

МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ АНГИОГРАФИЯ ВНУТРИМОЗГОВЫХ ВЕТВЕЙ КАРОТИДНЫХ АРТЕРИЙ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ РИСКА ПОСЛЕОПЕРАЦИОННЫХ И ПЕРИИНФАРКТНЫХ ИНСУЛЬТОВ У ПАЦИЕНТОВ С РАСПРОСТРАНЕННЫМ АТЕРОСКЛЕРОЗОМ

А.М. Чернявский – [ORCID: 0000-0001-9818-8678]

д.м.н., профессор, директор¹

Е.Э. Бобрикова – [ORCID: 0000-0002-0166-3119]

м.н.с. отделения лучевой диагностики¹

Т.А. Берген – [ORCID: 0000-0003-1530-1327]

к.м.н., зав. отд. лучевой диагностики¹

А.Р. Таркова – [ORCID: 0000-0002-4291-6047]

к.м.н., н.с. отделения лучевой диагностики¹

А.А. Тулупов – [ORCID: 0000-0002-1277-4113]

д.м.н., профессор РАН, заведующий лабораторией «МРТ-технологии»²

***В.Ю. Усов** – [ORCID: 0000-0002-7352-6068]

д.м.н., профессор, зав. отд. рентгеновских и томографических методов диагностики^{3,4}

¹Национальный исследовательский Центр - НИИ патологии кровообращения им. академика Е.Н. Мешалкина Минздрава России

630055 Российская Федерация, Новосибирская область, г. Новосибирск, ул. Речкуновская, 15

²Международный томографический центр СО РАН

630055 Российская Федерация, Новосибирская область, г. Новосибирск, ул. Институтская, 3А

³Национальный исследовательский Томский политехнический университет

634050 Российская Федерация, Томская область, г. Томск, проспект Ленина, 30

⁴НИИ кардиологии Томского НИМЦ РАН

634012 Российская Федерация, Томская область, г. Томск, ул. Киевская, 111-1

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

- МР-ангиография
- головной мозг
- послеоперационные инсульты
- прогнозирование
- градиент сужения просвета средней мозговой артерии

АННОТАЦИЯ:

Актуальность: роль внутримозговых стенозов ветвей артерий головного мозга в развитии послеоперационных инсультов у пациентов с распространенным атеросклерозом остается неясной, а в клинической практике МР-ангиография (МРА) церебральных артерий для прогнозирования риска послеоперационных цереброваскулярных нарушений не проводится.

Цель: по данным количественной обработки МРА головного мозга регистра МРТ — МРА выявить факторы, позволяющие прогнозировать риск ишемических инсультов в послеоперационном периоде ангиохирургических вмешательств и в остром периоде инфаркта миокарда (ОИМ).

Материалы и методы: проанализированы результаты МРА головного мозга у 195 пациентов с распространенным атеросклерозом и поражением аорты и ее ветвей, выполненной перед проведением кардио- или ангиохирургических вмешательств. Из них у трех ишемический инсульт развился после каротидной эндартерэктомии, у трех — после операций АКШ, и у пяти — после хирургического лечения аневризм грудного отдела аорты, на второй — пятый день после операции. Также изучили картину МРА мозга у пяти пациентов, у которых в остром периоде ИМ развился эпизод ишемического мозгового инсульта. Во всех наблюдениях нарушения кровообращения были локализованы в бассейне средней мозговой артерии (СМА). Всем была проведена время-пролетная МРА с реконструкцией трехмерной анатомической картины церебральных артерий. Рассчитывался показатель градиента сужения просвета (ГСП) артерии как отношение разности площадей поперечника артерии на стенозе и ближайшем проксимальном нестенозированном уровне, к расстоянию между ними, по ходу сосуда: $ГСП = \frac{(S_{\text{норм}} - S_{\text{стеноз}})}{D_{\text{норм}} - \text{стеноз}}$, мм²/мм.

Результаты: при анализе визуальной картины МР-ангиограмм головного мозга у наших пациентов оказалось, что признак критического сужения СМА более 50% на МР-ангиограмме церебральных артерий отмечался у всех пяти пациентов с острыми ишемическими нарушениями мозгового кровообращения на фоне острого инфаркта миокарда. У всех 11 пациентов с развившимся послеоперационным нарушением мозгового кровоснабжения (НМК) визуальная картина стенозирования СМА, носила двусторонний характер, более выражено — на стороне последовавшего после операции ишемического нарушения. При использовании показателя градиента сужения просвета артерии оказалось, что ишемические НМК развились только при градиентном, резком, а не плавно нарастающем, характере стеноза, при ГСП > 1,05 мм²/мм. Из пяти пациентов, у которых признак стеноза СМА присутствовал, но послеоперационных НМК не было, четверо более месяца на амбулаторном этапе принимали в дозах 250 мг/сут и более этилметилгидроксипиридина сукцинат (мексидол).

*Адрес для корреспонденции (Correspondence to): Усов Владимир Юрьевич (Ussov Vladimir Yu.), e-mail: ussov1962@yandex.ru

Чувствительность МР-ангиографического дооперационного признака стенозирования СМА в отношении послеоперационных ишемических нарушений мозгового кровообращения составила во всех группах 100%, специфичность и диагностическая точность 97,5%, прогностичность положительного заключения 62,5-75%, а прогностичность отрицательного заключения – 97-99%.

Заключение: технология оценки градиента гемодинамического просвета в области атеросклеротического стенозирования внутримозговых артерий у пациентов с распространенным, в том числе каротидным, атеросклерозом позволяет прогнозировать риск послеоперационных нарушений мозгового кровоснабжения. Показатель градиента сужения просвета для атеросклеротически пораженной средней мозговой артерии $>1,05 \text{ мм}^2/\text{мм}$ у пациентов с распространенным атеросклерозом позволяет прогнозировать повышенную вероятность инсультов в послеоперационном периоде или развитие инсульта, как осложнения острого инфаркта миокарда. Продолжительный предоперационный прием мексидола вероятно способствует снижению риска послеоперационных острых нарушений мозгового кровоснабжения при распространенном атеросклерозе

Для цитирования. Чернявский А.М., Бобрикова Е.Э., Берген Т.А., Таркова А.Р., Тулулов А.А., Усов В.Ю., «МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ АНГИОГРАФИЯ ВНУТРИМОЗГОВЫХ ВЕТВЕЙ КАРОТИДНЫХ АРТЕРИЙ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ РИСКА ПОСЛЕОПЕРАЦИОННЫХ И ПЕРИИНФАРКТНЫХ ИНСУЛЬТОВ У ПАЦИЕНТОВ С РАСПРОСТРАНЕННЫМ АТЕРОСКЛЕРОЗОМ» Ж. ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ И ИНТЕРВЕНЦИОННАЯ РАДИОЛОГИЯ, 2021,15(1):21–32

MAGNETIC RESONANCE ANGIOGRAPHY OF INTRACEREBRAL ARTERIES IN PROGNOSIS OF RISK OF POST-OPERATIVE AND PERI-INFARCTION CEREBRAL STROKE IN PATIENTS WITH EXTENSIVE ATHEROSCLEROSIS

Cherniavsky A. M. – [ORCID: 0000-0001-9818-8678]

MD, PhD, professor¹

Bobrikova E. E. – [ORCID: 0000-0002-0166-3119]

MD, junior researcher¹

Bergen T. A. – [ORCID: 0000-0003-1530-1327]

MD, PhD¹

Tarkova A. R. – [ORCID: 0000-0002-4291-6047]

MD, PhD¹

Tulupov A. A. – [ORCID: 0000-0002-1277-4113]

MD, PhD, professor²

***Usov W. Yu.** – [ORCID: 0000-0002-7352-6068]

MD, PhD, professor^{3,4}

¹National research Center Academician E.N. Meshalkin State Research Institute of Circulation Pathology 15, Rechkunovskaya str., Novosibirsk, Russian Federation, 630055

²International tomography center

3A, Institutskaya str., Novosibirsk, Russian Federation, 630055

³National Research Tomsk Polytechnic University

30, Lenina av., Tomsk, Russian Federation, 634050

⁴Research Institute of Cardiology, Tomsk National medical research Center of the Russian Academy of Sciences 111a, Kievskaya str., Tomsk, Russian Federation, 634012

ABSTRACT:

Introduction: the role of intracerebral stenosis of brain arteries in the development of postoperative strokes in patients with extensive atherosclerosis remains unresolved, and in clinical practice, magnetic resonance angiography (MRA) of cerebral arteries is not carried out routinely to predict the risk of postoperative cerebrovascular disorders.

Aim: was to identify factors of MRA of intracerebral arteries essential for prognosis of ischemic strokes in postoperative period of angiographical interventions and in acute period of myocardial infarction (AMI), from the quantitative processing of brain MRA recruited from the MRI — MRA register.

Materials and methods: results of brain MRA of 195 patients with extensive atherosclerosis carried out before cardio- or angiographical interventions were analyzed. Of these, three had an ischemic stroke after carotid endarterectomy, three — after CABG operations, and five — after surgical treatment of thoracic aortic aneurysms, on 2-5 day after surgery. We also studied results of brain MRA in five patients who developed an episode of ischemic brain stroke in the acute period of acute myocardial infarction. In all cases of circulatory disorders were localized in the region of middle cerebral artery (MCA). Everyone was given a time-of-flight MRA with reconstruction of three-dimensional anatomical picture of cerebral arteries. The index of gradient of narrowing of arterial lumen (GNL) of artery was calculated as the ratio of the difference in the area of artery at stenosis and at nearest proximal non-stenosed level, to the distance between them, along the course of the vessel: $GNL = \frac{(S_{norm} - S_{stenosis})}{D_{norm-stenosis}}$, mm^2/mm

KEY-WORDS:

- magnetic resonance angiography
- brain
- post-operation stroke
- prognosis
- gradient of lumen narrowing of middle cerebral artery

Results: analyzing the visual picture of brain MRA in patients, the sign of critical narrowing of MCA for >50% was observed in all five patients with acute ischemic stroke concomitant with acute myocardial infarction. In all 11 patients who developed postoperative stroke, the visual picture of MCA stenosis was bilateral, more pronounced on the side of the ischemic disorder after the operation. When using the GNL index, it was obvious that ischemic stroke developed only when the stenosis was more sharp than $GSP > 1,05 \text{ mm}^2/\text{mm}$. Of five patients who showed signs of MCA stenosis but did not have postoperative stroke, four took doses of 250 mg/day or more of ethylmethylhydroxypyridine succinate (mexidol) for more than a month at the outpatient stage. The sensitivity of MRA preoperative sign of MCA stenosis in relation to postoperative ischemic stroke was 100% in all groups, the specificity and diagnostic accuracy was 97,5%, the predictability of a positive conclusion was 62,5-75%, and the predictability of a negative conclusion was 97-99%.

Conclusion: technology for evaluating the gradient of narrowing of arterial lumen in the area of atherosclerotic stenosis of intracerebral arteries in patients with extensive atherosclerosis allows predicting the risk of postoperative stroke. Gradient of narrowing of arterial lumen index for atherosclerotic middle cerebral artery over $1,05 \text{ mm}^2/\text{mm}$ in patients with extensive atherosclerosis predicts increased risk of strokes in postoperative period, or as a complication of acute myocardial infarction. Long-term preoperative injection of mexidol probably reduces the risk of postoperative stroke in extensive atherosclerosis.

Введение

Нарушения мозгового кровообращения представляют собой одно из важнейших послеоперационных осложнений, зачастую необратимо ухудшающих окончательные результаты технически и анестезиологически безупречно проведенных ангиохирургических и кардиологических операций [1,2].

В частности, при выполнении каротидной эндартерэктомии [1], при аортокоронарных шунтированиях [2], при выполнении обширных операций на аорте [3] - они составляют хотя и формально небольшую - в пределах единиц процентов от числа оперированных, но, учитывая массовый характер и экономические затраты этих операций, далеко не пренебрежимую величину. Сходным образом, у заметного количества пациентов с острым инфарктом миокарда (ОИМ), в некоторых статистиках до 10% от всех обследованных [4], также развиваются острые ишемические нарушения мозгового кровообращения в острейшем и остром периоде инфаркта миокарда, что резко ухудшает клинические результаты лечения и приводит к повышению инвалидности и смертности в течение первого года у таких пациентов [5,6]. Поэтому выделение факторов риска, высоко вероятно приводящих к развитию острого ишемического повреждения головного мозга в ходе раннего послеоперационного периода при кардиохирургических вмешательствах, или в остром периоде расстройств коронарного кровообращения, становится все более актуально.

Экстрацеребральные факторы таких осложнений широко исследуются, и в частности на первом плане сегодня рассматриваются наличие у пациента фибрилляции предсердий [7], продолжительного стажа сахарного диабета и других нарушений обмена [2], почечная недостаточность различной тяжести [8].

В то же время, регулярное исследование состояния кровеносного русла собственно мозга, а также внут-

ренних сонных артерий непосредственно в области входа в черепную коробку и внутричерепных сегментов, до сих пор обязательным образом у больных с ОИМ или при планировании кардио- и ангиохирургических вмешательств не проводится [9,10]. Между тем, на протяжении последнего десятилетия методы магнитно-резонансной ангиографии (МРА) и томографии (МРТ) головного мозга позволяют детально охарактеризовать состояние церебральных артериальных сосудов вплоть до ветвей второго-третьего порядка, количественно измерить поперечник просвета артерий [10], рассчитывать показатели тяжести стеноза, как общепринятых в ходе исследований NASCET и ECST геометрических [11-13], так и гидродинамически обоснованного характера [14,15].

Для исследований стенозов сонных артерий в их наиболее типичном месте - области их бифуркации, высокую прогностическую значимость в отношении риска ишемического мозгового инсульта показал индекс - градиент сужения просвета (ГСП) артерии, характеризующий то, насколько круто или полого артерия суживается от нормального просвета к стенозированному [16]. Крутизна сужения определяет нарушение ламинарности потока крови, гидродинамические нагрузки на бляшку и стенку артерии в целом и риск разрыва бляшки [15,16].

Патофизиологические и патоморфологические критерии нестабильности и рискованного характера атеросклеротических бляшек разработаны вполне детально [17], и, в частности, согласны в том, что в случае как воспалительного, так и дистрофически-некротического, и липидного типов нестабильности, бляшка формирует выраженную неоднородность геометрического просвета сосуда, разрыв ламинарного потока крови и его превращение в турбулентный [14,15]. Визуализация таких поражений представляется ключевым фактором в решении отмеченной задачи прогноза риска ишеми-

ческого инсульта у пациентов с распространенным атеросклерозом.

Поэтому целью данной работы было – по данным количественной обработки МРА головного мозга регистра МРТ — МРА выявить факторы, позволяющие прогнозировать риск ишемических инсультов в послеоперационном периоде ангиохирургических вмешательств и в остром периоде инфаркта миокарда (ОИМ).

Материал и методы

Наше исследование основано на данных ретроспективного анализа и количественной обработки МР-ангиограмм головного мозга регистра МРТ-МРА. Были проанализированы результаты МР-ангиографии сосудов головного мозга, выполненных у 195 пациентов с распространенным атеросклерозом и поражением аорты и ее ветвей, выполненной перед проведением кардиохирургических или ангиохирургических вмешательств (каротидная эндартерэктомия - 117, аортокоронарное шунтирование - 40, хирургическое лечение аневризм грудного отдела аорты – 38 обследованных).

Из них у 3 пациентов ишемический инсульт развился после каротидной эндартерэктомии, как малый (2 пациента) или с тяжелым неврологическим дефицитом (один пациент).

У 3 пациентов - ишемические НМК развились после операций АКШ, и у 5 - ишемические НМК различной тяжести произошли после хирургического лечения аневризм грудного отдела аорты.

В ходе собственно хирургического вмешательства осложнений и погрешностей хирургической техники и анестезиологического пособия, в том числе искусственного кровообращения, ни в одном случае не было. У всех пациентов нарушения мозгового кровообращения развилось на второй-пятый день после операции. Пациентов с коронарной патологией, которым выполнялось аортокоронарное шунтирование, степень стенозирования сонных артерий на экстракраниальных участках не превышала 35-40% по ECST, а у всех пациентов с каротидным гемодинамически значимым стенозом он в ходе операции каротидной эндартерэктомии был адекватно скорректирован.

Также мы проанализировали картину церебральной МР-ангиограммы у 5 пациентов, у которых имел место острый инфаркт миокарда (ОИМ) и в остром периоде ИМ развился эпизод нарушения мозгового кровообращения по ишемическому типу, в связи с чем им экстренно были выполнены МР-томография и МР-ангиография артерий головного мозга во время-пролетном режиме.

Во всех наблюдениях нарушения кровообращения головного мозга в нашем исследовании были локализованы в бассейнах кровоснабжения ВСА-СМА.

Методика МР-ангиографических и МР-томографических исследований

Всем пациентам было проведено комплексное МР-томографическое и МР-ангиографическое исследование, включавшее время-пролетную МР-ангиографию артерий головного мозга, с реконструкцией трехмерной анатомической картины церебральных артерий от уровня 6-7 шейного позвонка до теменных отделов головного мозга. Все исследования выполняли с помощью МР-томографа Toshiba Titan Vantage (производства Toshiba Medical) с напряженностью магнитного поля 1,5Т. При этом толщина исходных томосрезов при МР-ангиографии во время-пролетном режиме, по которым осуществлялась реконструкция, составила 0,75-1 мм. Предварительные исследования показали, что при использовании срезов большей толщины достичь адекватной реконструкции анатомического хода и просвета внутренней сонной артерии от уровня входа в черепную коробку и дистально, средней и передней мозговых артерий, при использовании время-пролетного режима не удастся. Обработка МР-ангиограмм и их количественный анализ, визуальный анализ МР-томограмм выполняли с использованием пакета прикладных программ для вычислительной обработки рентгенрадиологических изображений «Radiant V.2020» (Medixant Co., Poznan, Polska) [18].

Использованные показатели МР-ангиографии

По данным МР-ангиографического исследования артерий головного мозга во время-пролетном режиме для выявленных участков стенозирования на уровне средней мозговой артерии определяли следующие показатели: площадь просвета артерии на уровне максимально выраженного стеноза - **S**стеноз, мм²; площадь просвета артерии на ближайшем к стенозу нормальном не суженном уровне - **S**норма, мм²; расстояние **D**норма - стеноз, по ходу средней линии артерии, от уровня нормального просвета до уровня стеноза в мм; степень стеноза в %, как отношение величины разности истинного просвета и должного на уровне стеноза, к должному (не суженному), рассчитывали по методике ECST (European Carotid Surgery Trial) [11,12].

Представленный выше детально опубликованный ранее для случая стенозирования ВСА [16] показатель градиента сужения просвета (ГСП) артерии рассчитывали, как отношение разности площадей поперечника артерии на стенозе и ближайшем проксимальном не стенозированном уровне, к расстоянию между ними по ходу сосуда:

$$\text{ГСП} = \{(\text{S}_{\text{норма}} - \text{S}_{\text{стеноз}}) / \text{D}_{\text{норма - стеноз}}\}, \text{ мм}^2 / \text{мм}.$$

Картина МР-ангиографии артериальных сосудов головного мозга и принцип измерения параметров **S**норма, **S**стеноз, и **D**норма - стеноз для расчета показателя ГСП на примере стеноза правосторонней ВСА в области сегмента С5 представлены на рисунке 1. Это наблюдение МР-ангиографического исследования головного мозга пациента Т., 63 лет, на пятые сутки

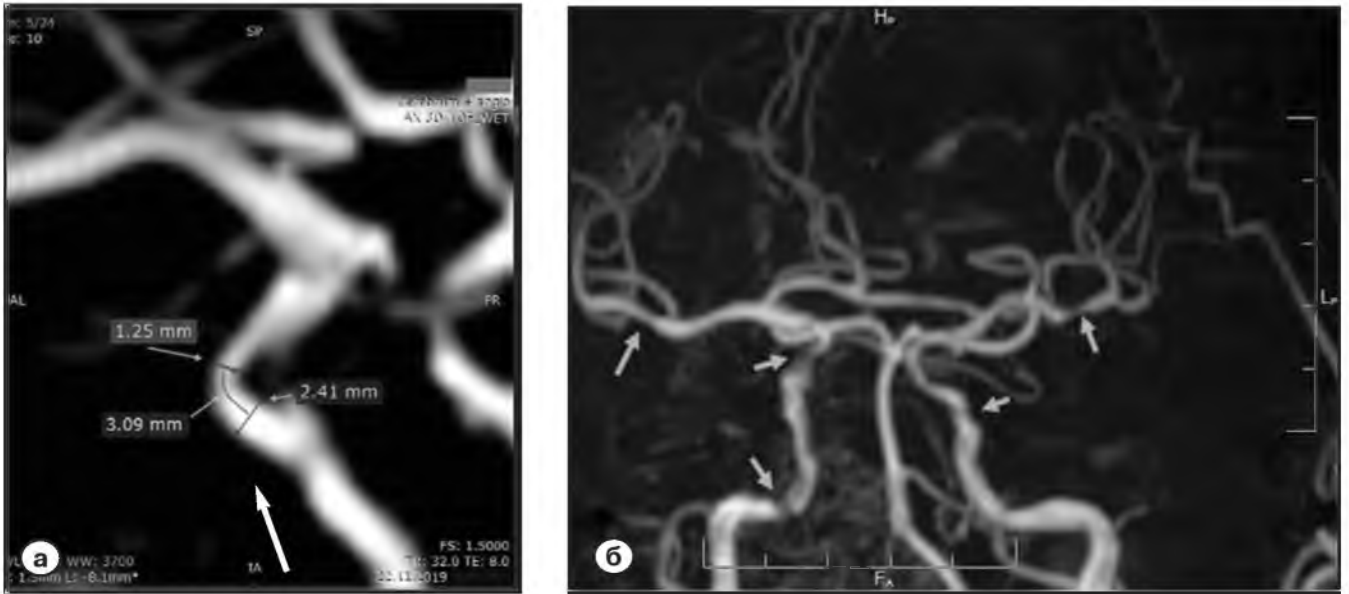


Рис. 1. Пациент Т., 63 лет, с распространенным атеросклеротическим поражением церебральных артерий.
 а – пример расчета показателя градиента сужения просвета ВСА, стенозированной более 50% в области клиновидного (С5) сегмента. ГСП правосторонней ВСА в области сифона, рассчитывался, исходя из диаметра артерии в нестенозированной участке 2,41 мм, диаметра артерии в месте стеноза 1,25 мм, и расстояния между ними в 3,09 мм, как $GSP = 3,1415 * \{1,2052 - 0,6252\} / 3,09 = 1,085 \text{ мм}^2/\text{мм}$;
 б – картина МР-ангиограммы внутримозговых отделов церебральных артерий у этого же пациента. Множественные участки стенозирования средних мозговых артерий, преимущественно справа, как справа, так и слева отмечены стрелками. По ходу ВСА справа в сегментах С6 и С7 ряд локальных «четкообразных» стенозов с величинами ГСП более 1 мм²/мм.

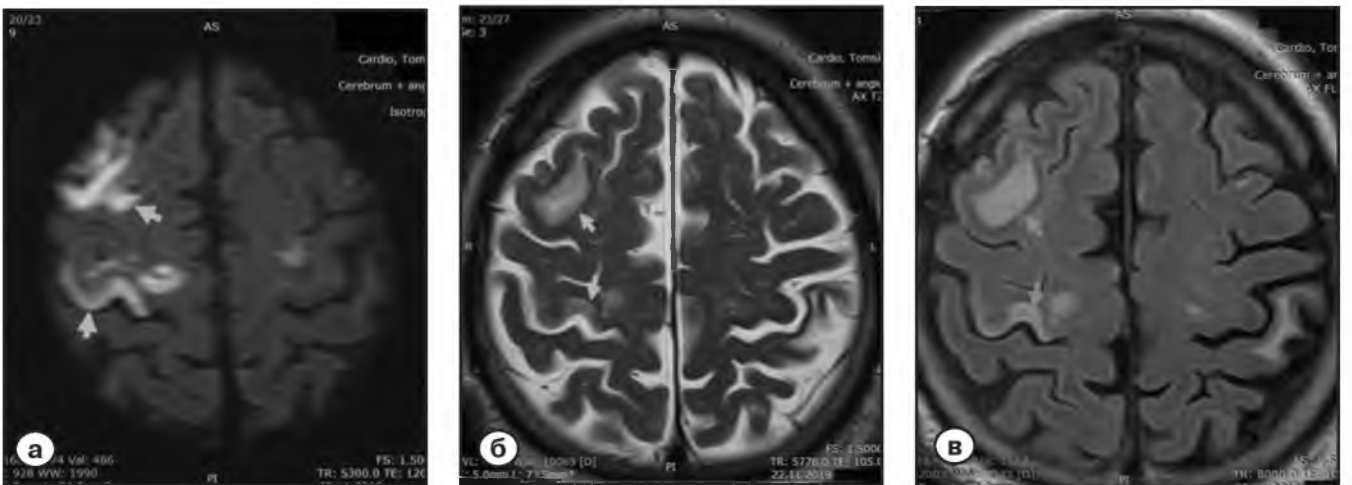


Рис. 2. Тот же пациент.
 а – картина аксиального диффузионно-взвешенного ($b=800$) МР-томографического изображения головного мозга;
 б – T2-взвешенное;
 в – FLAIR – изображение.
 Все – аксиальные срезы на уровне на 5-9 мм выше боковых желудочков. В бассейне кровоснабжения правосторонней ВСА – участки усиления изображения, типичные для ишемического повреждения головного мозга при артерио-артериальной эмболии. Картина верификации острого ишемического кортикального инсульта в бассейне правосторонней ВСА.

после острого инфаркта миокарда, развившегося вследствие окклюзии передней нисходящей артерии и успешно реканализированного на догоспитальном этапе с помощью внутривенного тромболитика, с последующей экстренной чрескожной баллонной ангиопластикой и установкой стента, без признаков тромбоза ушка левого предсердия и иных внутриво-

лостных тромбозов. На фоне выраженной положительной динамики и отсутствия болевого синдрома, при самовольном расширении двигательного режима у пациента произошел пароксизм желудочковой тахикардии с ЧСС более 150 уд/мин, успешно купированный, спустя несколько часов после которой развилась картина ишемического инсульта в бассейне правосто-

ронней СМА, верифицированная при МР-томографии (рис. 2).

Статистический анализ различий проводился с использованием непараметрических критериев (Манна - Уитни) и параметрических критериев (t-тест) с использованием пакета обработки данных Origin 6.1 (OriginLab Co., Техас).

Результаты

При анализе визуальной картины МР-ангиограмм головного мозга у наших пациентов оказалось, что визуальная картина критического стенозирования СМА, соответствовавшая сужению СМА более 50%, была отмечена до операции у всех трех пациентов, у которых после операции КЭЭ развился церебральный ишемический инсульт, и также у одного пациента из 114, у которых инсульт не развился и послеоперационный период протекал без неврологических осложнений.

В группе 40 пациентов, у которых МР-ангиография головного мозга выполнялась до операции АКШ, церебральные ишемические нарушения кровообращения по типу малых инсультов, инсультов и преходящих НМК, были выявлены у трех, и у всех их также имело место формирование стеноза СМА. Критический стеноз СМА среди пациентов, у которых НМК не развился, был выявлен в этой группе у одного.

Наконец, из 38 пациентов, которым выполняли хирургические вмешательства на грудном отделе аорты по поводу аневризмы, церебральные ишемические нарушения отмечались у пяти больных, и у всех пяти были выявлены стенозы СМА при визуальном анализе МР-ангиограмм.

Из 33 пациентов без нарушений мозгового кровообращения картина стеноза СМА отмечена у трех.

Признак наличия стеноза средней мозговой артерии на МР-ангиограмме церебральных артерий отмечался и у всех пяти пациентов с острыми ишемическими нарушениями мозгового кровообращения на фоне острого инфаркта миокарда.

Визуально у всех пациентов с развившимся послеоперационным НМК картина стенозирования и неоднородности контуров и просвета ветвей ВСА и, в первую очередь, СМА, носила двусторонний характер, хотя более выражено это было на стороне последовавшего после операции ишемического нарушения. Однако при использовании показателя градиента сужения просвета артерии на стенозированном участке оказалось, что ишемические НМК развились только при градиентном, резком, а не плавно нарастающем, характере стеноза, при $GSP > 1,05 \text{ мм}^2/\text{мм}$.

Кроме того, оказалось, что из пяти пациентов, у которых признак стеноза СМА присутствовал, но послеоперационных нарушений кровообращения головного мозга не было, четверо в течение длительного време-

ни, более месяца на амбулаторном этапе принимали в дозах 250 мг/сут и более этилметилгидроксипиридина сукцинат (мексидол), тогда как из тех, у кого развились послеоперационные ишемические нарушения мозгового кровообращения, ни этот, ни другие препараты со специфическим антиоксидантным и антигипоксическим действием, не принимал никто.

При расчете по приведенным выше результатам, чувствительность МР-ангиографического дооперационного признака стенозирования СМА в отношении послеоперационных ишемических нарушений мозгового кровообращения составила во всех группах 100%, специфичность и диагностическая точность 97,5%, прогностичность положительного заключения 62,5-75%, а прогностичность отрицательного заключения - 97-99%.

В настоящее время ведется ретроспективная выборка пациентов из общего регистра лиц, которым выполнялась церебральная МР-ангиография во время-пролетном режиме, включающего более 1750 пациентов, на предмет уточнения этих данных, в том числе средствами ROC-анализа. Однако уже полученные результаты говорят о целесообразности использования МР-ангиографии головного мозга во время-пролетном режиме у пациентов с планируемыми ангиохирургическими вмешательствами, на дооперационном этапе. Типичный пример прогностической значимости симптома критического стеноза СМА в отношении послеоперационных ишемических НМК представлен на рисунках 3 и 4.

На рисунке 3 представлена МР-ангиография пациента П., 68 лет, с частыми преходящими ишемическими НМК в правом полушарии, и критическим стенозом правосторонней ВСА в области бифуркации (более 80% по ECST). У него также ипсилатерально к стенозу ВСА выявлен кинкинг ВСА и стеноз СМА справа же. На рисунке 3 они отмечены стрелками 1, 2 и 3, соответственно. После выполнения КЭЭ справа стеноз сонной артерии был полностью скорректирован, тогда как стеноз СМА справа, градиент сужения просвета которого составил $1,17 \text{ мм}^2/\text{мм}$, остался неизменен.

На рисунке 4а представлены аксиальные T2-взвешенные МР-томограммы головного мозга этого же пациента до операции и спустя месяц после ее выполнения. Можно видеть, что в стеноз-зависимом полушарии до операции КЭЭ в бассейне кровоснабжения СМА отмечаются единичные очажки ишемических нарушений.

После операции КЭЭ у этого пациента (рис. 4б) отмечались множественные очаги нарушений по ишемическому типу, отмеченные на данном срезе стрелками. Их стало существенно больше чем до операции.

Клинически в послеоперационном периоде отмечалась нестабильность артериального давления, в частности с колебаниями в пределах от 110/80 мм рт. ст. до 170/130 мм рт. ст. и неоднократно были отмечены

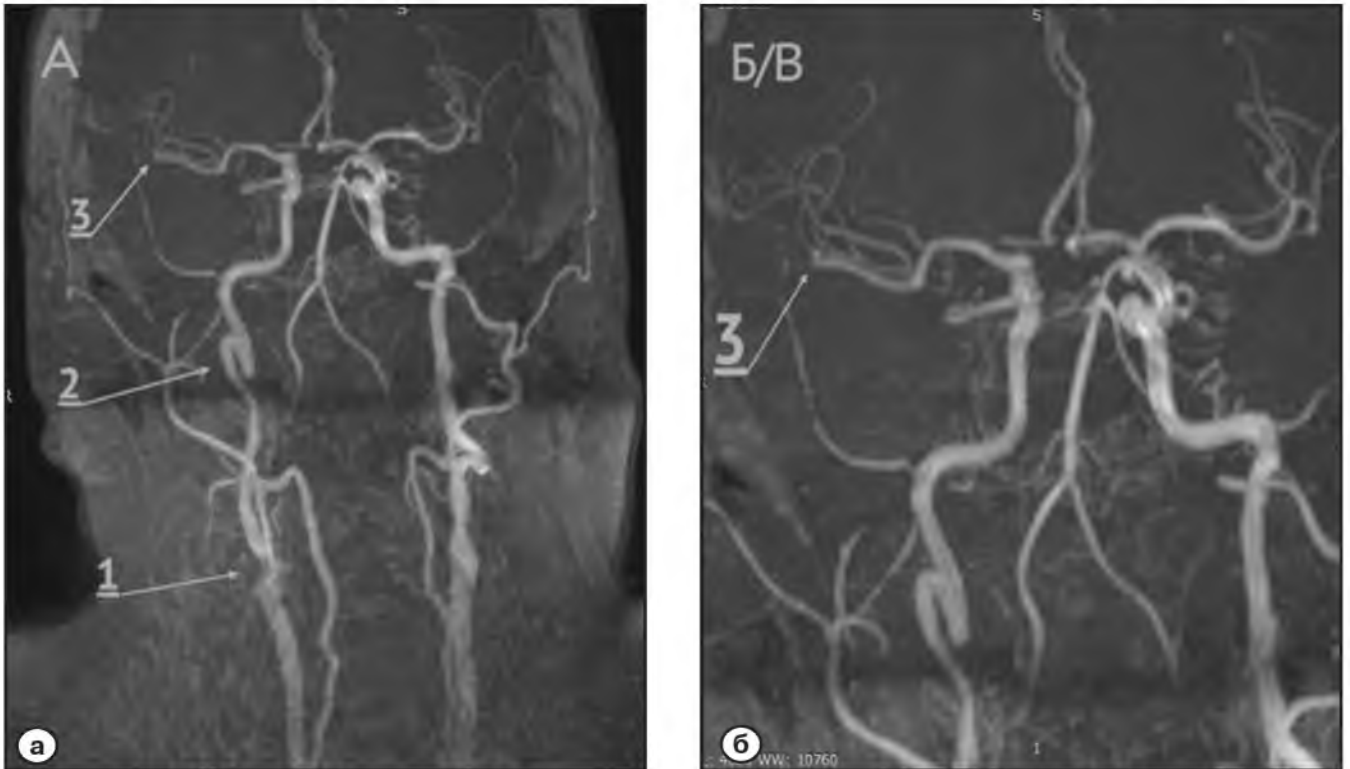


Рис. 3. Предоперационная МР-ангиограмма сосудов головного мозга пациента П., 68 лет, с частыми преходящими ишемическими НМК в правом полушарии.
 а – прямая проекция с охватом от верхнего края дуги аорты до теменной области: визуализируется критический стеноз ВСА справа (стрелка 1), кинкинг правосторонней ВСА (стрелка 2), и критический стеноз СМА справа же (стрелка 3).
 б – увеличено изображение внутричерепного отдела на МР-ангиограмме: стрелкой 3 показан стеноз СМА справа, особенно очевидный при сравнении с противоположной, левой, стороной.

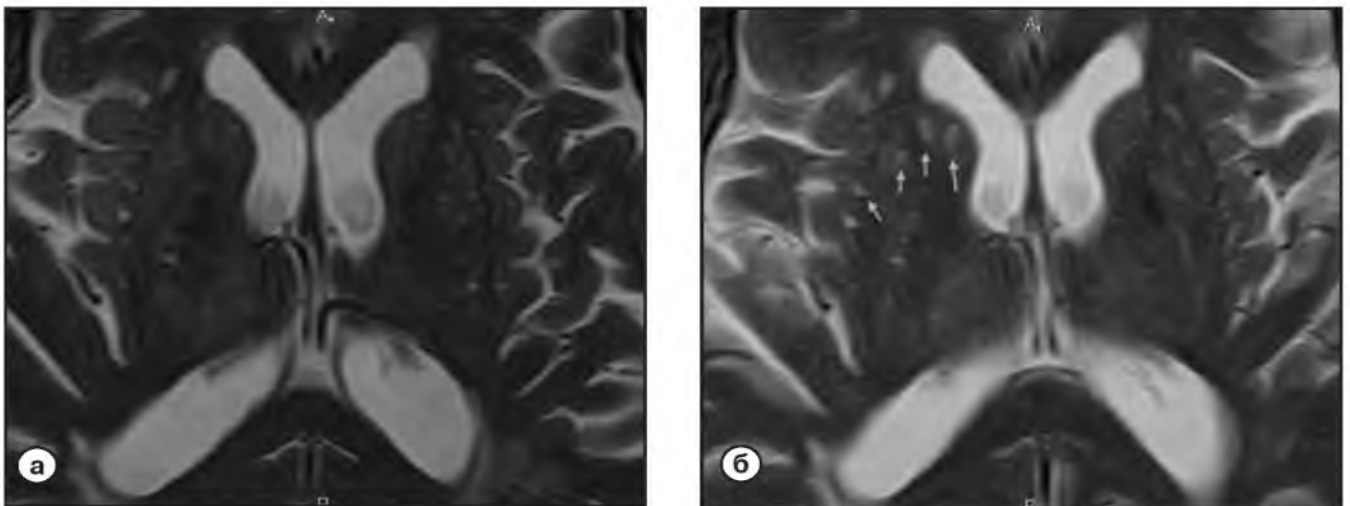


Рис. 4. Дооперационная (а) и послеоперационная (б) МР-томограммы головного мозга, в T2- взвешенном режиме, на уровне середины тел боковых желудочков. Изначально единичные очажки ишемических нарушений в бассейне СМА справа становятся существенно более многочисленными на послеоперационном томосрезе (отмечены маленькими бирюзовыми стрелками).

эпизоды преходящих НМК по типу транзиторных ишемических атак.

Таким образом, совершенно обоснованно утверждать, что у данного пациента в условиях нестабильности кро-

вообращения в послеоперационном периоде именно стеноз СМА послужил патофизиологическим фактором, обусловившим развитие нарушений мозгового кровообращения в бассейне этой артерии, несмотря

на безупречную коррекцию экстракраниального стеноза ВСА.

Обсуждение

Послеоперационные осложнения со стороны центральной нервной системы являются до сих пор одной из важных практических проблем ангио- и кардиохирургии в целом, поскольку, как правило, приводят к инвалидизации или смерти пациентов и заметно ухудшают общую картину результатов хирургических вмешательств в кардиохирургии [1,2]. Поэтому поиск прогностических факторов, позволяющих с приемлемой точностью прогнозировать их развитие и выделять группы риска, ведется постоянно. Заметные успехи в последнее десятилетие были достигнуты в отношении выявления и коррекции факторов риска послеоперационных НМК, связанных с фибрилляцией предсердий и другими нарушениями сердечного ритма [19,20].

В отношении стенозирующих поражений сонных артерий существует общее обоснованное мнение, что наличие каротидного стеноза, гемодинамически значимого, или обусловленного бляшкой высокого риска (с геморрагиями в толщу, риском надрыва «шапочки» бляшки и/или с высокой степенью васкуляризации бляшки) требует одномоментной или этапной предшествующей хирургической коррекции в случае планирования других - экстракаротидных кардиохирургических вмешательств, или удаления бляшки и коррекции каротидного стеноза как такового при его изолированном характере [21]. Спектр диагностических возможностей в отношении выявления и оценки тяжести каротидных стенозов широк и надежен [22].

В случае внутримозговых атеросклеротических поражений артерий головного мозга такого согласия пока не выработано. В значительной степени это обусловлено тем, что все методы визуализации, кроме МР-ангиографии, не могут обеспечить рутинное надежное выявление стенозов внутримозговых артерий. Так ультразвуковые методы транскраниального доплеровского исследования могут обеспечить надежную диагностику только для начальных отделов СМА, и то в зависимости от анатомических особенностей черепа [22], а рентгеноангиографические методы диагностики связаны со значительной лучевой нагрузкой и применением больших доз йодсодержащих рентгеноконтрастных препаратов [23].

Время-пролетная МР-ангиография сосудов головного мозга надежно позволяет визуализировать ветви ВСА и СМА вплоть до третьего порядка [24], но при этом используется в основном для оценки эффективности клипирования аневризм [25] или контроля анастомозов наружной и внутренней сонной артерий в послеоперационном периоде [26].

В настоящее время в предоперационном обследовании пациентов, направляемых для ангиохирургических

вмешательств в связи с патологией аорты и сонных артерий, МР-ангиография артерий головного мозга регулярным образом не проводится. У таких пациентов, как правило, ограничиваются ультразвуковой констатацией наличия каротидного стеноза и расчетом степени сужения просвета сосуда [27,28]. Определенное значение этой методики подтверждено для выявления стенозов внутримозговых ветвей средней мозговой артерии и профилактики церебральных ишемических инсультов на фоне постоянного назначения варфарина [29]. При этом оценка их тяжести осуществляется по обычному для ангиологов показателю - степени стеноза, как соотношения диаметров артерии в максимально узком и интактном участках [11,12,29].

Наше исследование показывает, что для пациентов, которым выполняются ангиохирургические или кардиохирургические вмешательства, наличие стенозирования СМА более 50%, а в особенности при величине показателя градиента сужения просвета артерии на стенозе более 1,05 мм²/мм, тесно связано с высоким риском послеоперационного НМК в зависимом от такого сосуда бассейне. Ранее удалось показать, что формирование высокоградиентных стенозов ВСА и их ветвей происходит, как правило, на бляшках высокого риска [16]. Представленные нами данные вполне согласуются с этим общим патофизиологическим представлением. Основным механизмом развития нарушений мозгового кровообращения в дистальных бассейнах, по отношению к стенозам такого рода, вероятно является формирование на них турбулентного потока крови и возрастание гидродинамического сопротивления в условиях нестабильности входного потока и давления, что типично для неньютоновских жидкостей [14], и повышает вероятность артериоартериальных эмболий [27-30].

Нельзя не отметить здесь, что частота выявления послеоперационных НМК по типу переходящих НМК, малых инсультов и инсультов, составившая в целом около и менее 5%, примерно соответствует таковой в известных исследованиях NASCET и ECST [12,27,29], в которых результаты аппаратных исследований состояния внутримозговых артерий не анализировались. Рационально предполагать, что именно сопутствующие каротидным стенозам поражения внутримозговых артерий как раз и обуславливали в этих исследованиях случаи послеоперационных НМК после выполнения технически безупречной КЭЭ.

Анализ предоперационной фармакотерапии у наших пациентов показал, что фактором, отличавшим немногочисленных лиц, у которых имел место стеноз СМА, а послеоперационных НМК не развилось, был прием этилметилгидроксипиридина сукцината в высоких дозах, способствующего снижению вероятности НМК у пациентов с артериальной гипертензией [31]. Хотя 5 пациентов - абсолютно несостоятельное количество для далекоидущих выводов о фармакоцеребропротек-

ции, все же этот факт достоин дальнейшего детального изучения на более широких контингентах больных, поскольку антиоксидантное и органопротективное действие этого препарата, других аналогов янтарной кислоты надежно подтверждено [32].

МР-ангиография во время-пролетном режиме является одним из самых безопасных и надежных в рутинном выполнении методов визуализации церебральных артерий, не требует внутривенного контрастирования (хотя при введении парамагнетика качество ее изображений дополнительно улучшается) [10]. Выполнение ее с высоким качеством возможно на любом современном МР-томографе, а трехмерный характер получаемых данных и реконструированных изображений позволяет не только визуально оценить сосудистое древо мозга со всех направлений осмотра, но и определить поперечный диаметр и сечение артерий и характер их изменений по ходу сосуда, на любом анатомическом уровне и расположении. Учитывая, что расчет такого анатомически очевидного показателя, как градиент сужения просвета артерии на стенозе, дополнительно улучшает выявление случаев высокого риска послеоперационного НМК, обоснованно рекомендовать проведение время-пролетной МРА всем пациентам, планируемыми на ангиохирургические и кардиохирургические вмешательства. Для выработки на основе сформулированного здесь

подхода детальных статистически безупречных критериев риска ишемических НМК по данным МР-ангиографии мозга потребуются на порядок большая выборка пациентов, чем представлена нами в данной работе. Такое исследование сейчас проводится нами. Можно надеяться, что удастся выбрать на этой основе максимально церебропротективные алгоритмы ведения пациентов с высоким риском периоперационных НМК. В недалеком будущем, вероятно будет возможно использовать его и для отбора пациентов для ангиопластики и стентирования у прогностически опасных внутричерепных стенозов ветвей ВСА и, в частности, СМА.

Заключение

Использование гемодинамически обоснованных критериев тяжести внутричерепных артериальных стенозов — их высокоградиентного характера — позволяет выявить пациентов с высоким риском интраоперационных нарушений мозгового кровообращения. МР-ангиография мозга как часть предоперационной диагностической подготовки может быть использована, в первую очередь, для выявления пациентов высокого риска и модификации тактики их ведения в сторону максимальной церебропротекции всеми имеющимися средствами. ■

Список литературы

1. Лоенко В.Б., Дударев В.Е., Сорокина Е.А., и др. Диагностика причин ишемического инсульта в раннем послеоперационном периоде у больных с окклюзирующим атеросклерозом брахиоцефальных артерий. *Сибирский медицинский журнал (Томск)*. 2009; 24(4-2): 62-64.
2. Филимонова П.А., Волкова Л.И., Алашеев А.М., Гричук Е.А. Внутрибольничный инсульт у пациентов кардиохирургического профиля. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2017; 11(1): 28-33.
3. Каменская О.В., Логинова И.Ю., Клинова А.С., и др. Предикторы неврологических осложнений при хирургической коррекции хронического расслоения восходящего отдела и дуги аорты. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2018. 118(7): 12-17. <https://doi.org/10.17116/jnevro20181187112>
4. Билалова Р.Р., Ибрагимов Г.З., Зайцева А.Р., и др. Опыт лечения сочетанной патологии острого нарушения мозгового кровообращения и инфаркта миокарда. *Вестник современной клинической медицины*. 2018; 11(5): 16-22. [https://doi.org/10.20969/VSKM.2018.11\(5\).16-22](https://doi.org/10.20969/VSKM.2018.11(5).16-22)
5. Бернс С.А., Зыкова Д.С., Зыков М.В., и др. Роль мультифокального атеросклероза в реализации новых сердечно-сосудистых осложнений у пациентов в течение года после перенесенного острого коронарного синдрома без подъема сегмента ST. *Кардиология*. 2013; 53(8): 15-23.
6. Гарганеева А.А., Тукиш О.В., Кужелева Е.А., и др. Портрет пациента с инфарктом миокарда за 30-летний период. *Клиническая медицина*. 2018; 96(7): 641-647. <https://doi.org/10.18821/0023-2149-2018-96-7-641-647>
7. Эчахида Н., Пибаро П., О'Хара Г., Матье Р. Патогенез, профидлактика и лечение фибрилляции предсердий после кардиохирургических вмешательств. *Патология кровообращения и кардиохирургия*. 2014; 18(3): 87-96.
8. Каретникова В.Н., Калаева В.В., и др. Хроническая болезнь почек в оценке неблагоприятного течения постинфарктного периода. *Клиническая медицина*. 2017; 95(6): 563-570. <https://doi.org/10.18821/0023-2149-2017-95-563-570>
9. Arous E.J., Simons J.P., Flahive J.M., et al. National variation in preoperative imaging, carotid duplex ultra-

sound criteria, and threshold for surgery for asymptomatic carotid artery stenosis. *J.Vasc.Surg.* 2015; 62(4): 937-944.

<https://doi.org/10.1016/j.jvs.2015.04.438>

10. Беличенко О.И., Дадвани С.А., Абрамова Н.Н., Терновой С.К. Магнитно-резонансная томография в диагностике цереброваскулярных заболеваний. М.: Видар. 1998. 112С.

11. Fox A.J. Carotid endarterectomy trials. *Neuroimaging Clin N Am.* 1996; 6(4): 931-938.

12. Покровский А.В., Белоярцев Д.Ф., Талыблы О.Л. Анализ результатов эверсионной каротидной эндартерэктомии в отдаленном периоде. *Ангиология и сосудистая хирургия.* 2014. 20(4): 100-108.

13. Бобрикова Е.Э., Максимова А.С., Плотников М.П., и др. Комплексное магнитно-резонансное томографическое исследование сонных артерий и головного мозга в скрининге каротидных стенозов высокого риска. *Сибирский медицинский журнал (г. Томск).* 2015; 30(4): 49-56.

14. Пурия Б.А., Касьянов В.А. Биомеханика крупных кровеносных сосудов человека. Рига: Зинатне, 1980. 260С.

15. Педли Т. Гемодинамика крупных кровеносных сосудов. М.: Мир, 1983. 400С.

16. Усов В.Ю., Максимова А.С., Сеницын В.Е., и др. Градиент сужения просвета внутренней сонной артерии на атеросклеротической бляшке как фактор риска ишемических нарушений мозгового кровообращения. *Российский кардиологический журнал.* 2019; 24(12): 62–69.

<https://doi.org/10.15829/1560-4071-2019-12-62-69>

17. Рагино Ю.И., Волков А.М., Чернявский А.М. Стадии развития атеросклеротического очага и типы нестабильных бляшек — патофизиологическая и гистологическая характеристика. *Российский кардиологический журнал* 2013, 5 (103): 88–95.

18. Medixant. RadiAnt DICOM Viewer [Software]. Version 2020.1. Mar 9, 2020.

URL: <https://www.radiantviewer.com>

19. Ломиворотов В.В., Ефремов С.М., Покушалов Е.А., Бобошко В.А. Фибрилляция предсердий после кардиохирургических операций: патофизиология и методы профилактики. *Вестник анестезиологии и реаниматологии.* 2017; 14(1): 58-66.

20. Чернявский А.М., Калыбекова А.Т. Сравнительная характеристика биатриальной и левопредсердной аблации в хирургическом лечении длительно персистирующей формы фибрилляции предсердий у пациентов с сочетанной патологией сердца. *Анналы аритмологии.* 2019; 16(4): 194-203.

21. Горохов А.С., Козлов Б.Н., Кузнецов М.С., Шипулин В.М. Сочетанное атеросклеротическое поражение сонных и коронарных артерий: выбор хирургической тактики с учетом оценки функциональных резервов

головного мозга. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний.* 2013; (3): 50- 56.

22. Буховец И.Л., Максимова А.С., Плотников М.П., и др. Ультразвуковой контроль мозгового кровотока у больных со стенозом брахиоцефальных артерий до и после каротидной эндартерэктомии. *Ангиология и сосудистая хирургия.* 2018; 24(1): 66-71.

23. Коков Л.С. Рентгенхирургические методы диагностики и лечения сердечно-сосудистых заболеваний. Неотложная медицинская помощь. *Журнал им. Н.В. Склифосовского.* 2013; (1): 23-27.

24. Прохорова Е.С., Кизименко Н.Н., Прохоров С.И. Магнитно-резонансная ангиография в диагностике интракраниальных аневризм. *Медицинская визуализация.* 2005; (5): 105-108.

25. Cho Y.D., Kim K.M., Lee W.J., et al. Time-of-flight magnetic resonance angiography for follow-up of coil embolization with enterprise stent for intracranial aneurysm: usefulness of source images. *Korean J Radiol.* 2014; 15(1): 161-8.

<https://doi.org/10.3348/kjr.2014.15.1.161>

26. Sato K., Yamada M., Kuroda H., et al. Time-of-Flight MR Angiography for Detection of Cerebral Hyperperfusion Syndrome after Superficial Temporal Artery-Middle Cerebral Artery Anastomosis in Moyamoya Disease. *Am J Neuroradiol.* 2016; 37(7): 1244-1248.

<https://doi.org/10.3174/ajnr.A4715>

27. Ballotta E., Angelini A., Mazzalai F., et al. Carotid endarterectomy for symptomatic low-grade carotid stenosis. *J Vasc Surg.* 2014; 59: 25-31.

28. Максимова А.С., Бобрикова Е.Э., Буховец И.Л., и др. Структура атеросклеротической бляшки как определяющий фактор цереброваскулярной реактивности при стенозирующем атеросклерозе сонных артерий. *Сибирский медицинский журнал (г. Томск).* 2016; 31(2): 38-43.

29. Baradaran H., Patel P., Gialdini G., et al. Quantifying Intracranial Internal Carotid Artery Stenosis on MR Angiography. *Am J Neuroradiol.* 2017; 38(5): 986-990.

<https://doi.org/10.3174/ajnr.A5113>

30. Лищук В.А., Газизова Д.Ш., Фролов С.В. Математическая модель бифуркации сосуда, ориентированная на кардиохирургическую клинику. Вопросы современной науки и практики. *Университет им. В.И. Вернадского.* 2009; 12(26): 127-131.

31. Усов В.Ю., Плотников М.П., Дель О.А., и др. МР-томография аортальной стенки с парамагнитным контрастным усилением в оценке эффективности длительного применения мексидола при атеросклерозе аорты. *Вестник новых медицинских технологий.* 2018; 25(1): 125-132.

<https://doi.org/10.24411/1609-2163-2018-15973>

32. Хазанов В.А. Фармакологическая регуляция энергетического обмена. *Экспериментальная и клиническая фармакология.* 2009; 72(4): 61-64.

References

- Louyenko VB, Doudarev VYe, Sorokina YeA. Diagnosis of ischemic stroke reasons early after the surgery in patients with occlusive atherosclerosis of brachiocephalic arteries. *Siberian medical journal (Tomsk)*. 2009; 24(4-2): 62-64 [In Russ].
- Filimonova PA, Volkova LI, Alasheev AM, Grichuk EA. In hospital stroke in patients after cardiovascular surgery. *Annals of clinical and experimental neurology*. 2017; 11(1): 28-33 [In Russ].
- Kamenskaya OV, Loginova IYu, Klinkova AS, et al. Predictors of neurological complications during surgical treatment of the ascending aorta and aortic arch chronic dissection. *S.S.Korsakov Journal of neurology and psychiatry*. 2018. 118(7): 12-17 [In Russ].
<https://doi.org/10.17116/jnevro20181187112>
- Bilalova RR, Ibragimova GZ, Zaytseva AR, et al. Combined acute cerebrovascular disease and myocardial infarction treatment experience. *Bulletin of Current Clinical Medicine*. 2018; 11(5): 16-22 [In Russ].
[https://doi.org/10.20969/VSKM.2018.11\(5\).16-22](https://doi.org/10.20969/VSKM.2018.11(5).16-22)
- Berns SA, Zykova DS, Zykov MV, et al. The Role of Multifocal Atherosclerosis in Realization of New Cardiovascular Complications During One Year After Non ST-Elevation Acute Coronary Syndrome. *Cardiologia*. 2013; 53(8): 15-23 [In Russ].
- Garganeva AA, Tukish OV, Kuzheleva EA, et al. Portrait of the patient with myocardial infarction over a 30-year period. *Clinical medicine*. 2018; 96(7): 641-647 [In Russ].
<https://doi.org/10.18821/0023-2149-2018-96-7-641-647>
- Echahidi N, Pibarot P, O'hara G, Mathieu P. Pathogenesis, Prophylaxis and treatment of atrial fibrillation after cardiac surgery interventions. *Pathology of circulation and cardiac surgery*. 2014; 18(3): 87-96 [In Russ].
- Karetnikova VN, Kalaeva VV, Evseeva MV, et al. Chronic renal disease in evaluation of course of post-infarction period. *Clinical medicine*. 2017; 95(6): 563-570 [In Russ].
<https://doi.org/10.18821/0023-2149-2017-95-563-570>
- Arous EJ, Simons JP, Flahive JM, et al. National variation in preoperative imaging, carotid duplex ultrasound criteria, and threshold for surgery for asymptomatic carotid artery stenosis. *J. Vasc. Surg.* 2015; 62(4): 937-944.
<https://doi.org/10.1016/j.jvs.2015.04.438>
- Belichenko OI, Dadvani SA, Abramova NN, Ternovoi SK. Magnetic resonance tomography in diagnosis of cerebrovascular diseases. Moscow. Vidar Publ.Co. 1998. 112P. [In Russ].
- Fox AJ. Carotid endarterectomy trials. *Neuroimaging Clin N Am*. 1996; 6(4): 931-938.
- Pokrovsky AV, Beloyartsev DF, Talybly OL. Analysis of remote results of eversion carotid endarterectomy. *Angiology and vascular surgery*. 2014; 20(4): 100-108 [In Russ].
- Bobrikova EE, Maksimova AS, Plotnikov MP, et al. Simultaneous cerebral MRI and MR-angiographic study of carotid arteries as screening technique for high-risk carotid atherosclerosis. *Siberian medical journal (Tomsk)*. 2015; 30(4): 49-56 [In Russ].
- Purinya BA, Kasyanov VA. Biomechanics of large blood vessels of man. Riga: Zinatne Publ., 1980. 260P. [In Russ].
- Pedly T. Haemodynamic of large blood vessels. Moscow. Mir Publ., 1983. 400P. [In Russ].
- Ussov WYu, Maksimova AS, Sinitsyn VE, et al. Gradient of luminal narrowing of internal carotid artery on atherosclerotic plaque as risk factor for cerebral ischemic damage. *Russian Journal of Cardiology*. 2019; 24(12): 62-69 [In Russ].
<https://doi.org/10.15829/1560-4071-2019-12-62-69>
- Ragino Yul, Volkov AM, Chernyavskiy AM. Stages of atherosclerotic plaque development and unstable plaque types: pathophysiologic and histologic characteristics. *Russ.J.Cardiol.* 2013; 5 (103): 88-95 [In Russ].
- Medixant. RadiAnt DICOM Viewer [Software]. Version 2020.1. Mar 9, 2020.
URL:<https://www.radiantviewer.com>
- Lomivorotov VV, Efremov SM, Pokushalov EA, Boboshko VA. Atrial fibrillation after cardiac surgery operations: pathophysiology and methods of prophylaxis. *Bulletin of anesthesiology and reanimatology*. 2017; 14(1): 58-66 [In Russ].
- Chernyavskiy AM, Kalybekova AT. Comparative characteristics of biatrial and left atrial ablation in surgical treatment of long-standing persistent atrial fibrillation in patients with concomitant disease. *Annals of arrhythmology*. 2019; 16(4): 194-03 [In Russ].
- Gorokhov AS, Kozlov BN, Kuznetsov MS, Shipulin VM. Concomitant atherosclerosis of carotid and coronary arteries: choice of surgical tactics based on functional reserves of brain. *Complex problems of cardiovascular diseases*. 2013; (3): 50-56 [In Russ].
- Bukhovets IL, Maksimova AS, Plotnikov MP, et al. Ultrasonographic control of cerebral blood flow in patients with stenosis of brachiocephalic arteries before and after carotid endarterectomy. *Angiology and vascular surgery*. 2018; 24(1): 66-71 [In Russ].
- Kokov LS. Rentgeno-surgical methods of diagnosis and treatment of cardiovascular diseases. Urgent medical service. *N.V. Sklifosovsky journal*. 2013; (1): 23-27 [In Russ].
- Prokhorova ES, Kizimenko NN, Prokhorov SI. Magnetic resonance angiography in diagnosis of intracranial aneurysms. *Medical Visualisation*. 2005; (5): 105-108 [In Russ].
- Cho YD, Kim KM, Lee WJ, et al. Time-of-flight magnetic resonance angiography for follow-up of coil emboliza-

tion with enterprise stent for intracranial aneurysm: usefulness of source images. *Korean J Radiol.* 2014; 15(1): 161-8.

<https://doi.org/10.3348/kjr.2014.15.1.161>

26. Sato K, Yamada M, Kuroda H, et al. Time-of-Flight MR Angiography for Detection of Cerebral Hyperperfusion Syndrome after Superficial Temporal Artery-Middle Cerebral Artery Anastomosis in Moyamoya Disease. *Am J Neuroradiol.* 2016; 37(7): 1244-8.

<https://doi.org/10.3174/ajnr.A4715>

27. Ballotta E, Angelini A, Mazzalai F, et al. Carotid endarterectomy for symptomatic low-grade carotid stenosis. *J Vasc Surg* 2014; 59: 25-31.

28. Maximova AS, Bobrikova EE, Bukhovets IL, et al. The structure of atherosclerotic plaque as a defining factor of cerebrovascular reactivity in patients with carotid atherosclerosis. *Siberian medical Journal (Tomsk).* 2016; 31(2): 38-43 [In Russ].

29. Baradaran H, Patel P, Gialdini G, et al Quantifying Intracranial Internal Carotid Artery Stenosis on MR Angiography. *Am J Neuroradiol.* 2017; 38(5): 986-990.

<https://doi.org/10.3174/ajnr.A5113>

30. Lishchuk VA, Gazizova DSh, Frolov SV. Mathematical model of vessel bifurcation addressed to cardiovascular clinic. Problems of current science and praxis. *V.I. Vernadski University.* 2009; 12(26): 127-131 [In Russ].

31. Ussov WYu, Plotnikov MP, Del' OA, et al Contrast-enhanced MRI of the aortic wall in the efficiency evaluation of ethyl methylhydroxypyridine succinate (mexidol) long-term use to prevent aorticprohression of aortic atherosclerosis. *Bulletin of new medical technologies.* 2018; 25(1): 125-132 [In Russ].

<https://doi.org/10.24411/1609-2163-2018-15973>

32. Khazanov VA. Pharmacological regulation of energy metabolism. *Experimental and clinical pharmacology.* 2009; 72(4): 61-64 [In Russ].