



Оценка влияния коллатерального кровотока на параметры церебральной перфузии в группе пациентов с окклюзирующим атеросклеротическим поражением брахиоцефальных артерий

Вишневская А.В., Кондратьев Е.В.

ФГБУ "Институт хирургии им. А.В. Вишневского" Минздрава России, Москва, Россия

Assessment of Collateral Circulation Effect on the Cerebral Perfusion Changes in Group of Patients with Atherosclerotic Occlusion of the Main Brachiocephalic Arteries

Vishnevskaya A.V., Kondratyev E.V.

A.V. Vishnevsky Institute of Surgery, Moscow, Russia

Цель исследования: оценка влияния строения виллизиева круга на изменение параметров КТ-перфузии головного мозга в группе пациентов с полисегментарным атеросклеротическим поражением брахиоцефальных артерий и наличием односторонней окклюзии.

Материал и методы. В исследование включены 24 пациента с полисегментарным атеросклеротическим поражением брахиоцефальных артерий, которым было проведено комплексное обследование, включающее бесконтрастную МСКТ головного мозга, МСКТ-перфузию и КТ-ангиографию. Критерием включения являлась окклюзия одной из брахиоцефальной артерий. Распределение пациентов по подгруппам с последующей оценкой церебральной гемодинамики проводилось в зависимости от анатомического строения виллизиева круга. Дополнительно оценивались наличие постишемических изменений головного мозга и распространенность стенозирующего атеросклеротического поражения магистральных сосудов на контралатеральной окклюзии стороне.

Результаты. Более чем у половины пациентов (66,7%) окклюзия магистральной артерии шеи сочеталась с тяжелым атеросклеротическим поражением сосудов на контралатеральной стороне, в том числе в 6 случаях с критическим стенозом. В 59% имело место поражение вертебробазилярных артерий. Оценка межполушарной разницы перфузии показала значимые различия между ипсилатеральной и контралатеральной сторонами поражения в бассейне кровоснабжения средней мозговой артерии (СМА) по показателям вре-

мени транзита крови (МТТ) и скорости мозгового кровотока (СВФ). Также выявлена зависимость между величиной межполушарной разницы перфузии по показателю МТТ и замкнутостью виллизиева круга. Наличие острого нарушения мозгового кровообращения в анамнезе или тяжесть сочетанного атеросклеротического поражения сосудов значимо не влияла на выраженность межполушарной разницы перфузии в выбранной группе пациентов.

Заключение. При исследовании группы пациентов с односторонней атеросклеротической окклюзией магистральных артерий шеи выявлена зависимость выраженности межполушарной разницы перфузии в бассейне СМА и замкнутостью виллизиева круга.

Ключевые слова: КТ-перфузия, головной мозг, атеросклероз, окклюзия, брахиоцефальные артерии.

Aim. Comparative evaluation between segmental anatomy of the circle of Willis and brain CT-perfusion parameters, in group of patient with widespread atherosclerosis and unilateral brachiocephalic artery occlusion.

Materials and methods. 24 patient, who underwent native brain CT, brain CT-perfusion and CT-angiography were included in our study. All patients had unilateral atherosclerotic occlusion one of the main brachiocephalic artery. Basic group of patients was carried out by subgroups, depending on the anatomical structure of the circle of Willis. CT-perfusion changes were compared between subgroups.



Presence of post-ischemic changes and severity of atherosclerotic lesions on the contrary side were described.

Results. More than half of patients (66.7%) had unilateral carotid artery occlusion, combined with contralateral carotid stenosis, which includes 6 cases of critical stenosis. In 59% of cases different steno-occlusive lesions of vertebrobasilar arteries was found. Inter-hemispheric cerebral perfusion differences were significant between the ipsilateral and contrary side in a ROI of arteria cerebri media (ACM). Also, significant ratio between the value of inter-hemispheric difference and anatomic variations of the circle of Willis were found. No relation was found between inter-hemispheric perfusion difference and presence of post-ischemic changes or severity of the contralateral stenosis.

Conclusion. Between different, heterogeneous subgroups with different variations of the circle of Willis, significant difference in inter-hemispheric cerebral perfusion was present.

Key words: CT-perfusion, brain, atherosclerosis, occlusion, brachiocephalic arteries.

Введение

По данным литературы, до 85% нарушений мозгового кровообращения, занимающих ведущее место среди причин смертности в мире, носят ишемический характер. В свою очередь, по данным В.А. Покровского, ведущей причиной ишемии тканей головного мозга является нарушение проходимости экстракраниальных артерий вследствие атеросклеротического поражения, наиболее часто носящее сегментарный характер, с локализацией в области бульбуса внутренней сонной артерии (ВСА) [1, 2]. Эффективность хирургического лечения гемодинамически значимых стенозов брахиоцефальных артерий как метода профилактики цереброваскулярных осложнений доказана рандомизированными исследованиями [3, 4]. В последние годы большое внимание уделяется вопросам точного прогнозирования интраоперационных и послеоперационных осложнений и достоверности предоперационной диагностики [5, 6]. Важное место в предоперационной подготовке занимает как диагностика распространенности и выраженности атеросклеротического поражения, так и оценка функционального состояния мозгового кровотока. Достаточно хорошо изучены системы коллатерального церебрального

кровотока, которые в большой степени обеспечивают компенсаторные механизмы, предотвращающие ишемию тканей головного мозга [7]. Однако в последние годы значительно расширился спектр методов диагностики, позволяющих изучить не только анатомическое и функциональное состояние сосудов головного мозга, но и достоверно, количественно оценить тканевую перфузию и ее изменения в динамике. Среди множества методов визуализации и оценки мозговой гемодинамики КТ-перфузионное исследование занимает одно из ведущих положений ввиду его широкой доступности, малой инвазивности, быстроты проведения и минимальных противопоказаний [8–10]. В ряде исследований доказана высокая достоверность результатов КТ-перфузии [11, 12]. Однако, несмотря на относительно большое количество исследований, все еще достоверно не определены зависимости изменения церебральной перфузии при мультифокальном поражении магистральных артерий или другой сопутствующей патологии, позволяющие прогнозировать течение заболевания или его осложнения.

Цель исследования

Оценка анатомического состояния интракраниального коллатерального кровотока и его влияния на изменение параметров КТ-перфузии головного мозга в группе пациентов с односторонней окклюзией брахиоцефальных артерий на фоне полисегментарного атеросклеротического поражения.

Материал и методы

В ретроспективное исследование, выполненное на базе Института хирургии им. А.В. Вишневского, включено 24 пациента (21 мужчина и 3 женщины, средний возраст $64,6 \pm 7,1$ года), которым было проведено исследование головного мозга, включающее бесконтрастную КТ и КТ-перфузию, а также исследование экстракраниальных и интракраниальных артерий методом КТ-ангиографии.

Критерием включения в исследование являлось выявление односторонней окклюзии ВСА,

Для корреспонденции: Вишневская Анна Вадимовна – 117133 Москва, ул. Академика Варги, дом 40, кв. 94. Тел.: 8-926-129-15-59. E-mail: Vishnevskaja.radiolog@yandex.ru

Вишневская Анна Вадимовна – аспирант отделения лучевых методов исследования Института хирургии им. А.В. Вишневского МЗ РФ; **Кондратьев Евгений Валерьевич** – канд. мед. наук, старший научный сотрудник отделения лучевых методов исследования Института хирургии им. А.В. Вишневского МЗ РФ.

Contact: Vishnevskaya Anna Vadimovna – 117133 Moscow, Academica Vargi str., 40, apt. 94. Phone: +7-926-129-15-59. E-mail: Vishnevskaja.radiolog@yandex.ru

Vishnevskaja Anna Vadimovna – resident of Radiology Department of A.V. Vishnevsky Institute of Surgery; **Kondratiev Evgeny Valerevich** – cand. of med. sci., researcher of Radiology Department of A.V. Vishnevsky Institute of Surgery.

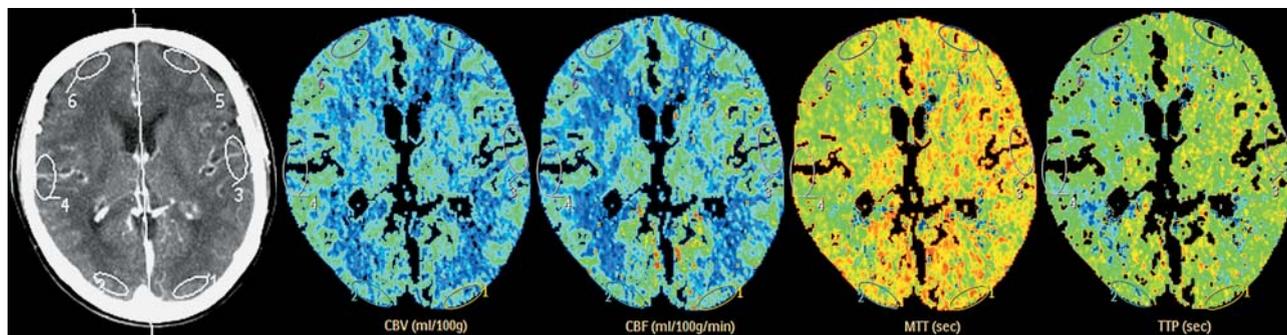


Рис. 1. КТ-перфузионная карта с выбранными регионами интереса в бассейнах задней (1, 2), средней (3, 4) и передней (5, 6) мозговых артерий.

общей сонной артерии или брахиоцефального ствола вследствие атеросклеротического поражения. Критериями исключения были неатеросклеротическая причина окклюзии брахиоцефальных артерий, острая окклюзия и острый период нарушения мозгового кровообращения. Все исследования были удовлетворительного качества для визуальной и количественной оценки данных. КТ проводили на 256-срезовом (Brilliance iCT, Philips Medical Systems Nederland BV) и 64-срезовом аппарате (Brilliance 64, Philips Healthcare, Cleveland, OH) с использованием стандартных и низкодозовых протоколов сканирования.

Бесконтрастное КТ-исследование головного мозга вне зависимости от типа томографа выполняли по стандартному протоколу с толщиной реформированных срезов 2 мм. Оценивались наличие постишемических изменений, их выраженность и расположение.

КТ-перфузионное исследование выполнялось с использованием как стандартных, так и низкодозовых протоколов сканирования со сниженной силой тока на рентгеновской трубке, с применением разного вида реконструкций шумоподавления для получения оптимального качества карт перфузии.

Исследование выполнено на 64-срезовом томографе с применением стандартного протокола сканирования (80 кВ, 120 мАс) и постпроцессорным стандартным алгоритмом реконструкции (FBP) у 11 пациентов, на 256-срезовом томографе с применением стандартных и низкодозовых протоколов у 13 пациентов, из них 5 пациентам проведено исследование с использованием стандартного протокола сканирования (80 кВ, 150 мАс), 5 пациентам – с использованием низкодозового протокола (80 кВ, 100 мАс) и 3 пациентам – с использованием протокола 80 кВ, 50 мАс. При стандартном исследовании для обработки полученных данных применяли FBP, а при использовании низкодозовых протоколов – алгоритм итеративной реконструкции высокого уровня (iDose 5).

Болюсное контрастное усиление включало последовательное введение в локтевую вену 40 мл неионного йодсодержащего контрастного препарата (350–370 мг/мл) и 40 мл физиологического раствора со скоростью 4 мл/с. Постпроцессорный анализ данных проводили на рабочей станции Brilliance Workspase с программным обеспечением Brain Perfusion (Philips Medical Systems Nederland B.V.).

Во всех КТ-перфузионных исследованиях произвольно выбирали один из срезов, оптимально отражающий картину общемозговой гемодинамики. Первым этапом визуально проводили субъективную оценку наличия межполушарной разницы перфузии с использованием 3-балльной шкалы оценки, где “1 балл” соответствовал выявлению слабовыраженной разницы в цветовых характеристиках по одному из показателей перфузии, “2 балла” – хорошо визуализирующейся разнице показателей по более чем одной карте, “3 балла” – выраженной разнице в цветовых показателях, свидетельствующих о наличии критического снижения параметров перфузии. Вторым этапом количественно оценивали основные параметры перфузии, такие как объем мозгового кровотока (CBV), скорость мозгового кровотока (CBF) и время транзита крови (MTT), в шести регионах интереса (ROI), расположенных симметрично в правом и левом полушариях, строго в бассейнах кровоснабжения передней (ПМА), средней (СМА) и задней (ЗМА) мозговых артерий (рис. 1). ROI в каждом исследовании выбирались полуавтоматически и располагались в сером веществе больших полушарий вне очагов постишемической трансформации. Сравнение показателей церебральной гемодинамики проводили преимущественно по относительным показателям межполушарной разницы перфузии. Для этого математически рассчитывали процентную межполушарную разницу перфузии отдельно в областях кровоснабжения ПМА, СМА и ЗМА.

**Таблица 1.** Распределение пациентов в зависимости от отсутствия сегментов виллизиева круга

Отсутствие артерий виллизиева круга	ПСА	Правая ЗСА	Левая ЗСА	Правый P1	Левый P1	Правый A1	Левый A1
1 (9 пациентов)	1	2	2	–	–	2	2
2 (7 пациентов)	–	5	5	2	1	1	–
3 (2 пациента)	1	2	2	–	–	1	–

КТ-ангиографию также выполняли на разных томографах с применением как стандартных, так и низкодозовых протоколов, однако все исследования были равно удовлетворительного качества, что позволяло достоверно оценить наличие окклюзии и выраженность сочетанных стенозов как на экстракраниальном, так и на интракраниальном уровне. Отдельно оценивали замкнутость виллизиева круга, включающего в себя 7 сегментов: переднюю (ПСА) и две задние (ЗСА) соединительные артерии, А1 сегменты ПМА и P1 сегменты ЗМА. Все пациенты с незамкнутым виллизиевым кругом были разделены на подгруппы в зависимости от количества отсутствующих сегментов.

Статистическую оценку полученных данных проводили с помощью статистического пакета программного обеспечения IBM SPSS Statistics 20. Учитывая малый объем выборки, использовали непараметрические методы для независимых выборок. Статистическую значимость подтверждали при $p < 0,05$, однако, также учитывая малое число наблюдений и разнородность полученных групп по сопутствующей патологии, при $p < 0,09-0,05$ предполагали наличие тенденции к возникновению значимого различия данных при увеличении выборки.

Результаты и их обсуждение

При ретроспективной оценке данных КТ-ангиографии у всех пациентов было подтверждено наличие односторонней окклюзии одной из магистральных артерий шеи. Правостороннее поражение выявлено у 13 (54,2%) пациентов, левостороннее – у 11 (45,8%). Изолированная окклюзия ВСА определена в 16 случаях, общей сонной артерии – в 4, брахиоцефального ствола – в 2, также в 2 случаях выявлена сочетанная окклюзия общей и внутренней сонных артерий. При дальнейшем анализе у 16 (66,7%) человек дополнительно обнаружено атеросклеротическое поражение контралатеральных артерий, из которых поражение ВСА выявлено у 9 человек, подключичной артерии с наличием стил-синдрома – у 5, а также единичные случаи поражения брахиоцефального ствола и сочетанного поражения нескольких артерий. Сопутствующий критический стеноз магистральных сосудов на контралатеральной окклюзии стороне выявлен в 6 наблюдениях из 16.

Отдельно проводили оценку позвоночных артерий, при которой установлено отсутствие их поражения лишь в 10 (41%) случаях. В 14 (59%) случаях выявлен атеросклеротический односторонний стеноз – у 3 человек, двусторонний стеноз – у 5, односторонняя окклюзия – у 4, двусторонняя окклюзия – у 2 человек.

При оценке интракраниальных артерий и коллатерального церебрального кровотока лишь у 6 (25%) пациентов отмечен замкнутый виллизиев круг с наличием всех 7 сегментов. В зависимости от числа отсутствующих сегментов пациенты были разделены на 3 группы: с отсутствием одного сегмента – 9 пациентов, с отсутствием двух сегментов – 7, с отсутствием трех сегментов – 2. Распределение пациентов представлено в табл. 1.

При оценке данных бесконтрастного исследования головного мозга у 8 (33,3%) пациентов не обнаружено постишемических изменений в больших полушариях головного мозга. Лакунарные кистозные изменения выявлены у 3 (12,5%) пациентов, средних размеров очаги кистозно-глиозной перестройки – у 9 (37,5%), обширные очаги постишемической трансформации – у 4 (16,7%).

При КТ-перфузионном исследовании церебральной гемодинамики при визуальной оценке карт перфузии во всех случаях выявлено наличие межполушарной разницы показателей: незначительной (7 наблюдений), умеренной (8 наблюдений) и выраженной (9 наблюдений) (рис. 2).

Абсолютные значения показателей перфузии в целом по полушарию, ипсилатеральному и контралатеральному окклюзии, значимо не отличались ($p > 0,5$). При оценке показателей перфузии в разных бассейнах кровоснабжения в целом в группе выявлена значимая межполушарная разница по скорости мозгового кровотока (CBV) и времени транзита крови (МТТ) лишь в бассейне кровоснабжения СМА (рис. 3). Средние значения показателей представлены в табл. 2.

Проанализированы показатели перфузии в области кровоснабжения СМА в подгруппах, сформированных в зависимости от количества отсутствующих сегментов виллизиева круга. Были отмечены отсутствие статистически значимой разницы перфузии в контралатеральном и ипсилатеральном полушариях при замкнутом виллизиевом круге по показателю МТТ и CBV ($p = 0,1$), а также лишь

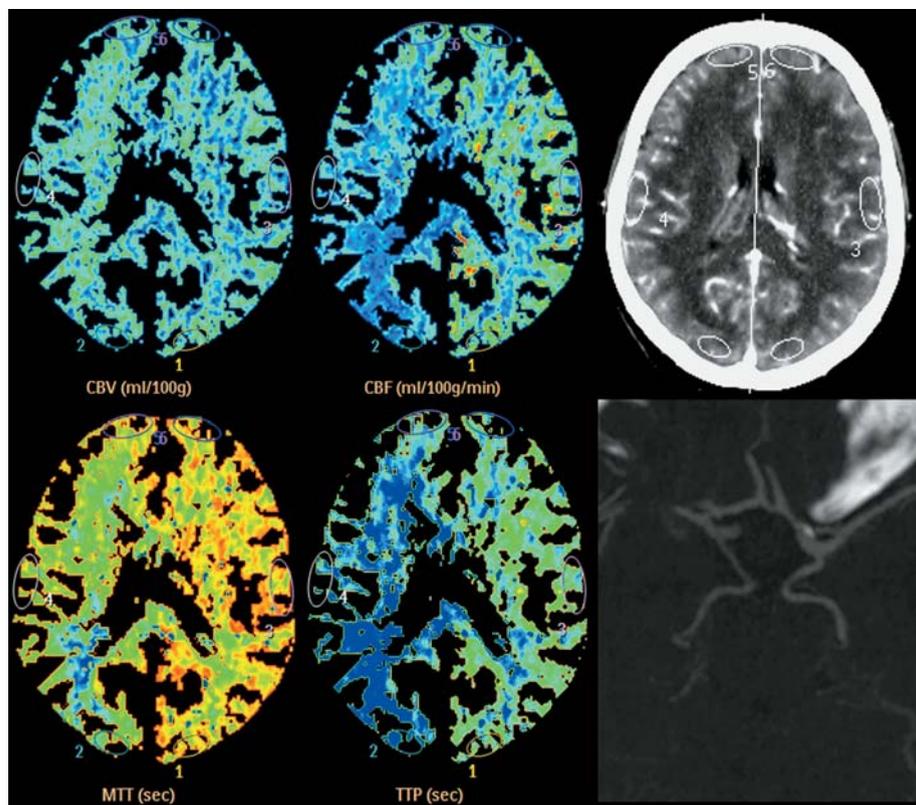


Рис. 2. КТ-перфузионная карта, правосторонний дефицит перфузии при правосторонней окклюзии ВСА и незамкнутом виллизиевом круге (отсутствие сегмента P1 ЗМА справа и слева).

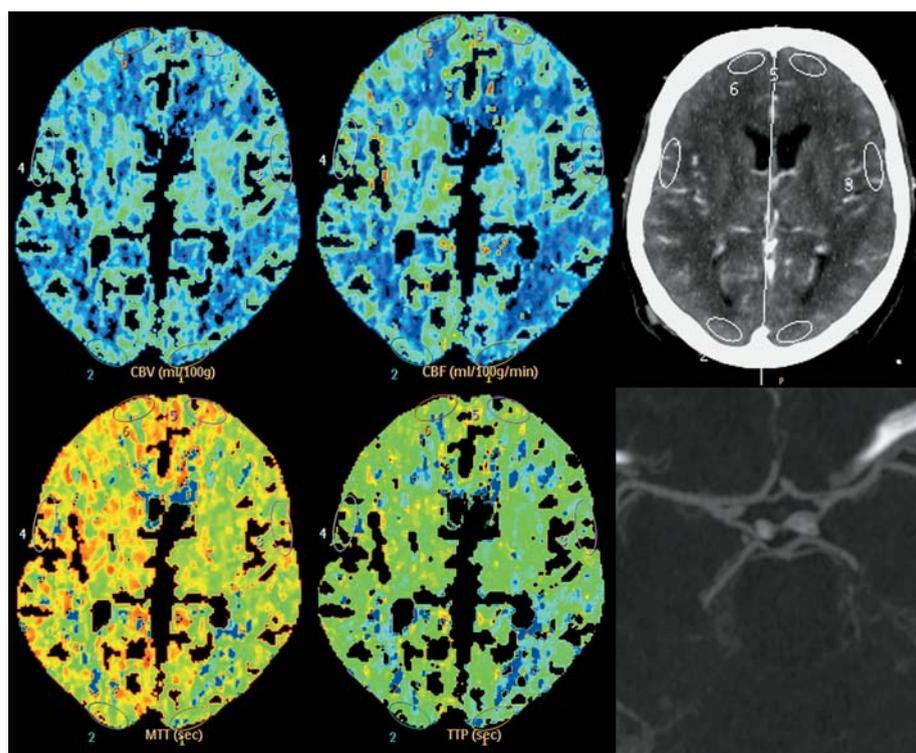


Рис. 3. КТ-перфузионная карта, правосторонний дефицит перфузии при левосторонней окклюзии ВСА и замкнутом виллизиевом круге.



Таблица 2. Средние значения показателей перфузии в бассейне кровоснабжения СМА

Показатель	Ипсилатеральное полушарие	Контралатеральное полушарие	p
CBV, мл/100 г	5,41 ± 1,0	5,3 ± 1,0	>0,05
CBF, мл/100 г/мин	51,07 ± 14,2	67,12 ± 17,45	<0,05
МТТ, с	7,01 ± 2,02	5,4 ± 1,69	<0,05

тенденция к значимому различию в подгруппе с отсутствием одного сегмента (МТТ $p = 0,07$, СВВ $p = 0,058$). В подгруппах с отсутствием двух и более сегментов виллизиева круга значимая межполушарная разница была выявлена по показателю как СВВ, так и МТТ ($p = 0,035$). Межполушарная разница перфузии по показателю МТТ максимально различалась между подгруппами с замкнутым виллизиевым кругом и отсутствием трех его сегментов ($p = 0,046$; корреляция умеренная), в то время как наблюдалась лишь тенденция к различию величины межполушарной разницы перфузии между группами с замкнутым виллизиевым кругом и отсутствием одного ($p = 0,077$) или двух ($p = 0,086$) его сегментов.

Не выявлено значимой зависимости величины межполушарной разницы перфузии от наличия или отсутствия постишемических изменений в больших полушариях головного мозга, а также от их размеров. Аналогично не выявлено значимых различий межполушарной разницы перфузии между подгруппами с наличием и отсутствием сочетанного стенозирующего поражения артерий на контралатеральной окклюзии стороне вне зависимости от его выраженности.

Важнейшую роль в предотвращении перфузионного дефицита в тканях головного мозга при нарушении проходимости брахиоцефальных артерий играют механизмы ауторегуляции и функционирование внутримозговых коллатералей, обеспечивающих равномерность распределения тока крови [7, 13, 14]. Не вызывает сомнений важность достоверной и точной диагностики атеросклеротического поражения брахиоцефальных артерий перед планируемым оперативным лечением, а также значимость определения цереброваскулярного резерва, однако, возможно, не менее важной является и оценка интракраниальных артериальных анастомозов [15–18]. При оценке анатомического строения виллизиева круга выявлена корреляция данных проведенного нами исследования с результатами других авторов. Так, наличие всех 7 сегментов выявлено лишь в 25% случаев (по данным литературы 18–27%) [5, 19, 20] с преимущественным преобладанием отсутствия одной или двух ЗСА [5, 20].

В литературе достаточно хорошо освещена роль виллизиева круга в изменении церебрально-

го кровотока при стенозах и окклюзиях одной из ВСА по данным транскраниального дуплексного сканирования (ТКДС) [14–16, 21], а также и других методов качественной и количественной оценки [16, 22]. Описаны цереброваскулярные гемодинамические изменения во время и после операций реваскуляризации [5, 19]. Однако чаще можно встретить исследования, проведенные в группах пациентов с односторонним атеросклеротическим поражением ВСА или другой изолированной артерии [5, 6, 14, 16, 19–22]. По нашему мнению, это обусловлено несколькими факторами: большим количеством пациентов с данной патологией, выявлением одностороннего значимого поражения артерий на более ранних стадиях развития атеросклероза или при его менее тяжелом течении, более прогнозируемыми результатами диагностики и лечения пациентов с изолированным поражением артерий, в том числе при исследовании изменений церебральной гемодинамики. Но существует значительная группа пациентов с распространенным атеросклерозом, проявляющимся полисегментарными двусторонними стенозами экстра- и интракраниальных артерий. Это послужило причиной проведения исследования, в которое были включены все пациенты, имеющие одностороннюю окклюзию магистральной артерии шеи, без учета наличия и выраженности сочетанного атеросклеротического поражения, что может более полно отразить неоднородность группы пациентов с тяжелым атеросклеротическим поражением сосудов. Критерием исключения также не являлось наличие постишемических изменений головного мозга.

По результатам проведенного анализа, учитывая высокую частоту сочетанного, полисегментарного поражения сосудов, в том числе вертебробазилярного бассейна, подтверждена нецелесообразность оценки параметров перфузии в целом между полушариями головного мозга. При оценке перфузии изолированно, в бассейне кровоснабжения СМА, выявлено статистически значимое снижение параметров на стороне окклюзии, преимущественно по показателю МТТ, что коррелирует с данными других авторов [15, 22]. Также отмечена умеренно выраженная, статистически значимая корреляция между выраженностью межполушарной разницы МТТ в бассейне кровоснабжения



СМА и замкнутостью виллизиева круга. Аналогичная корреляция параметров перфузии выявлена и между подгруппами в зависимости от количества отсутствующих сегментов виллизиева круга. Полученные данные сопоставимы с исследованиями групп пациентов методом КТ-перфузии при наличии изолированных стенозов брахиоцефальных артерий [5]. Также данные сопоставимы с результатами других исследователей, преимущественно проведенных методом ТКДС [15, 19, 21]. Несмотря на то что ТКДС является наименее инвазивным и безопасным методом оценки функционального состояния экстра- и интракраниальных сосудов, а также величины цереброваскулярного резерва, он имеет ряд ограничений и не позволяет визуально и количественно оценить перфузионные особенности тканей головного мозга, а также анатомические особенности строения виллизиева круга.

Проведенное исследование показало значимость внутримозгового коллатерального кровотока при окклюзирующем поражении брахиоцефальных артерий вне зависимости от сочетанного стенозирующего поражения и подтвердило важность комплексного предоперационного обследования пациентов с тяжелым атеросклеротическим поражением сосудов. Следует отметить отсутствие достоверной корреляции параметров перфузии с наличием и объемом постишемических изменений, что не позволяет достоверно говорить о прогнозе декомпенсации ауторегуляторных процессов в зависимости от функционирования коллатерального кровотока.

Заключение

Подтверждена значимость анатомического строения виллизиева круга в процессах ауторегуляции церебральной перфузии при наличии полисегментарного атеросклеротического поражения магистральных артерий шеи в сочетании с односторонней окклюзией.

Список литературы

1. Покровский А.В. Заболевания аорты и ее ветвей. М.: Медицина, 1979. 328 с.
2. Клиническая ангиология. Практическое руководство в 2-х томах. Т. 1.: Под ред. А.В. Покровского. М.: Медицина, 2004. 1700 с.
3. Ferguson G.G., Eliasziw M., Barr H.W. et al. The north american symptomatic carotid endarterectomy trial: Surgical results in 1415 patients. *Stroke*. 1990; 30: 1751–1758.
4. Randomised trial of endarterectomy for recently symptomatic carotid stenosis: final results of the MRC European Carotid Surgery Trial (ECST). European Carotid Surgery Trialists' Collaborative Group. *Lancet*. 1998; 35L: 1379–1387.
5. Амелин М.Е. Оценка результатов стентирования внутренней сонной артерии с помощью перфузионной компьютерной томографии головного мозга: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Новосибирск, 2009. 28 с.
6. Беляев А.Ю. Синдром церебральной гиперперфузии после каротидной эндартерэктомии: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. М., 2011. 28 с.
7. Ганнушкина И.В. Коллатеральное кровообращение в мозге. М.: Медицина, 1973. 254 с.
8. Wintermark M., Maeder P., Thiran J.P. et al. Quantitative assessment of regional cerebral blood flows by perfusion CT studies at low injection rates: a critical review of the underlying theoretical models. *Eur. Radiol.* 2001; 11: 1220–1230.
9. Wintermark M., Sesay M., Barbier E. et al. Comparative overview of brain perfusion imaging technique. *Stroke*. 2005; 36 (9): 83–99.
10. Диагностическая нейрорадиология. Руководство по нейрорадиологии: Под ред. Корниенко В.Н., Пронина И.Н. 2-е изд. в 3 томах (2-й том). М: И.П. "Т.М. Андреева", 2009. 462 с.
11. Wintermark M., Thiran J.P., Maeder P. et al. Simultaneous Measurement of Regional Cerebral Blood Flow by Perfusion CT and Stable Xenon CT: A Validation Study. *Am. J. Neuroradiol.* 2001; 22 (5): 905–914.
12. Kudo K., Terae S., Katoh C. et al. Quantitative Cerebral Blood Flow Measurement with Dynamic Perfusion CT Using the Vascular-Pixel Elimination Method: Comparison with H₂ 15O Positron Emission Tomography. *Am. J. Neuroradiol.* 2003; 24: 419–426.
13. Henderson R.D., Eliasziw M., Fox A.J. et al. Angiographically defined collateral circulation and risk of stroke in patients with severe carotid artery stenosis. (NASCET) Group. *Stroke*. 2000; 31: 128–132.
14. Vernieri F., Pasqualetti P., Matteis M. et al. Effect of collateral blood flow and cerebral vasomotor reactivity on the outcome of carotid artery occlusion. *Stroke*. 2001; 32 (7): 1552–1558.
15. Vernieri F., Pasqualetti P., Diomedì M. et al. Cerebral hemodynamics in patients with carotid artery occlusion and contralateral moderate or severe internal carotid artery stenosis. *J. Neurosurg.* 2001; 94 (4): 559–564.
16. Soenne L., Helenius J., Tatlisumak T. et al. Cerebral hemodynamics in asymptomatic and symptomatic patients with high-grade carotid stenosis undergoing carotid endarterectomy. *Stroke*. 2003; 34 (7): 1655–1661.
17. Liebeskind D.S. Collateral Circulation. *Stroke*. 2003; 34: 2279–2284.
18. Pandya A., Gupta A., Kamel H. et al. Carotid artery stenosis: cost-effectiveness of assessment of cerebrovascular reserve to guide treatment of asymptomatic patients. *Radiology*. 2015; 274 (2): 455–463.
19. Тимина И.Е., Кунцевич Г.И., Дан В.Н. и др. Состояние артериальной и венозной гемодинамики во время каротидной эндартерэктомии по данным транскраниального дуплексного сканирования. Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2002; 3: 58–66.
20. Li Q., Li J., Lv F. et al. A multidetector CT angiography study of variations in the circle of Willis in a Chinese population. *J. Clin. Neurosci.* 2011; 18: 379–383.
21. Hendrikse J., Hartkamp M. J., Hillen B. et al. Collateral ability of the circle of willis in patients with unilateral internal carotid artery occlusion border zone infarcts and clinical symptoms. *Stroke*. 2001; 32: 2768–2773.



22. Waaijer A., van der Schaaf I.C., Velthuis B.K. et al. Reproducibility of quantitative CT brain perfusion measurements in patients with symptomatic unilateral carotid artery stenosis. *Am. J. Neuroradiol.* 2007; 28 (5): 927–932.

References

1. Pokrovsky A.V. Disease of aorta and it's branches. M.: Meditsina, 1979. 328 p. (In Russian)
2. Clinical Angiology. A practical guide in 2 vol. Vol. 1. Ed. A.V. Pokrovsky. M.: Meditsina, 2004. 1700 p. (In Russian)
3. Ferguson G.G., Eliasziw M., Barr H.W. et al. The north american symptomatic carotid endarterectomy trial: Surgical results in 1415 patients. *Stroke.* 1990; 30: 1751–1758.
4. Randomised trial of endarterectomy for recently symptomatic carotid stenosis: final results of the MRC European Carotid Surgery Trial (ECST). European Carotid Surgery Trialists' Collaborative Group. *Lancet.* 1998; 35L: 1379–1387.
5. Amelin M.E. Estimation results of the internal carotid artery stenting via brain CT perfusion. Avtoref. diss. ... kand. med. nauk. Novosibirsk, 2009. 28 p. (In Russian)
6. Beljaev A.Ju. The syndrome of cerebral hyperperfusion after carotid endarterectomy. Avtoref. dis. ... kand. med. nauk. M.: 2011. 28 p. (In Russian)
7. Gannushkina I.V. Brain collateral circulation. M.: Meditsina, 1973. 254 p. (In Russian)
8. Wintermark M., Maeder P., Thiran J.P. et al. Quantitative assessment of regional cerebral blood flows by perfusion CT studies at low injection rates: a critical review of the underlying theoretical models. *Eur. Radiol.* 2001; 11: 1220–1230.
9. Wintermark M., Sesay M., Barbier E. et al. Comparative overview of brain perfusion imaging technique. *Stroke.* 2005; 36 (9): 83–99.
10. Diagnostic Neuroradiology. Guide of Neuroradiology. The management for doctors. Eds Kornienko V.N., Pronin I.N. 2nd Ed. In 3 vol. (2 vol.). M.: I.P. "T.M. Andreeva", 2009. 462 p. (In Russian)
11. Wintermark M., Thiran J.P., Maeder P. et al. Simultaneous Measurement of Regional Cerebral Blood Flow by Perfusion CT and Stable Xenon CT: A Validation Study. *Am. J. Neuroradiol.* 2001; 22 (5): 905–914.
12. Kudo K., Terae S., Katoh C. et al. Quantitative Cerebral Blood Flow Measurement with Dynamic Perfusion CT Using the Vascular-Pixel Elimination Method: Comparison with H2 15O Positron Emission Tomography. *Am. J. Neuroradiol.* 2003; 24: 419–426.
13. Henderson R.D., Eliasziw M., Fox A.J. et al. Angiographically defined collateral circulation and risk of stroke in patients with severe carotid artery stenosis. (NASCET) Group. *Stroke.* 2000; 31: 128–132.
14. Vernieri F., Pasqualetti P., Matteis M. et al. Effect of collateral blood flow and cerebral vasomotor reactivity on the outcome of carotid artery occlusion. *Stroke.* 2001; 32 (7): 1552–1558.
15. Vernieri F., Pasqualetti P., Diomedei M. et al. Cerebral hemodynamics in patients with carotid artery occlusion and contralateral moderate or severe internal carotid artery stenosis. *J. Neurosurg.* 2001; 94 (4): 559–564.
16. Soinne L., Helenius J., Tatlisumak T. et al. Cerebral hemodynamics in asymptomatic and symptomatic patients with high-grade carotid stenosis undergoing carotid endarterectomy. *Stroke.* 2003; 34 (7): 1655–1661.
17. Liebeskind D.S. Collateral Circulation. *Stroke.* 2003; 34: 2279–2284.
18. Pandya A., Gupta A., Kamel H. et al. Carotid artery stenosis: cost-effectiveness of assessment of cerebrovascular reserve to guide treatment of asymptomatic patients. *Radiology.* 2015; 274 (2): 455–463.
19. Timina I.E., Kuntsevich G.I., Dan V.N. et al. The arterial and venous hemodynamics during the carotid endarterectomy on the transcranial duplex scanning data. *Ulrazvukovaya i funktsionalnaya diagnostika.* 2002; 3: 58–66. (In Russian)
20. Li Q., Li J., Lv F. et al. A multidetector CT angiography study of variations in the circle of Willis in a Chinese population. *J. Clin. Neurosci.* 2011; 18: 379–383.
21. Hendrikse J., Hartkamp M. J., Hillen B. et al. Collateral ability of the circle of willis in patients with unilateral internal carotid artery occlusion border zone infarcts and clinical symptoms. *Stroke.* 2001; 32: 2768–2773.
22. Waaijer A., van der Schaaf I.C., Velthuis B.K. et al. Reproducibility of quantitative CT brain perfusion measurements in patients with symptomatic unilateral carotid artery stenosis. *Am. J. Neuroradiol.* 2007; 28 (5): 927–932.