризации при эндоваскулярной терапии. Оценка распространенности анастомозов является важнейшим фактором, влияющим на успех терапии, в то время как метод лечения (внутривенное введение тканевого активатора плазминогена) или место окклюзии не оказывают существенного влияния на исход лечения [1, 27].

Во-вторых, геморрагическая трансформация — наиболее опасное осложнение эндоваскулярной терапии при остром ишемическом инсульте — может быть спрогнозирована по степени развития сосудистых анастомозов. Терапевтическая реваскуляризация на фоне слабого развития коллатеральных сетей ведет к более высокой частоте геморрагической трансформации и ухудшению клинического и неврологического статуса. Недостаточное развитие анастомозов может также ограничивать эффективную реперфузию даже при успешной реваскуляризации, поскольку риск геморрагической конверсии может возрасти в сосудах, расположенных дистальнее зоны гипоперфузии. Поэтому необходимо учитывать уровень развития коллатерального кровообращения у каждого пациента [28].

Также стоит отметить, что степень коллатерализации позволяет прогнозировать размер очага и скорость прогрессирования инсульта. Наличие развитых сетей значительно уменьшает и замедляет гибель зон пенумбры (структур, обладающих потенциалом к восстановлению). Развитое коллатеральное кровоснабжение, наряду с успешной реканализацией окклюзии, может способствовать реперфузии ишемизированной области [29]. Исследования показали, что именно наличие достаточного количества анастомозов, а не время от начала инсульта до визуализации, определяет распространение очага инсульта в течение первых 6 ч с момента манифестации заболевания [30].

### Обсуждение

Хотя многие авторы описывали коллатеральные сети в смежных зонах головного мозга, их природа и значение до сих пор полностью не изучены. Приведенное выше описание анастомозов основано преимущественно на происхождении сосудов, формирующих эти сети [5].

Наружные пограничные зоны расположены ближе к поверхности коры, откуда берут начало пенетрирующие

артерии. Таким образом, они имеют больше шансов на развитие коллатерального кровоснабжения через лептоменингеальные или дуральные анастомозы по сравнению с внутренними зонами [4].

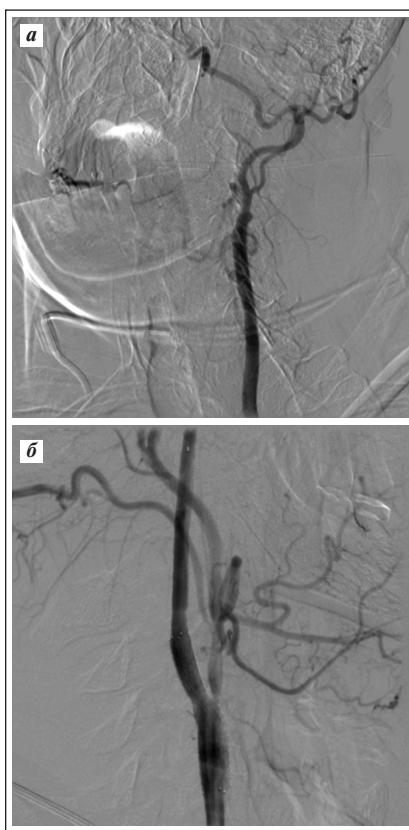
Ранее считалось, что церебральные артерии с поверхности мозга не соединяются с базальными перфорирующими артериями в глубокой паренхиме мозга в области внутренних зон водораздела [31]. Однако общепризнано, что капиллярные и прекапиллярные анастомозы существуют во всех структурах полушарий головного мозга [32], а отсутствие анастомозов между глубокими церебральными (медуллярными), стриарными, таламическими и ворсинчатыми артериями объясняется их классификацией как конечных (терминальных) артерий [33]. Именно по этой причине между ними выделяют пограничные зоны [34].

Тем не менее современные комплексные ангиографические изображения демонстрируют наличие связей между ворсинчатыми и стриарными артериями, ворсинчатыми и церебральными артериями, стриар-



**Рис. 4.** Ангиограмма пациентки 75 лет. Атеросклероз экстракраниальных отделов сонных артерий. Выполнено эндоваскулярное вмешательство — стентирование правой общей и внутренней сонных артерий

**Fig. 4.** Angiogram of a 75-year-old female patient. Atherosclerosis of the extracranial sections of the carotid arteries. Endovascular intervention performed — stenting of the right common and internal carotid arteries



**Рис. 5.** Ангиограммы пациента 80 лет. Атеросклероз экстракраниальных отделов сонных артерий.

Окклюзия левой общей и внутренней сонных артерий (а). Выполнено эндоваскулярное вмешательство — стентирование левой общей и внутренней сонных артерий (б)

**Fig. 5.** Angiograms of an 80-year-old patient. Atherosclerosis of the extracranial carotid arteries. Occlusion of the left common and internal carotid arteries (a). Endovascular intervention performed — stenting of the left common and internal carotid arteries (b)

ными и церебральными артериями, таламическими и стриарными артериями, таламическими и церебральными артериями, а также между гипоталамическими и стриарными/церебральными артериями. Во всех описанных случаях связь осуществлялась между дистальными отделами сосудов, за исключением одной таламоперфорирующей артерии, которая также имела соединение с проксимальным сегментом стриарной артерии. Эти анастомозы идентифицируются в области перивентрикулярного субэпендимального белого вещества вокруг боковых желудочков. Участие и распределение этих сосудов в сети неоднородно [35] и, предположительно, зависит от первичного расположения сосуда по отношению к ближайшей стенке желудочка и стадии прогрессирования заболевания, такого как церебральная болезнь мелких сосудов (cerebral small vessel disease, CSVD), которая устойчиво ассоциируется с сосудистыми когнитивными нарушениями (vascular cognitive impairment, VCI) [36]. Развитие этих анастомозов позволяет повысить перфузию в ишемизированных участках мозга при сосудистой реваскуляризации [34] (рис. 4, 5).

Глубокие перфорирующие сосуды, берущие начало от основания мозга, образуют коллатеральные анастомозы с корковыми и медуллярными сосудами на дорсальной стороне так называемых смежных (пограничных) зон, что играет важную роль в развитии болезни мелких сосудов и других патологических состояний. Последствия болезни мелких сосудов связывают с недостаточным развитием коллатералей при окклюзирующих инсультах крупных сосудов; вследствие этого у пациентов со слабо развитыми коллатералами чаще обнаруживаются расширенные периваскулярные пространства и отмечаются более высокие показатели тяжести исходов болезни мелких сосудов [37].

#### Заключение

Таким образом, при хронических окклюзионных цереброваскулярных заболеваниях в смежных (пограничных) зонах формируются обширные анастомотические сети. Коллатеральная сеть анастомозов состоит из двух поверхностных менингеальных сетей: лептоменингеальной и дурально-кортикальной, а также трех глубоких паренхиматозных сетей: субэпендимальной (включая эпителиальную), интраталамической и интрасстриарной. Точное описание этих сетей может помочь в диагностике стадии заболевания, определении локализации окклюзии и прогнозировании результатов лечения.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Ginsberg MD. The cerebral collateral circulation: relevance to pathophysiology and treatment of stroke. *Neuropharmacology*. 2018 May;134(Pt B):280-92. doi: 10.1016/j.neuropharm.2017.08.003
2. Juergenson I, Mazzucco S, Tinazzi M. A typical example of cerebral watershed infarct. *Clin Pract*. 2011 Dec;1(4):e114. doi: 10.4081/cp.2011.e114
3. Takahashi S. Neurovascular imaging: MRI and microangiography. London: Springer; 2011.
4. Mangla R, Kolar B, Almast J, Ekholm SE. Border zone infarcts: pathophysiologic and imaging characteristics. *Radiographics*. 2011 Sep-Oct;31(5):1201-14. doi: 10.1148/rg.315105014
5. Baltasavias G, Khan N, Valavanis A. The collateral circulation in pediatric moyamoya disease. *Childs Nerv Syst*. 2015 Mar;31(3):389-98. doi: 10.1007/s00381-014-2582-5
6. Eliava S, Shekhtman O, Varyukhina M. Microsurgical angioarchitectonics of deep brain structures and deep arterial anastomoses. *World Neurosurg*. 2019 May;126:e1092-8. doi: 10.1016/j.wneu.2019.02.213
7. Элиава ШШ. Микрохирургическая ангиоархитектоника глубинных структур головного мозга и глубинных межартериальных анастомозов. *Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко*. 2005;(4):3-7. Eliava ShSh. Microsurgical angioarchitectonics of depth structures of the brain and depth interarterial anastomoses. *Voprosy neyrokhirurgii im. N.N. Burdenko*. 2005 Jul-Sep;(4):3-7; discussion 8 (In Russ.).
8. Bajzer CT. Middle cerebral artery. In: Guide to peripheral and cerebrovascular intervention. London: Remedica; 2004.
9. Bonasia S, Ciccio G, Smajda S, et al. Angiographic analysis of natural anastomoses of the circle of Willis in a pediatric population and its clinical relevance. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2019 Dec;40(12):2066-72. doi: 10.3174/ajnr.A6291
10. Lasjaunias P, Berenstein A, ter Brugge KG. Clinical vascular anatomy and variations. Berlin, Heidelberg: Springer; 2001.
11. Baker HL Jr. The angiographic delineation of sellar and parasellar masses. *Radiology*. 1972 Jul;104(1):67-78. doi: 10.1148/104.1.67
12. Marinkovic SV, Milisavljevic MM, Marinkovic ZD. Microanatomy and possible clinical significance of anastomoses among hypothalamic arteries. *Stroke*. 1989 Oct;20(10):1341-52. doi: 10.1161/01.STR.20.10.1341
13. Matsushima Y, Inaba Y. The specificity of the collaterals to the brain through the study and surgical treatment of moyamoya disease. *Stroke*. 1986 Jan-Feb;17(1):117-22. doi: 10.1161/01.STR.17.1.117
14. Baltasavias G, Khan N, Filipce V, Valavanis A. Selective and superselective angiography of pediatric moyamoya disease angioarchitecture in the posterior circulation. *Interv Neuroradiol*. 2014 Jul-Aug;20(4):403-12. doi: 10.15274/INR-2014-10041
15. Suzuki J, Kodama N. Moyamoya disease – a review. *Stroke*. 1983 Jan-Feb;14(1):104-9. doi: 10.1161/01.STR.14.1.104
16. Takanashi J. Moyamoya disease in children. *Brain Dev*. 2011 Mar;33(3):229-34. doi: 10.1016/j.braindev.2010.09.003
17. Takebayashi S, Matsuo K, Kaneko M. Ultrastructural studies of cerebral arteries and collateral vessels in moyamoya disease. *Stroke*. 1984 Jul-Aug;15(4):728-32. doi: 10.1161/01.STR.15.4.728
18. Scott RM, Smith JL, Robertson RL, et al. Long-term outcome in children with moyamoya syndrome after cranial revascularization by pial synangiosis. *J Neurosurg*. 2004 Feb;100(2 Suppl Pediatrics):142-9. doi: 10.3171/ped.2004.100.2.0142
19. Bonasia S, Smajda S, Ventura E, Robert T. Cortical and perforating branches of the middle cerebral artery. In: Robert T, Bonasia S, Bojanowski MW, editors. Anatomy of cranial arteries, embryology and variants. Cham: Springer; 2023. P. 129-45.
20. Nonaka H, Akima M, Hatori T, et al. Microvasculature of the human cerebral white matter: arteries of the deep white matter. *Neuropathology*. 2003 Jun;23(2):111-8. doi: 10.1046/j.1440-1789.2003.00486.x
21. Smirnov M, Destrieux C, Maldonado IL. Cerebral white matter vasculature: still uncharted? *Brain*. 2021 Dec 31;144(12):3561-75. doi: 10.1093/brain/awab273
22. Nuzhat A, Al Akeel A, Al Husain M. Angiographic analysis of the variation of arterial collaterals in moyamoya and atherosclerosis at a tertiary care center in Saudi Arabia. *Saudi Med J*. 2020 May;41(5):459-65. doi: 10.15537/smj.2020.5.25050
23. Самотесов ПА, Дралюк МГ, Шнякин ПГ. Вариантная анатомия центральных перфорирующих артерий Виллизиевого многоугольника. *Сибирский медицинский журнал*. 2010;(2):22-5. Samotesov PA, Dralyuk MG, Shnyakin PG. Variant anatomy of central perforating arteries of Willis polygon. *Sibirskij medicinskij zhurnal*. 2010;(2):22-5 (In Russ.).
24. Шнякин ПГ, Самотесов ПА, Дралюк НС и др. Варианты строения лентикюлостриарных артерий в зависимости от длины сфеноидального сегмента средней мозговой артерии у лиц с разной формой черепа. *Вопросы реконструктивной и пластической хирургии*. 2012;2(41):34-7. Shnyakin PG, Samotesov PA, Dralyuk NS, et al. Variants of lenticulostriatal artery structure depending on the length of the sphenoidal segment of the middle cerebral artery in persons with different cranial shape. *Problems of Reconstructive and Plastic Surgery*. 2012;2(41):34-7 (In Russ.).
25. Fukuda KA, Liebeskind DS. Evaluation of collateral circulation in patients with acute ischemic stroke. *Radiol Clin North Am*. 2023 May;61(3):435-43. doi: 10.1016/j.rcl.2023.01.002
26. Mayer PL. The ontogenetic and phylogenetic basis of cerebrovascular anomalies and variants. *Brain Surg*. 1993;1:691-792.
27. Bang OY, Saver JL, Kim SJ, et al. Collateral flow predicts response to endovascular therapy for acute ischemic stroke. *Stroke*. 2011 Mar;42(3):693-9. doi: 10.1161/STROKEAHA.110.595256
28. Bang OY, Saver JL, Kim SJ, et al; UCLA-Samsung Stroke Collaborators. Collateral flow averts hemorrhagic transformation after endovascular therapy for acute ischemic stroke. *Stroke*. 2011 Aug;42(8):2235-9. doi: 10.1161/STROKEAHA.110.604603
29. Soares BP, Chien JD, Wintermark M. MR and CT monitoring of recanalization, reperfusion, and penumbra salvage: everything that recanalizes does not necessarily reperfuse! *Stroke*. 2009 Mar;40(3):24-7. doi: 10.1161/STROKEAHA.108.526814
30. Cheng-Ching E, Frontera JA, Man S, et al. Degree of collaterals and not time is the determining factor of core infarct volume within 6 hours of stroke onset. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2015 Jul;36(7):1272-6. doi: 10.3174/ajnr.A4274
31. Hunter J. The works of John Hunter, F.R.S.; with notes. *Br Foreign Medico Chir Rev*. 1859 Jul;24(47):131-48.
32. Nelson MD Jr, Gonzalez-Gomez I, Gilles FH. The search for human telencephalic ventriculofugal arteries. *AJNR Am J Neuroradiol*. 1991 Mar-Apr;12(2):215-22.
33. Plets C, De Reuck J, Vander Eecken H, Van den Bergh R. The vascularization of the human thalamus. *Acta Neurol Belg*. 1970;70(6):687-770.
34. Moody DM, Bell MA, Challa VR. Features of the cerebral vascular pattern that predict vulnerability to perfusion or oxygenation deficiency: an anatomic study. *AJNR Am J Neuroradiol*. 1990 May;11(3):431.
35. Yakovlev P. Telencephalon “impar”, “semipar” and “totopar”. (Morphogenetic, tectogenetic and architectonic definitions). *Int J Neurol*. 1968;6(3-4):245-65.
36. Cheng Z, Nie W, Leng J, et al. Amygdala and cognitive impairment in cerebral small vessel disease: structural, functional, and metabolic changes. *Front Neurol*. 2024;15:1398009. doi: 10.3389/fneur.2024.1398009
37. Lin MP, Brott TG, Liebeskind DS, et al. Collateral recruitment is impaired by cerebral small vessel disease. *Stroke*. 2020 May;51(5):1404-10. doi: 10.1161/STROKEAHA.119.027661

Поступила / отрецензирована / принята к печати  
Received / Reviewed / Accepted  
30.09.2025 / 27.12.2025 / 28.12.2025

### **Заявление о конфликте интересов / Conflict of Interest Statement**

Исследование не имело спонсорской поддержки. Конфликт интересов отсутствует. Авторы несут полную ответственность за предоставление окончательной версии рукописи в печать. Все авторы принимали участие в разработке концепции статьи и написании рукописи. Окончательная версия рукописи была одобрена всеми авторами.

The investigation has not been sponsored. There are no conflicts of interest. The authors are solely responsible for submitting the final version of the manuscript for publication. All the authors have participated in developing the concept of the article and in writing the manuscript. The final version of the manuscript has been approved by all the authors.

Николенко В.Н. <https://orcid.org/0000-0002-6033-3427>  
Гуриелидзе Л.М. <https://orcid.org/0009-0003-2912-4277>  
Никитина А.Т. <https://orcid.org/0000-0002-9338-8168>  
Павлив М.П. <https://orcid.org/0000-0002-7829-0031>  
Польмагомедова Ф.Р. <https://orcid.org/0000-0002-3439-7160>  
Беличенко А.А. <https://orcid.org/0009-0002-7934-7172>  
Ризаева Н.А. <https://orcid.org/0000-0003-4033-1202>  
Гаврюшова Л.В. <https://orcid.org/0000-0002-5976-4967>  
Оганесян М.В. <https://orcid.org/0000-0001-6432-5179>