

ОСОБЕННОСТИ МОЗГОВОГО КРОВотоКА И РЕАКТИВНОСТИ СОСУДОВ У ПАЦИЕНТОВ С БОЛЬШИМИ И ГИГАНТСКИМИ ОПУХОЛЯМИ МОСТМОЗЖЕЧКОВОГО УГЛА

П.Г. Руденко^{1,2}, П.Г. Шнякин^{1,2}, А.Н. Наркевич^{1,3}, Т.А. Абакумова⁴, Н.В. Тюменцев^{1,2}, М.Н. Файзова¹

¹ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого» Минздрава России; Россия, 660022 Красноярск, ул. Партизана Железняка, 1;

²КГБУЗ «Краевая клиническая больница»; Россия, 660022 Красноярск, ул. Партизана Железняка, 3а;

³ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России; Россия, 454092 Челябинск, ул. Воровского, 64;

⁴КГБУЗ «Красноярская межрайонная клиническая больница скорой медицинской помощи им. Н.С. Карповича»; Россия, 660062 Красноярск, ул. Курчатова, 17

Контакты: Павел Геннадьевич Руденко rpg30@rambler.ru

Введение. Вестибулярные шванномы и менингиомы основания задней черепной ямки – одни из наиболее сложных новообразований для хирургического лечения. Летальность после их удаления достигает 13,5 %. Основные причины смерти – геморрагические и ишемические осложнения. В литературе отсутствуют сообщения об исследованиях тканевой перфузии стволовых структур и мозжечка и реактивности позвоночных и основной артерий у пациентов с внемозговыми новообразованиями задней черепной ямки, поэтому изучение кровоснабжения стволовых структур и мозжечка, а также функциональных характеристик позвоночных и основной артерий у таких пациентов представляет значительный интерес.

Цель исследования – провести оценку тканевой перфузии моста и мозжечка, а также реактивности позвоночных и основной (базиллярной) артерий у пациентов с большими и гигантскими вестибулярными шванномами и менингиомами основания задней черепной ямки.

Материалы и методы. Обследованы 82 пациента с большими и гигантскими внемозговыми опухолями основания задней черепной ямки. Медиана возраста составила 54 [44; 61] года. У 52,4 % пациентов были диагностированы вестибулярные шванномы, у 47,6 % – менингиомы пирамиды височной кости. Всем пациентам проведено дуплексное сканирование базиллярной и позвоночных артерий. Оценивали скорости кровотока, а также коэффициенты и индекс вазомоторной реактивности. Метаболическую реактивность мозгового кровотока исследовали путем выполнения гипер- и гипоксических тестов. Перфузионная компьютерная томография выполнена 18 пациентам. Определяли объем и скорость мозгового кровотока, среднее время прохождения и время пиковой концентрации контрастного вещества. Измерения проводили в 6 регионах интереса, расположенных симметрично в мосту, белом веществе полушарий мозжечка на стороне опухоли и на противоположной стороне.

Результаты. Линейные скорости кровотока в интракраниальных сегментах позвоночных и основной артерий у пациентов с новообразованиями были выше, чем у людей группы сравнения ($p < 0,05$). Для этих пациентов характерно снижение коэффициентов реактивности в позвоночных и основной артериях, особенно при выполнении гиперкапнических тестов ($p < 0,05$). Парадоксальная реактивность и ареактивность были диагностированы у 34,9 % пациентов с вестибулярными шванномами и 25,6 % – с менингиомами. В мосту на стороне опухоли у пациентов с вестибулярными шванномами было установлено снижение скорости мозгового кровотока на 19,3 %, повышение объема мозгового кровотока на 33,3 %, повышение среднего времени прохождения и времени пиковой концентрации контрастного вещества на 48,1 и 71,1 % соответственно ($p < 0,05$). У пациентов с менингиомами в мосту на стороне опухоли все перфузионные параметры были выше ($p < 0,05$). В глубоких отделах полушария мозжечка на стороне опухоли у пациентов с новообразованиями все перфузионные параметры были выше по сравнению с противоположной гемисферой.

Заключение. Результаты исследования позволили количественно оценить мозговой кровоток у пациентов с большими и гигантскими вестибулярными шванномами и менингиомами основания задней черепной ямки. Выявленные изменения свидетельствуют о риске развития патологических сосудистых реакций и нарушений мозгового кровотока в послеоперационном периоде.

Ключевые слова: вестибулярная шваннома, менингиома основания задней черепной ямки, реактивность позвоночных и основной артерий, перфузия моста и мозжечка

Для цитирования: Руденко П.Г., Шнякин П.Г., Наркевич А.Н. и др. Особенности мозгового кровотока и реактивности сосудов у пациентов с большими и гигантскими опухолями мостомозжечкового угла. Нейрохирургия 2024;26(3): 31–42.

DOI: <https://doi.org/10.17650/1683-3295-2024-26-3-31-42>

Peculiarities of cerebral blood flow and vascular reactivity in patients with large and giant tumors of the cerebello-pontine angle

P.G. Rudenko^{1,2}, P.G. Shnyakin^{1,2}, A.N. Narkevich^{1,3}, T.A. Abakumova⁴, N.V. Tyumentsev^{1,2}, M.N. Fayzova¹

¹V.F. Voino-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University, Ministry of Health of Russia; 1 Partizana Zheleznyaka St., Krasnoyarsk 660022, Russia;

²Krasnoyarsk Regional Clinical Hospital; 3a Partizana Zheleznyaka St., Krasnoyarsk 660022, Russia;

³South Ural State Medical University, Ministry of Health of Russia; 64 Vorovskogo St., Chelyabinsk 454092, Russia;

⁴N.S. Karpovich Krasnoyarsk Interdistrict Clinical Hospital of Emergency Medical Care; 17 Kurchatova St., Krasnoyarsk 660062, Russia

Contacts: Pavel Gennadievich Rudenko rpg30@rambler.ru

Background. Vestibular schwannomas and posterior fossa meningiomas are one of the most difficult tumors for surgical treatment. The mortality rate after their removal reaches 13.5 %. The main causes of death are hemorrhagic and ischemic complications. There are no studies in the literature on tissue perfusion of brainstem structures and cerebellum and reactivity of vertebral and basilar arteries in patients with extraaxial tumors of the posterior cranial fossa. Therefore, the study of the blood supply of the brainstem structures and cerebellum, as well as the functional characteristics of the vertebral and basilar arteries in these patients is of considerable interest.

Aim. To evaluate tissue perfusion of the pons and cerebellum, as well as the reactivity of the vertebral and basilar arteries in patients with large and giant vestibular schwannomas and posterior fossa meningiomas.

Materials and methods. Eighty-two patients with large and giant extraaxial tumors of the base of the posterior cranial fossa were examined. The median age was 54 [44; 61] years. Vestibular schwannomas were diagnosed in 52.4 % of patients, and meningiomas of the posterior cranial fossa were diagnosed in 47.6 %. All patients underwent duplex scanning of the basilar and vertebral arteries. We evaluated linear blood flow and coefficients of reactivity and index of vasomotor reactivity. We investigated the metabolic reactivity of cerebral blood flow by conducting hyper- and hypocapnic tests. Computed tomography perfusion imaging was performed in 18 patients. We detected cerebral blood volume, cerebral blood flow, mean transit time of contrast agent and time to peak of contrast agent. Measurements were carried out in six regions of interest located symmetrically on the pons and in the white matter of the cerebellar hemispheres on the side of the tumor and on the opposite side.

Results. Linear blood flow rates in the intracranial segments of the vertebral and the basilar arteries in patients with tumors were higher than in the comparison group ($p < 0.05$). These patients are characterized by a decrease of reactivity coefficients in the vertebral and basilar arteries, especially when performing hypercapnic tests ($p < 0.05$). Paradoxical reactivity and areactivity were diagnosed in 34.9 % of patients with vestibular schwannomas and 25.6 % with meningiomas. In the pons on the side of the tumor in patients with vestibular schwannomas, a decrease in cerebral blood flow by 19.3 %, an increase in cerebral blood volume by 33.3 % and an increase in mean transit time of contrast agent and in time to peak of contrast agent by 48.1 % and 71.1 % ($p < 0.05$) were found. In patients with meningiomas in the pons on the side of the tumor, all perfusion parameters were higher ($p < 0.05$). In the deep regions of the cerebellar hemisphere on the side of the tumor in patients with tumors, all perfusion parameters were higher compared to the opposite side.

Conclusion. The results of the study made it possible to quantify cerebral blood flow in patients with large and giant vestibular schwannomas and meningiomas of the posterior cranial fossa base. The revealed changes indicate the risk of developing pathological vascular reactions and disorders of cerebral blood flow in the postoperative period.

Keywords: vestibular schwannoma, meningioma of the base of posterior cranial fossa, reactivity of the vertebral and the basilar arteries, perfusion of the pons and cerebellum

For citation: Rudenko P.G., Shnyakin P.G., Narkevich A.N. et al. Peculiarities of cerebral blood flow and vascular reactivity in patients with large and giant tumors of the cerebello-pontine angle. Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery 2024;26(3):31–42. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.17650/1683-3295-2024-26-3-31-42>

ВВЕДЕНИЕ

Вестибулярные шванномы (ВШ) и менингиомы основания задней черепной ямки (МОЗЧЯ) традиционно считаются одними из наиболее сложных новообразований для хирургического лечения [1, 2]. И если

при опухолях небольших размеров показатели летальности близки к нулю, то при больших и гигантских новообразованиях они достигают 13,5 % [3] а у 70 % пациентов даже в отдаленном послеоперационном периоде отмечаются клинически значимые

неврологические нарушения [4]. Основные причины летальных исходов — геморрагические и ишемические осложнения [5–8].

Известно, что воздействие доброкачественной медленно растущей опухоли на мозг многофакторно и не ограничивается прямой компрессией. Резко расширенные сосуды опухоли, утратившие структурные и функциональные черты нормальных капилляров, приводят к снижению периферического сопротивления и являются морфологическим субстратом артериовенозного шунтирования вследствие увеличения кровотока через ткань опухоли, что приводит к «синдрому обкрадывания» в окружающих опухоль отделах головного мозга с очаговой церебральной гипоксией и ишемией [9–11]. Кроме того, следует отметить нарушения сосудистой иннервации, морфологические изменения стенок сосудов с повышением их проницаемости, а также сдавление и инфильтрацию сосудистой стенки с возможной окклюзией артерий разного калибра [12]. Имеют место и дисгемические расстройства, венозное полнокровие и отек, приводящие к гипоксии и последующим дистрофическим изменениям в нервных клетках [13].

Поисковые запросы в базах данных PubMed и eLIBRARY.RU за 2000–2022 гг. показали отсутствие исследований тканевой перфузии стволовых структур и мозжечка и реактивности позвоночных и основной (базилярной) артерий у пациентов с вне мозговыми новообразованиями задней черепной ямки. С учетом вышесказанного изучение кровоснабжения стволовых структур и мозжечка, а также функциональных характеристик позвоночных и основной артерий у пациентов с ВШ и МОЗЧЯ представляет значительный интерес с точки зрения выявления возможных предикторов развития сосудистых осложнений.

Цель исследования — провести оценку тканевой перфузии моста и мозжечка, а также реактивности позвоночных и базилярной артерий у пациентов с большими и гигантскими ВШ и МОЗЧЯ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На базе Краевой клинической больницы (Красноярск) проанализированы результаты обследования 82 пациентов с большими и гигантскими вне мозговыми опухолями основания задней черепной ямки. Диагноз устанавливали на основании клинико-анамнестических данных и результатов магнитно-резонансной томографии, а также гистологического исследования опухоли. Мужчин было 22 (26,8 %), женщин — 60 (73,2 %). Медиана возраста составила 54 [44; 61] года. Критерием включения в исследование явилось наличие у пациента ВШ размером >3 см или МОЗЧЯ >2,5 см, критериями исключения — наличие сопутствующей патологии в стадии декомпенсации, наличие экстракраниальной патологии позвоночных артерий, применение стереотаксических методов радиохирургии в анамнезе.

У 43 (52,4 %) пациентов были диагностированы ВШ, у 39 (47,6 %) — менингиомы пирамиды височной кости. Медиана диаметра опухоли составила 36 [26; 45] мм. У 49 (59,7 %) пациентов диагностированы большие размеры новообразований, у 33 (40,3 %) — гигантские. Медиана функционального статуса по шкале Карновского при поступлении в стационар составила 70 [60; 80] баллов.

Всем больным в дооперационном периоде через субокципитальное окно проводили дуплексное сканирование базилярной и интракраниальных сегментов позвоночных артерий на аппарате Acuson 128XP/10c в режиме сочетания цветного доплеровского изображения с В-режимом и импульсной доплерографией. Оценивали усредненные максимальные линейные скорости кровотока (ЛСК) по интракраниальным сегментам позвоночных и основной артерий в состоянии покоя.

Метаболическую реактивность мозгового кровотока исследовали путем выполнения гипер- и гипоксических тестов (пробы с произвольной задержкой дыхания и гипервентиляцией). Тесты на реактивность проводили на 20-й секунде задержки или учащенного дыхания вне зависимости от частоты сердечных сокращений после прекращения пробы.

Коэффициенты реактивности (КР) на гиперкапническую нагрузку (КР⁺) вычисляли по формуле K.F. Lindegaard (1986):

$$КР^+ = (V^+ / V^0 - 1) \times 100,$$

где V^0 — средняя максимальная ЛСК в состоянии покоя в см/с, а V^+ — средняя максимальная ЛСК на фоне гиперкапнической нагрузки в см/с.

Коэффициенты реактивности на гипоксическую нагрузку (КР⁻) определяли по формуле K.F. Lindegaard (1986):

$$КР^- = (1 - V^- / V^0) \times 100,$$

где V^0 — средняя максимальная ЛСК в состоянии покоя в см/с, а V^- — средняя максимальная ЛСК на фоне гипоксической нагрузки в см/с.

Индекс вазомоторной реактивности (ИВМР) вычисляли по формуле E.B. Ringelstein и соавт. (1988):

$$ИВМР = ((V^+ - V^-) / V^0) \times 100,$$

где V^0 — средняя максимальная ЛСК в состоянии покоя в см/с, V^+ — средняя максимальная ЛСК на фоне гиперкапнической нагрузки в см/с, V^- — средняя максимальная ЛСК на фоне гипоксической нагрузки в см/с [14].

Полученные результаты сравнивали с параметрами, выявленными при обследовании 50 человек без патологии головного мозга (группа сравнения). Группы

сравнения составили пациенты с остеохондрозом шейного отдела позвоночника, средний возраст — 46,24 ± 1,51 года.

Перфузионная компьютерная томография выполнена 18 пациентам. Исследование проводили на 64-срезовом томографе Siemens Definition AS с применением стандартного протокола сканирования (80 кВ, 120 мАс) и последующим постпроцессорным стандартным алгоритмом реконструкции.

В ходе исследования определяли показатели мозгового кровотока: объем мозгового кровотока (cerebral blood volume, CBV) (мл/100 г), скорость мозгового кровотока (cerebral blood flow, CBF) (мл/100 г/мин), среднее время прохождения контрастного вещества (mean transit time, МТТ) (с), время до достижения максимальной концентрации контрастного вещества (time to peak, ТТР) (с). Измерения проводили в 6 регионах интереса, расположенных симметрично в мосту, в белом веществе полушарий мозжечка на глубине 3 см (в работе они указаны как глубинные отделы) и белом веществе субкортикального вещества мозжечка (конвекситальные отделы) на стороне опухоли и на противоположной стороне. Полученные результаты сравнивали между собой.

Статистическую обработку полученных результатов проводили с применением методов описательной статистики и корреляционного анализа (программный пакет Statistica 8). Для проверки гипотезы о нормальности распределения использовали критерий Шапиро—Уилка. Учитывая тот факт, что большая часть данных была распределена ненормально, для их описания

использовали медиану, 25-й и 75-й процентиля. Оценку статистической значимости различий при сравнении 2 независимых групп осуществляли с помощью критерия Манна—Уитни, 2 связанных групп — критерия Уилкоксона. Критический уровень значимости (p) при проверке статистических гипотез в данном исследовании принимали равным 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Линейные скорости кровотока в интракраниальных сегментах позвоночных артерий у пациентов с ВШ были выше, чем у лиц группы сравнения, причем на здоровой стороне — статистически значимо (табл. 1).

Обращает на себя внимание снижение KP^+ в позвоночных артериях у пациентов с ВШ как на стороне поражения, так и на здоровой стороне ($p < 0,05$). При этом снижение KP^- и ИВМР носило характер тенденции, но не было статистически значимым.

В основной артерии ЛСК у пациентов с ВШ были выше, а ИВМР — ниже, чем в группе сравнения ($p < 0,05$) (табл. 2). KP также были ниже, но выявленные изменения носили характер тенденции.

У 8 (18,6 %) пациентов с ВШ была зарегистрирована ареактивность одной из позвоночных или основной артерии, когда ЛСК не менялась при проведении тестов. Еще в 7 (16,3 %) наблюдениях выявлена парадоксальная реактивность, когда ЛСК при проведении тестов вместо снижения увеличивалась и наоборот. Таким образом, суммарно ареактивность или парадоксальная реактивность отмечались у 15 (34,9 %) пациентов с большими и гигантскими ВШ.

Таблица 1. Линейные скорости кровотока и коэффициенты реактивности в позвоночных артериях (ПА) в группе пациентов с вестибулярными шванномами и в группе сравнения, $Me [Q_1; Q_3]$

Table 1. Linear blood flow rates and coefficients of reactivity in vertebral arteries (VA) in the group of patients with vestibular schwannomas and in the comparison group, $Me [Q_1; Q_3]$

Показатель Parameter	Основная группа (ПА на стороне опухоли) Main group (VA on the side of the tumor)	Основная группа (ПА на здоровой стороне) Main group (VA on the opposite side)	Группа сравнения (ПА) Comparison group (VA)	Достоверность различий Validity of differences
	1	2	3	
ЛСК, см/с LBFR, cm/sec	40,0 [34,0; 45,0]	40,0 [35,5; 47,5]	35,0 [29,2; 42,4]	$p_{1-3} = 0,052$ $p_{2-3} = 0,01^*$
KP^+ , % KR^+ , %	15,0 [8,3; 28,5]	22,5 [14,2; 33,3]	37,0 [23,5; 43,6]	$p_{1-3} = 0,002^*$ $p_{1-2} = 0,011^*$
KP^- , % KR^- , %	23,0 [14,2; 31,4]	23,6 [15,2; 35,0]	32,0 [22,4; 39,0]	$p_{1-3} = 0,457$ $p_{2-3} = 0,829$
ИВМР, % IVMR, %	35,1 [25,0; 59,0]	44,8 [29,4; 65,2]	70,4 [56,7; 78,2]	$p_{1-3} = 0,077$ $p_{1-2} = 0,091$

*Различия статистически значимы ($p < 0,05$).

Примечание. Здесь и в табл. 2—4: $Me [Q_1; Q_3]$ — медиана, нижний и верхний квартили; ЛСК — линейная скорость кровотока; KP^+ — коэффициент реактивности на гиперкапническую нагрузку; KP^- — коэффициент реактивности на гипокapническую нагрузку; ИВМР — индекс вазомоторной реактивности.

*Differences are statistically significant ($p < 0.05$).

Note. Here and in tables 2—4: $Me [Q_1; Q_3]$ — median, lower and upper quartiles; LBFR — linear blood flow rate; KR^+ — coefficient of reactivity when performing hypercapnic test; KR^- — coefficient of reactivity when performing hypocapnic test; IVMR — index of vasomotor reactivity.

Таблица 2. Линейные скорости кровотока и коэффициенты реактивности в основной (базиллярной) артерии (БА) в группе пациентов с вестибулярными шванномами и в группе сравнения, Me [Q₁; Q₃]Table 2. Linear blood flow rates and coefficients of reactivity in basilar artery (BA) in the group of patients with vestibular schwannomas and in the comparison group, Me [Q₁; Q₃]

Показатель Parameter	Основная группа (БА) Main group (BA)	Группа сравнения (БА) Comparison group (BA)	Достоверность различий Validity of differences
	1	2	
ЛСК, см/с LBFR, cm/sec	56,0 [46,0; 70,0]	48,8 [39,2; 60,0]	$p_{1-2} = 0,021^*$
КР ⁺ , % KR ⁺ , %	15,6 [7,6; 30,4]	34,0 [24,6; 42,0]	$p_{1-2} = 0,101$
КР ⁻ , % KR ⁻ , %	23,0 [11,5; 27,5]	30,2 [22,8; 42,4]	$p_{1-2} = 0,119$
ИБМР, % IVMR, %	35,0 [19,3; 56,0]	64,3 [46,2; 72,6]	$p_{1-2} = 0,047^*$

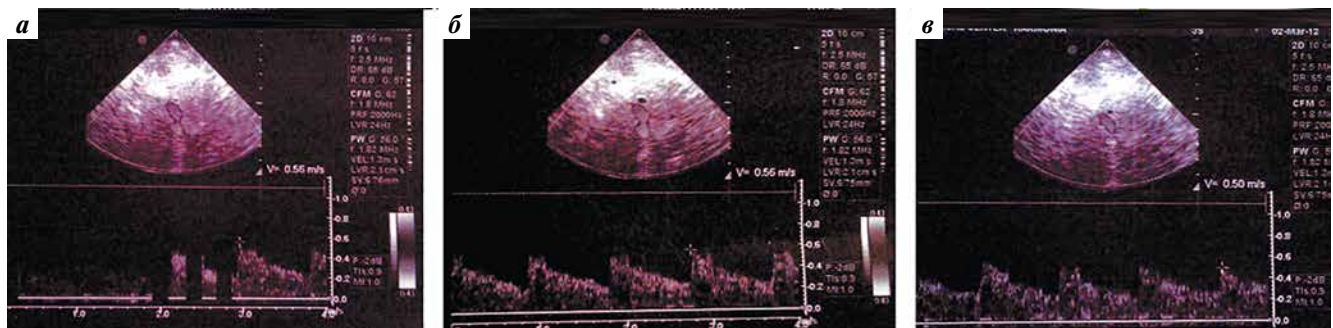
*Различия статистически значимы ($p < 0,05$).*Differences are statistically significant ($p < 0.05$).**Рис. 1.** Допплерография интракраниального сегмента правой позвоночной артерии у пациентки с гигантской вестибулярной шванномой на стороне опухоли: а — линейная скорость кровотока (ЛСК) 40 см/с в состоянии покоя; б — ЛСК 38 см/с при проведении пробы с задержкой дыхания. Парадоксальная реактивность; в — ЛСК 27 см/с при проведении пробы с гипервентиляцией. Коэффициент реактивности — 32,5 % (нормальная реактивность)

Fig. 1. The dopplerography images of intracranial segment of right vertebral artery on the side of the tumor in patient with giant vestibular schwannoma: a — linear blood flow (LBF) at rest is 40 sm/sec; б — LBF during performing hypercapnic test is 38 sm/sec. It is paradoxical reactivity; в — LBF during performing hypocapnic test is 27 sm/sec. Reactivity coefficient — 32.5 % (normal reactivity)

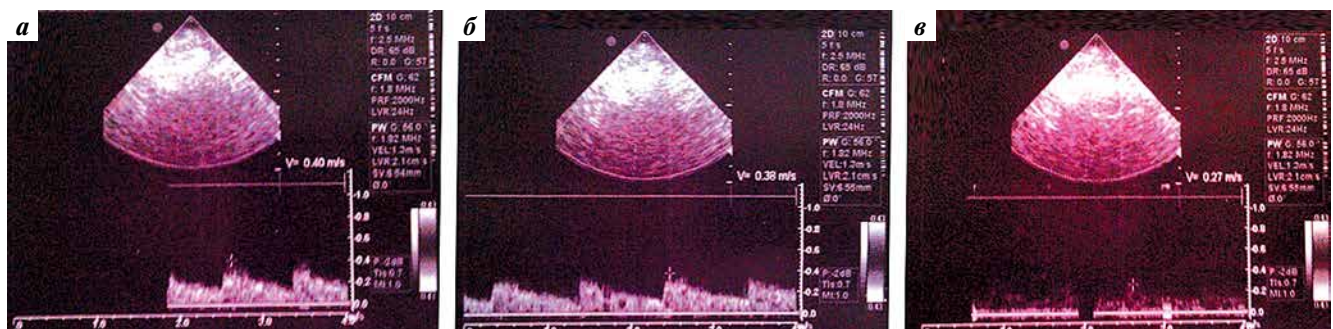
**Рис. 2.** Допплерография основной артерии у пациентки с гигантской вестибулярной шванномой: а — линейная скорость кровотока (ЛСК) 56 см/с в состоянии покоя; б — ЛСК 56 см/с при проведении пробы с задержкой дыхания. Ареактивность; в — ЛСК 50 см/с при проведении пробы с гипервентиляцией. Коэффициент реактивности — 11,2 % (низкая реактивность)

Fig. 2. The dopplerography images of basilar artery in patient with giant vestibular schwannoma: a — linear blood flow (LBF) at rest is 56 sm/sec; б — LBF during performing hypercapnic test is 56 sm/sec. It is absence of reactivity; в — LBF during performing hypocapnic test is 50 sm/sec. Reactivity coefficient — 11.2 % (low reactivity)

Таблица 3. Линейные скорости кровотока и коэффициенты реактивности в позвоночных артериях (ПА) в группе пациентов с менингиомами и в группе сравнения, Ме [Q₁; Q₃]Table 3. Linear blood flow rates and coefficients of reactivity in vertebral arteries (VA) in the group of patients with posterior fossa meningiomas and in the comparison group, Me [Q₁; Q₃]

Показатель Parameter	Основная группа (ПА на стороне опухоли) Main group (VA on the side of the tumor)	Основная группа (ПА на здоровой стороне) Main group (VA on the opposite side)	Группа сравнения (ПА) Comparison group (VA)	Достоверность различий Validity of differences
	1	2	3	
ЛСК, см/с LBFR, cm/sec	44,0 [36,5; 55,0]	44,0 [38,0; 53,0]	35,0 [29,2; 42,4]	$p_{1-3} = 0,025^*$ $p_{2-3} = 0,018^*$
КР ⁺ , % KR ⁺ , %	17,7 [4,7; 33,3]	21,9 [12,5; 34,0]	37,0 [23,5; 43,6]	$p_{1-3} = 0,022^*$ $p_{2-3} = 0,042^*$
КР ⁻ , % KR ⁻ , %	20,9 [13,4; 31,9]	22,8 [15,2; 30,4]	32,0 [22,4; 39,0]	$p_{1-3} = 0,016^*$ $p_{2-3} = 0,052$
ИВМР, % IVMR, %	44,0 [15,7; 65,7]	45,9 [26,4; 62,1]	70,4 [56,7; 78,2]	$p_{1-3} = 0,082$ $p_{2-3} = 0,094$

*Различия статистически значимы ($p < 0,05$).*Differences are statistically significant ($p < 0.05$).**Таблица 4.** Линейные скорости кровотока и коэффициенты реактивности в основной (базиллярной) артерии (БА) в группе пациентов с менингиомами и в группе сравнения, Ме [Q₁; Q₃]Table 4. Linear blood flow rates and coefficients of reactivity in basilar artery (BA) in the group of patients with posterior fossa meningiomas and in the comparison group, Me [Q₁; Q₃]

Показатель Parameter	Основная группа (БА) Main group (BA)	Группа сравнения (БА) Comparison group (BA)	Достоверность различий Validity of differences
	1	2	
ЛСК, см/с LBFR, cm/sec	60,0 [47,5; 72,0]	48,8 [39,2; 60,0]	$p_{1-2} = 0,019^*$
КР ⁺ , % KR ⁺ , %	17,8 [9,2; 26,9]	34,0 [24,6; 42,0]	$p_{1-2} = 0,092$
КР ⁻ , % KR ⁻ , %	20,0 [12,6; 31,6]	30,2 [22,8; 42,4]	$p_{1-2} = 0,042^*$
ИВМР, % IVMR, %	34,4 [21,5; 56,7]	64,3 [46,2; 72,6]	$p_{1-2} = 0,024^*$

*Различия статистически значимы ($p < 0,05$).*Differences are statistically significant ($p < 0.05$).

Представленные на рис. 1, 2 результаты доплерографии демонстрируют грубые нарушения реактивности основной и позвоночной артерий у пациентки с гигантской ВШ справа.

У пациентов с МОЗЧЯ ЛСК в интракраниальных сегментах позвоночных артерий были еще выше, причем выявленные изменения носили статистически значимый характер (табл. 3). Анализ результатов тестов на реактивность продемонстрировал снижение КР⁺ в обеих позвоночных артериях и КР⁻ — на стороне поражения ($p < 0,05$). ИВМР также были значительно ниже, но выявленные изменения носили характер тенденции.

Схожие данные были получены при исследовании ЛСК и показателей реактивности у пациентов с менингиомами в основной артерии (табл. 4). Показатели ЛСК были выше, а КР⁺ и ИВМР — ниже ($p < 0,05$).

Ареактивность одной из позвоночных или основной артерии у пациентов с менингиомами встречалась реже, чем у пациентов с шванномами, — в 3 (7,7 %) наблюдениях, а парадоксальная реактивность чаще — в 7 (17,9 %) наблюдениях.

При сравнении ЛСК, КР в позвоночных и основной артериях у пациентов с ВШ и менингиомами статистически значимых различий не выявлено.

При исследовании перфузионных показателей (табл. 5) в мосту на стороне шванномы по сравнению с противоположной стороной отмечалось снижение CBF на 19,3 % при повышении CBV на 33,3 % и статистически значимом повышении МТТ и ТТР на 48,1 и 71,1 % соответственно. В белом веществе полушария мозжечка на глубине 3 см на стороне опухоли все перфузионные параметры были выше по сравнению

Таблица 5. Результаты перфузионной компьютерной томографии у пациентов с вестибулярными шванномами, Ме [Q_1 ; Q_3]

Table 5. Results of computed tomography perfusion imaging in patients with vestibular schwannomas, Me [Q_1 ; Q_3]

Показатель Parameter	Область интереса Regions of interest	Сторона опухоли Side of the tumor	Противоположная сторона Opposite side	p
CBF, мл/100 г/мин CBF, ml/100 g/min	Мост Pons	39,2 [23,0; 49,2]	48,6 [29,6; 57,7]	0,682
	Глубокие отделы мозжечка Deep part of cerebellar hemisphere	60,8 [42,0; 76,6]	41,0 [34,8; 78,7]	0,086
	Конвекситальные отделы мозжечка Superficial part of cerebellar hemisphere	49,0 [32,2; 55,5]	48,4 [40,7; 55,5]	0,639
CBV, мл/100 г CBV, ml/100 g	Мост Pons	4,8 [3,1; 7,0]	3,2 [1,7; 4,1]	0,056
	Глубокие отделы мозжечка Deep part of cerebellar hemisphere	5,3 [4,1; 6,1]	3,6 [2,1; 3,9]	0,243
	Конвекситальные отделы мозжечка Superficial part of cerebellar hemisphere	2,4 [2,1; 3,1]	2,8 [2,4; 3,3]	0,572
MTT, с MTT, sec	Мост Pons	7,9 [6,7; 9,5]	4,1 [3,2; 5,4]	0,044*
	Глубокие отделы мозжечка Deep part of cerebellar hemisphere	4,3 [3,3; 5,7]	3,9 [3,0; 5,1]	0,824
	Конвекситальные отделы мозжечка Superficial part of cerebellar hemisphere	3,1 [3,0; 4,7]	4,1 [3,8; 5,0]	0,560
TTP, с TTP, sec	Мост Pons	4,5 [2,8; 6,0]	1,3 [1,0; 4,4]	0,045*
	Глубокие отделы мозжечка Deep part of cerebellar hemisphere	4,2 [3,0; 4,5]	3,9 [2,0; 4,2]	0,463
	Конвекситальные отделы мозжечка Superficial part of cerebellar hemisphere	3,6 [2,7; 5,1]	3,8 [2,6; 5,2]	0,876

*Различия статистически значимы ($p < 0,05$).

Примечание. Здесь и в табл. 6: Ме [Q_1 ; Q_3] – медиана, нижний и верхний квартили; CBF – скорость мозгового кровотока; CBV – объем мозгового кровотока; MTT – среднее время прохождения контрастного препарата; TTP – время достижения пика накопления контрастного препарата.

*Differences are statistically significant ($p < 0.05$).

Note. Here and in table 6: Me [Q_1 ; Q_3] – median, lower and upper quartiles; CBF – cerebral blood flow; CBV – cerebral blood volume; MTT – mean transit time; TTP – time to peak.

с противоположной гемисферой (на 33,0; 32,0; 9,3 и 7,1 % соответственно), но выявленные изменения носили характер тенденции и не были статистически значимы. В субкортикальных отделах полушария CBF была незначительно выше, а остальные показатели ниже (на 16,6; 32,2 и 5,5 % соответственно).

На рис. 3 представлены результаты магнитно-резонансной и перфузионной компьютерной томографии у пациента с большой ВШ.

У пациентов с МОЗЧЯ в мосту на стороне опухоли все перфузионные параметры были выше, чем на противоположной стороне, причем показатели CBF и CBV были выше почти в 2 раза, а TTP – более чем в 3 раза ($p < 0,05$) (табл. 6). На глубине 3 см в белом веществе полушария мозжечка на стороне поражения все перфузионные параметры также были выше. CBF была статистически значимо выше – на 36,2 %, а повышение CBV (на 44,4 %), MTT (на 15,7 %) и TTP (на 6,6 %) носило характер тенденции и не было статистически

значимым. В субкортикальных отделах гемисферы мозжечка на стороне менингиомы CBF была выше на 24,8 %, CBV – на 4,1 %, MTT – на 2,3 %, а TTP, напротив, была меньше более чем в 2 раза. Однако выявленные изменения также не были статистически значимы (см. табл. 6).

ОБСУЖДЕНИЕ

Расстройства церебральной гемодинамики у пациентов с интракраниальными новообразованиями происходят в результате внутричерепной гипертензии. Локализация и гистологическая структура опухоли, особенности ее васкуляризации и отношение к магистральным артериям и венозным коллекторам также существенно влияют на состояние системы мозгового кровообращения [9].

Результаты нашего исследования демонстрируют статистически значимое по сравнению с группой контроля увеличение скоростей кровотока по магистральным

Таблица 6. Результаты перфузионной компьютерной томографии у пациентов с менигиомами задней черепной ямки, $Me [Q_1; Q_3]$
 Table 6. Results of computed tomography perfusion imaging in patients with posterior fossa meningiomas $Me [Q_1; Q_3]$

Показатель Parameter	Область интереса Regions of interest	Сторона опухоли Side of the tumor	Противоположная сторона Opposite side	<i>p</i>
СВР, мл/100 г/мин CBF, ml/100 g/min	Мост Pons	104,9 [49,7; 162,5]	55,4 [53,4; 58,1]	0,042*
	Глубокие отделы мозжечка Deep part of cerebellar hemisphere	83,5 [39,5; 113,2]	53,4 [23,8; 93,7]	0,039*
	Конвекситальные отделы мозжечка Superficial part of cerebellar hemisphere	45,2 [24,4; 88,7]	34,0 [22,4; 111,0]	0,236
СВВ, мл/100 г CBV, ml/100 g	Мост Pons	5,3 [3,1; 11,9]	2,7 [2,3; 5,1]	0,021*
	Глубокие отделы мозжечка Deep part of cerebellar hemisphere	4,5 [2,5; 5,8]	2,5 [1,5; 4,4]	0,176
	Конвекситальные отделы мозжечка Superficial part of cerebellar hemisphere	2,4 [1,9; 6,8]	2,3 [1,8; 11,4]	0,589
МТТ, с MTT, sec	Мост Pons	4,7 [3,4; 4,9]	3,0 [3,0; 3,8]	0,016*
	Глубокие отделы мозжечка Deep part of cerebellar hemisphere	3,8 [3,3; 4,5]	3,2 [3,0; 3,9]	0,441
	Конвекситальные отделы мозжечка Superficial part of cerebellar hemisphere	4,2 [3,2; 4,9]	4,1 [3,1; 5,0]	0,790
ТТР/с TTP/sec	Мост Pons	3,4 [1,9; 6,0]	1,0 [1,0; 2,4]	0,045*
	Глубокие отделы мозжечка Deep part of cerebellar hemisphere	3,0 [2,0; 3,9]	2,8 [1,4; 3,9]	0,683
	Конвекситальные отделы мозжечка Superficial part of cerebellar hemisphere	1,3 [1,2; 3,0]	2,8 [1,6; 4,4]	0,176

*Различия статистически значимы ($p < 0,05$).

*Differences are statistically significant ($p < 0,05$).

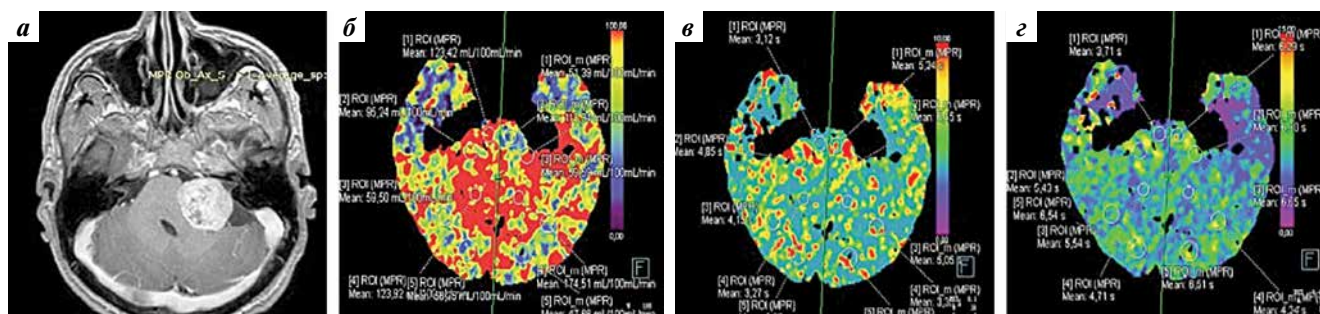


Рис. 3. Результаты магнитно-резонансной и перфузионной компьютерной томографии (КТ) у пациента с большой вестибулярной шванномой: а — магнитно-резонансная томограмма головного мозга в режиме T1 с парамагнетиком; б — показатели скорости мозгового кровотока по результатам перфузионной КТ; в — показатели среднего времени прохождения контрастного вещества по результатам перфузионной КТ; г — показатели времени пиковой концентрации контрастного вещества по результатам перфузионной КТ

Fig. 3. Results of magnetic resonance and computed tomography (CT) perfusion imaging in patient with big vestibular schwannoma: a — magnetic resonance imaging in T1 mode with paramagnetic; б — CT perfusion imaging: cerebral blood flow; в — CT perfusion imaging: mean transit time; г — CT perfusion imaging: time to peak

артериям задней черепной ямки у пациентов с большими и гигантскими ВШ и МОЗЧЯ, причем в группе больных с менигиомами ЛСК были выше. Выявленные изменения можно объяснить именно внутричерепной гипертензией, поскольку интенсивность кро-

вотока, степени васкуляризации и отношение этих новообразований к сосудам разные.

Ауторегуляция — одно из фундаментальных свойств церебрального кровообращения, характеризующееся способностью сосудов сохранять относительно

неизменной объемную скорость мозгового кровотока при изменениях перфузионного давления [14, 15]. В пределах диапазона ауторегуляции интенсивность мозгового кровотока остается относительно постоянной, а интегральным показателем его адаптационных возможностей является реактивность [9, 14]. Для исследования реактивности в клинической практике проводятся метаболические (фотостимуляция, гипогиперкапния) и миогенные (введение нитроглицерина) тесты [9].

А.Ю. Сбоев и соавт. (2011) исследовали мозговое кровообращение у пациентов с глиомами, менигиомами и метастазами супратенториальной локализации. Авторы не выявили статистически значимых различий в показателях ЛСК по сравнению с аналогичными параметрами у здоровых людей. В то же время было зарегистрировано статистически значимое повышение пульсативного индекса и снижение КР⁺ и КР⁻, что, по мнению исследователей, связано с перитуморозным отеком, масс-эффектом и повышением внутричерепного давления [16].

Допплерографические параметры средней мозговой артерии в отдаленном послеоперационном периоде изучали Е.С. Рабинович и соавт. (2016). Установлено, что у пациентов с базальными менигиомами сохраняются снижение систолической скорости кровотока ($67,96 \pm 1,18$ см/с) и повышение пульсативного индекса, что связано с увеличением периферического сопротивления и локальной ишемией [17].

Анализ изменений ЛСК в мозговых артериях после удаления глиом стволовой локализации представлен в работе С.В. Мадорского и соавт. (2009). Авторы показали, что в 74 % наблюдений в послеоперационном периоде отмечалось повышение ЛСК в основной артерии, из них в 32 % случаев это было расценено как проявление ангиоспазма. По мнению исследователей, увеличение ЛСК в основной артерии, особенно >90 см/с, является индикатором повышения внутричерепного давления и развивающихся отека и ишемии стволовых структур [18].

В большинстве исследований оценка цереброваскулярной реактивности в вертебробазилярном бассейне проводится на основании анализа изменений в основной, реже — в задней, мозговой артерии [9, 19]. Показатели реактивности основной артерии и интракраниальных сегментов позвоночных артерий у пациентов с новообразованиями задней черепной ямки практически не изучены.

Результаты нашего исследования продемонстрировали статистически значимое снижение КР⁺ и КР⁻ позвоночных и основной артерий у пациентов с большими и гигантскими ВШ и МОЗЧЯ. Крайние степени нарушения реактивности в виде парадоксальной и ареактивности были диагностированы более чем у трети (34,9 %) пациентов с ВШ и у каждого 4-го пациента (25,6 %) с МОЗЧЯ.

Расстройства ауторегуляции мозгового кровотока связывают с повышением внутричерепного давления [9]. Исходя из этого становятся понятными грубые нарушения реактивности магистральных артерий задней черепной ямки у пациентов с большими и гигантскими ВШ и МОЗЧЯ.

Перфузионная компьютерная томография позволяет неинвазивно количественно оценить тканевый капиллярный мозговой кровоток по картам скорости и объема (CBF и CBV), а также среднего времени транзита крови (МТТ) [20–23].

По данным исследований, в норме асимметрия показателей перфузии между большими полушариями мозга человека может достигать 12 %, а уменьшение до 15 % и ниже считается критерием гипоперфузии [23].

I. Sergides и соавт. (2009) изучали перитуморозную зону у пациентов с менигиомами. По сравнению с нормальной мозговой тканью в перитуморозной зоне авторы выявили значительное снижение CBV, небольшое повышение МТТ при сопоставимых значениях CBF. Исследователи отметили сходство перфузионных показателей перитуморозной зоны с параметрами зоны полутени при ишемическом инсульте [24]. Похожие данные получили А.М. Туркин и соавт. (2023). Измерения в зоне перифокального отека у пациентов с супратенториальными менигиомами продемонстрировали снижение скорости и объема локального кровотока по сравнению с контралатеральным полушарием, однако без статистического подтверждения [25]. А.В. Язвенко и соавт. (2009) в своей работе показали, что размер менигиомы >3 см является статистически значимым фактором дестабилизации мозгового кровотока с формированием внутримозгового «обкрадывания» и дистантных метаболических нарушений [10].

Исследований тканевой перфузии в церебральных структурах у пациентов с ВШ и МОЗЧЯ в доступной нам литературе не найдено.

У пациентов с большими и гигантскими ВШ в мосту на стороне опухоли мы выявили статистически значимое увеличение МТТ и ТТР, а также тенденцию к увеличению CBV и уменьшению CBF, что может указывать на гипоперфузию близлежащих к опухоли участков моста, а учитывая медианную величину показателя МТТ >6 с, — о выраженной гипоперфузии, что можно считать предиктором развития ишемических нарушений [23]. У пациентов с МОЗЧЯ в мосту на стороне опухоли все перфузионные параметры были статистически значимо выше, чем на контралатеральной стороне, что, напротив, свидетельствует о гиперперфузии [23]. Полученные нами результаты по пациентам с менигиомами отличаются от данных I. Sergides и соавт. и А.М. Туркина и соавт. Возможно, это обусловлено тем фактом, что предыдущие исследования проведены с участием пациентов с супратенториальной локализацией опухолей и при их меньших

размерах, возможно — небольшим количеством наблюдений в нашей серии.

Различия перфузионных параметров у пациентов с ВШ и МОЗЧЯ в мосту с высокой долей вероятности обусловлены разной васкуляризацией этих опухолей с соответствующей перестройкой кровотока в мозговых структурах. Определенную роль играет и разная степень поражения пиальной оболочки моста при этих новообразованиях.

У пациентов с большими и гигантскими ВШ и МОЗЧЯ в глубинных отделах мозжечка на стороне поражения выявлена тенденция к увеличению всех показателей перфузии. Подобные изменения могут указывать на процессы гиперемии [23]. Ранее в литературе было описано одновременное умеренное повышение всех перфузионных показателей в зоне, перифокальной некрозу, у пациентов с венозными и артериальными инсультами [23]. Выявленные изменения у пациентов с новообразованиями, безусловно, требуют дальнейшего изучения. В субкортикальных отделах гемисферы мозжечка на стороне поражения по сравнению со здоровой стороной не было выявлено каких-либо статистически значимых различий.

Полученные данные свидетельствуют о том, что у пациентов с ВШ на стороне поражения отмечаются гипоперфузионные изменения тканевого кровотока в мосту и проявления гиперперфузии в глубинных отделах гемисферы мозжечка, что обусловлено как прямым компрессионным воздействием новообразования, так и вторично развивающимися дисгемическими расстройствами. Для пациентов с МОЗЧЯ на стороне

поражения характерны проявления гиперперфузии как в мосту, так и в глубинных отделах полушария мозжечка, что противоречит данным литературы. Различия перфузионных параметров у пациентов с ВШ и МОЗЧЯ в мосту обусловлены разной степенью васкуляризации этих образований и вторичной перестройкой кровотока в близлежащих мозговых структурах. Выявленные изменения свидетельствуют о перестройке кровотока в близлежащих к опухоли церебральных структурах и риске развития сосудистых осложнений в послеоперационном периоде.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования позволили количественно оценить мозговой кровоток в вертебробазиллярном бассейне и субтенториальных мозговых структурах у пациентов с большими и гигантскими ВШ и МОЗЧЯ. При проведении метаболических тестов выявлено, что для таких пациентов характерны гипореактивность, а в ряде случаев — парадоксальная и ареактивность позвоночных и основной артерий. Анализ перфузионных параметров показал, что у пациентов с ВШ отмечается гипоперфузия моста и гиперемия глубинных отделов полушария мозжечка на стороне поражения. Для пациентов с менингиомами, напротив, на стороне поражения характерны процессы гиперемии — как в мосту, так и в мозжечке. Выявленные изменения свидетельствуют о риске развития патологических сосудистых реакций и нарушений мозгового кровотока в послеоперационном периоде.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Samii M., Gerganov V.M., Samii A. Functional outcomes after complete surgical removal of giant vestibular schwannomas. *J Neurosurg* 2010;112(4):860–7. DOI: 10.3171/2009.7.JNS0989
- Шиманский В.Н., Карнаухов В.В., Галкин М.В. и др. Лечение петрокливалных менингиом: современное состояние проблемы. *Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко* 2019;83(6): 78–89. DOI: 10.17116/neiro20198306178
- Shimanskiy V.N., Karnaukhov V.V., Galkin M.V. et al. Treatment of petroclival meningiomas: current state of the problem. *Voprosy nejrohirurgii im. N.N. Burdenko = Burdenko's Journal of Neurosurgery* 2019;83(6):78–89. (In Russ.). DOI: 10.17116/neiro20198306178
- Kazim S.F., Shamim M.S., Enam S.A., Bari M.E. Microsurgical excisions of vestibular schwannomas: a tumor-size-based analysis of neurological outcomes and surgical complications. *Surg Neurol Int* 2011;2:41. DOI: 10.4103/2152-7806.78516
- Иванова Н.Е., Олюшин В.Е., Кияшко С.С. Качество жизни больных, оперированных по поводу опухолей мостомозжечкового угла. *Российский нейрохирургический журнал им. проф. А.Л. Поленова* 2013;5(3):9–16.
- Ivanova N.E., Olyshin V.E., Kiyashko S.S. Quality of life of the patients after removal of surgical cerebellopontine angle tumors. *Rossiyskiy nejrohirurgicheskiy zhurnal im. prof. A.L. Polenova = Russian Journal of Neurosurgery* 2013;5(3):9–16. (In Russ.).
- Huang X., Xu J., Xu M. et al. Functional outcome and complications after the microsurgical removal of giant vestibular schwannomas *via* the retrosigmoid approach: a retrospective review of 16-year experience in a single hospital. *BMC Neurol* 2017;17(1):18. DOI: 10.1186/s12883-017-0805-6
- Ступак В.В., Пендюрин И.В. Результаты хирургического лечения больших и гигантских неврино слухового нерва. *Современные проблемы науки и образования* 2017;5:162.
- Stupak V.V., Pendyurin I.V. Surgical treatment results of large and giant acoustic neurinomas. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya = Modern Problems of Science and Education* 2017;5:162. (In Russ.).
- Hatch J., Bauschard M., Nguyen S. et al. National Trends in Vestibular Schwannoma Surgery: Influence of Patient Characteristics on Outcomes. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2018;159(1):102–9. DOI: 10.1177/0194599818765717
- Starnoni D., Giammattei L., Cossu G. et al. Surgical management for large vestibular schwannomas: a systematic review, meta-analysis, and consensus statement on behalf of the EANS skull base

- section. *Acta Neurochir (Wien)* 2020;162(11):2595–617. DOI: 10.1007/s00701-020-04491-7
9. Гайдар Б.В., Семенютин В.Б., Парфенов В.Е., Свистов Д.В. Транскраниальная доплерография в нейрохирургии. СПб.: Элби-СПб, 2008. 281 с.
Gaidar B.V., Semenyutin V.B., Parfenov V.E., Svistov D.V. *Transcranial doppler sonography in neurosurgery*. Saint Petersburg: Elbi-SPb, 2008. 281 p. (In Russ.).
 10. Язвенко А.В., Шмырев В.И., Рудас М.С., Васильев А.С. Возможности клинико-метаболической оценки при ведении больных с церебральными менингиомами. *Кремлевская медицина. Клинический вестник* 2009;4:54–9.
Yazvenko A.V., Shmirjev V.I., Rudas M.S., Vasiljev A.S. Possibilities of clinical and metabolic evaluation in treating patients with cerebral meningiomas. *Kremlevskaja medicina. Klinicheskij vestnik = Kremlin Medicine Journal* 2009;4:54–9. (In Russ.).
 11. Meningiomas. Diagnosis, treatment, and outcome. Ed. by J.H. Lee. London: Springer, 2009. 639 p.
 12. Древал О.Н., Лазарев В.А., Джинджихадзе Р.С., Рузикулов М.М. Нарушения мозгового кровообращения при опухолях головного мозга. *Нейрохирургия* 2013;2:98–101.
Dreval O.N., Lazarev V.A., Dzhindzhikhadze R.S., Ruzikulov M.M. Disturbances of cerebral blood flow at patients with brain tumors. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2013;2:98–101. (In Russ.).
 13. Мойсак Г.И., Олюшин В.Е., Фокин В.А. и др. Поражение ствола мозга при невриномах VIII нерва и субтенториальных менингиомах по данным магнитно-резонансной спектроскопии по водороду. *Бюллетень Сибирской медицины* 2008;7(5–1): 239–45. DOI: 10.20538/1682-0363-2008-5-1-239-245
Moisak G.I., Olyushin V.Ye., Fokin V.A. et al. Brain stem's damage in patients with acoustic neuromas and subtentorial meningiomas according to Proton Magnetic Resonance Spectroscopy. *Bulleten Sibirskoy meditsiny = Bulletin of Siberian Medicine* 2008; 7(5–1):239–45. (In Russ.). DOI: 10.20538/1682-0363-2008-5-1-239-245
 14. Свистов Д.В., Семенютин В.Б. Регуляция мозгового кровообращения и методы ее оценки методом транскраниальной доплерографии. *Регионарное кровообращение и микроциркуляция* 2003;4(10):20–7.
Svistov D.V., Semenyutin V.B. Regulation of cerebral circulation and methods of its assessment by transcranial Dopplerography. *Regionarnoe krovoobrashchenie i mikrocirkuljacija = Regional Blood Circulation and Microcirculation* 2003;4(10):20–7. (In Russ.).
 15. Бонь Е.И., Максимович Н.Е., Валько Н.А. Механизмы регуляции кровообращения головного мозга (обзор). *Оренбургский медицинский вестник* 2021;9(4):5–11.
Bon E.I., Maksimovich N.E., Valko N.A. Mechanisms of regulation of blood circulation in the brain (review). *Orenburgskiy medicinskij vestnik = Orenburg Medica Herald* 2021;9(4):5–11. (In Russ.).
 16. Сбоев А.Ю., Долгих В.Т., Ларькин В.И. Доплерографическая характеристика мозгового кровообращения при опухолях головного мозга супратенториальной локализации у лиц молодого и среднего возраста. *Сибирский медицинский журнал (Иркутск)* 2011;103(4):63–6.
Sboev A.Yu., Dolgikh V.T., Larkin V.I. Doppler characteristic of cerebral blood circulation in brain tumors of supratentorial localization among young and middle-aged people. *Sibirskij medicinskij zhurnal (Irkutsk) = Siberian Medical Journal (Irkutsk)* 2011;103(4):63–6. (In Russ.).
 17. Рабинович Е.С., Бузунов А.В., Ступак В.В., Короткая Н.А. Состояние мозгового кровотока у пациентов с церебральными менингиомами, оперированных с помощью неодимового лазера, в отдаленном послеоперационном периоде. *Современные проблемы науки и образования* 2016;2:59–66.
Rabinovich E.S., Buzunov A.V., Stupak V.V., Korotkaya N.A. The state of cerebral blood flow in patients with cerebral meningioma operated by Nd:YAG laser in the distant postoperative period. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya = Modern Problems of Science and Education* 2016;2:59–66. (In Russ.).
 18. Мадорский С.В., Парфенов А.Л., Хухлаева Е.А. и др. Изменения кровоснабжения мозга по данным транскраниальной эхографии после удаления опухолей ствола головного мозга. *Атмосфера. Нервные болезни* 2009;2:25–9.
Madorsky S.V., Parfenov A.L., Khukhlayeva Ye.A. et al. Changes in blood supply to the brain according to transcranial echography after removal of brain stem tumors. *Atmosfera. Nervnye bolezni = Atmosphere. Nervous Diseases* 2009;2:25–9. (In Russ.).
 19. Вишнякова А.Ю., Лелюк В.Г. Свойства сосудистой стенки позвоночных артерий у больных с ишемическими нарушениями мозгового кровообращения в вертебробазилярной системе. *Consilium Medicum* 2018;20(2):45–9. DOI: 10.26442/2075-1753_2018.2.45-49
Vishnyakova A.Y., Lelyuk V.G. Vascular wall properties of the vertebral arteries in patients with ischemic stroke in posterior circulation. *Consilium Medicum* 2018;20(2):45–9. (In Russ.). DOI: 10.26442/2075-1753_2018.2.45-49
 20. Пронин И.Н., Шульц Е.И., Подопригора А.Е. и др. Артериальная перфузионная компьютерная томография и прямая церебральная ангиография в нейрохирургической клинике при менингиомах: методика и результаты исследования. *Лучевая диагностика и терапия* 2012;3(3):58–63.
Pronin I.N., Shults E.I., Podoprigora A.E. et al. Arterial perfusion computed tomography and cerebral angiography in diagnosis of meningiomas: methodology and results. *Luchevaya diagnostika i terapiya = Diagnostic Radiology and Radiotherapy* 2012;3(3): 58–63. (In Russ.).
 21. Цыбульская Ю.А. Перфузионная компьютерная томография в диагностике интракраниальных новообразований. *Медицинская визуализация* 2014;3:40–50.
Tsybul'skaja Yu.A. Perfusion computer tomography in the diagnosis of intraaxial brain tumors. *Medicinskaya vizualizaciya = Medical Visualization* 2014;3:40–50. (In Russ.).
 22. Chen T., Guo D., Fang Z. et al. Preliminary study of whole-brain CT-perfusion in patients with intracranial tumours adjacent to large blood vessels. *Clin Radiol* 2014;69(1):e25–e32. DOI: 10.1016/j.crad.2013.08.010
 23. Семенов С.Е., Короткевич А.А., Коков А.Н. Рентгенологические аспекты диагностики церебральной гиперперфузии. *Лекция. Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний* 2020;9(3):108–17. DOI: 10.17802/2306-1278-2020-9-3-108-117
Semenov S.E., Korotkevich A.A., Kokov A.N. Radiological aspects of cerebral hyperperfusion syndrome diagnosis. *Lecture. Kompleksnye problemy serdechno-sosudistykh zabolevanij = Complex Issues of Cardiovascular Diseases* 2020;9(3):108–17. (In Russ.). DOI: 10.17802/2306-1278-2020-9-3-108-117
 24. Sergides I., Hussain Z., Naik S. et al. Utilization of dynamic CT perfusion in the study of intracranial meningiomas and their surrounding tissue. *Neurol Res* 2009;31(1):84–9. DOI: 10.1179/174313208X331563
 25. Туркин А.М., Мельникова-Пицхеллаури Т.В., Фадеева Л.М. и др. Перитуморозный отек при менингиомах и факторы, влияющие на его формирование: количественная оценка на основе КТ и МРТ. *Вопросы нейрохирургии им Н.Н. Бурденко* 2023;87(4):17–26. DOI: 10.17116/neuro20238704117
Turkin A.M., Melnikova-Pitskhelauri T.V., Fadeeva L.M. et al. Factors influencing peritumoral edema in meningiomas: CT- and MRI-based quantitative assessment. *Zhurnal Voprosy Neyrokhirurgii im. N.N. Burdenko = Burdenko's Journal of Neurosurgery* 2023;87(4):17–26. (In Russ.). DOI: 10.17116/neuro20238704117

Вклад авторов

П.Г. Руденко: разработка концепции и дизайна исследования, сбор, анализ и интерпретация данных, написание текста статьи, контроль за выполнением всех аспектов работы;

П.Г. Шнякин: разработка концепции и дизайна исследования, редактирование текста статьи;

А.Н. Наркевич: статистическая обработка данных, редактирование текста статьи;

Т.А. Абакумова, Н.В. Тюменцев, М.Н. Файзова: сбор, анализ и интерпретация данных.

Authors' contributions

P.G. Rudenko: research design development, data collection, analysis and interpretation, article writing, control of all aspects of the work;

P.G. Shnyakin: research design development, editing of the article;

A.N. Narkevich: statistical data processing, editing of the article;

T.A. Abakumova, N.V. Tyumentsev, M.N. Fayzova: data collection, analysis and interpretation.

ORCID авторов / ORCID of authors

П.Г. Руденко / P.G. Rudenko: <https://orcid.org/0000-0001-9390-3134>

П.Г. Шнякин / P.G. Shnyakin: <https://orcid.org/0000-0001-6321-4557>

А.Н. Наркевич / A.N. Narkevich: <https://orcid.org/0000-0002-1489-5058>

Т.А. Абакумова / T.A. Abakumova: <https://orcid.org/0009-0003-9696-4794>

Н.В. Тюменцев / N.V. Tyumentsev: <https://orcid.org/0000-0003-4478-3599>

М.Н. Файзова / M.N. Fayzova: <https://orcid.org/0000-0001-8738-6847>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики

Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого» Минздрава России. Все пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании.

Compliance with patient rights and principles of bioethics

The study protocol was approved by the local ethics committee of the V.F. Voino-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University of the Ministry of Health of Russia. All patients gave written informed consent to participate in the study.