

## Кровоток в стволе головного мозга у пациентов с черепно-мозговой травмой \*

Г.В. Данилов, Н.Е. Захарова, А.А. Потапов, В.Н. Корниенко, И.Н. Пронин, А.Г. Гаврилов, Е.В. Александрова, А.В. Ошоров, А.А. Сычев, А.А. Полупан

Современные методы нейровизуализации позволяют получать большое количество комплексных данных о состоянии головного мозга, значимых для лечения и прогноза черепно-мозговой травмы (ЧМТ). В настоящей работе исследован кровоток в стволе мозга у больных с ЧМТ с помощью компьютерной томографии в режиме перфузии (КТ-перфузии). Выявлены факторы расстройств кровотока в стволе головного мозга и установлена его зависимость от сохранности ауторегуляции мозгового кровообращения и наличия геморрагических повреждений ствола. Наибольшая вариабельность значений кровотока наблюдалась у больных с тяжелой ЧМТ и неблагоприятными исходами. КТ-перфузия оказалась удобным инструментом оценки кровотока на уровне среднего мозга.

**Ключевые слова:** черепно-мозговая травма, КТ-перфузия, кровоток в стволе мозга, магнитно-резонансная томография, ауторегуляция.

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 13-04-12061).

### Введение

Первые клинические исследования мозгового кровотока с применением инвазивных методов были проведены в середине XX в. [1]. Несмотря на большой арсенал современных методов нейровизуализации для изме-

рения церебрального кровотока, кровоток в стволе мозга по-прежнему остается плохо изученным [2–5].

На модели черепно-мозговой травмы (ЧМТ) традиционно изучаются фундаментальные механизмы повреждения головного мозга [6–12]. В клинических условиях компьютерная томография (КТ) в режиме перфузии (КТ-перфузия) является одним из наиболее удобных способов измерения параметров кровотока у пациентов с ЧМТ благодаря широкой доступности и относительной скорости этой методики.

В научной литературе последних 15 лет можно найти публикации, посвященные оценке кровотока в полушариях мозга у пациентов с ЧМТ, выполненные с помощью КТ-перфузии с ксеноном или кон-



**ДАНИЛОВ**  
**Глеб Валерьевич**  
Научно-исследовательский институт нейрохирургии им. академика Н.Н. Бурденко



**ЗАХАРОВА**  
**Наталья Евгеньевна**  
Научно-исследовательский институт нейрохирургии им. академика Н.Н. Бурденко



**ПОТАПОВ**  
**Александр Александрович**  
академик, профессор, директор Научно-исследовательского института нейрохирургии им. академика Н.Н. Бурденко



**КОРНИЕНКО**  
**Валерий Николаевич**  
академик, профессор, Научно-исследовательский институт нейрохирургии им. академика Н.Н. Бурденко



**ПРОНИН**  
**Игорь Николаевич**  
член-корреспондент РАН, профессор, Научно-исследовательский институт нейрохирургии им. академика Н.Н. Бурденко



**ГАВРИЛОВ**  
**Антон Григорьевич**  
Научно-исследовательский институт нейрохирургии им. академика Н.Н. Бурденко



**АЛЕКСАНДРОВА**  
**Евгения Владимировна**  
Научно-исследовательский институт нейрохирургии им. академика Н.Н. Бурденко



**ОШОРОВ**  
**Андрей Васильевич**  
Научно-исследовательский институт нейрохирургии им. академика Н.Н. Бурденко



**СЫЧЕВ**  
**Александр Анатольевич**  
Научно-исследовательский институт нейрохирургии им. академика Н.Н. Бурденко



**ПОЛУПАН**  
**Александр Александрович**  
Научно-исследовательский институт нейрохирургии им. академика Н.Н. Бурденко

трастным веществом [9,13–21]. Однако с момента внедрения этого метода в клиническую практику в 1980-х гг. он был крайне редко использован для изучения кровотока в стволе мозга [22, 23].

Пионерские исследования перфузии ствола мозга при ЧМТ были проведены с помощью КТ со стабильным ксеноном [24–26]. Авторы [26] предположили, что параметры кровотока в стволе мозга имеют прогностическое значение. Тем не менее в данной работе была допущена методологическая ошибка, связанная с включением крупных сосудов в область интереса при измерении кровотока.

Идеи исследования кровотока в полушарных и стволовых структурах получили свое развитие в работах сотрудников НИИ нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко. Авторы настоящей статьи исследовали кровоток в стволе на уровне среднего мозга. Была определена значительная корреляция между уровнем кровотока в стволе мозга и оценкой по шкале комы Глазго у пациентов с благоприятным исходом [2, 9, 13–15, 21, 27–29].

Цель данного исследования заключалась в изучении параметров КТ-перфузии в стволе головного мозга у пациентов с ЧМТ во взаимосвязи со структурными изменениями ствола и состоянием ауторегуляции мозгового кровотока.

### Материалы и методы

КТ-перфузию проводили пациентам со стабильной и контролируемой гемодинамикой при отсутствии реакций на йодсодержащие препараты, возможности транспортировки пациента и с учетом рекомендаций по безопасному проведению КТ-перфузии [11, 30] после утверждения аннотации и протокола исследования этическим комитетом и ученым советом НИИ нейрохирургии, только с письменного согласия близких родственников пациента. Решение о проведении перфузионной КТ принимали после совместного клинического обсуждения с участием нейрохирургов, неврологов, нейрореаниматологов и нейрорентгенологов, предполагая, что данные о состоянии регионарного объемного мозгового кровотока и его параметрах будут полезны для выявления скрытых зон гипо- или гиперперфузии, дополнительной оценки тяжести повреждения мозга и оптимизации лечебной тактики. У пациентов в коме проводили мониторинг артериального, внутричерепного, церебрального перфузионного давлений с вычислением индекса реактивности давления (PRx) в соответствии с международными протоколами [30–32].

При удовлетворении вышеперечисленным критериям пациенты были обследованы на компьютер-

ном томографе с последующей обработкой результатов КТ-перфузии на одной и той же рабочей станции. Для количественной оценки тканевой перфузии использовали традиционные параметры: объемную скорость мозгового кровотока (СВФ, от англ. cerebral blood flow, мл/100 г/мин), объем крови в единице вещества мозга (СВУ, от англ. cerebral blood volume, мл/100 г), среднее время транзита контрастного вещества (МТТ, с).

Перфузию в стволе измеряли на уровне среднего мозга. Стандартизированные зоны интереса устанавливались на одном уровне симметрично в правой и левой ножках мозга, а также в покрывке среднего мозга.

### Результаты и их обсуждение

Результаты измерения регионарного мозгового кровотока в период с 2005 по 2014 гг. были проанализированы для 76 пациентов с ЧМТ. Исследуемая группа состояла из 53 мужчин и 23 женщин возрасте 15–72 лет (средний возраст 30 лет). Подавляющее большинство больных (73.8%) получило ЧМТ в результате дорожно-транспортных происшествий, 13.2% пациентов пострадали от нападений, 11.8% были травмированы при падении, у 3% пациентов наблюдались другие механизмы травмы.

Тяжесть ЧМТ при поступлении оценивали по шкале комы Глазго (ШКГ) [33]. На момент госпитализации 39 (51.3%) пациентов находились в коме (ШКГ ≤ 8). Исход черепно-мозговой травмы был оценен по шкале исходов Глазго (ШИГ) [34] в первые 6 месяцев после травмы. Благоприятный исход (ШИГ = 4, 5) был достигнут у 32 (42.1%) пациентов, неблагоприятный (ШИГ = 1–3) наблюдался в 44 (57.9%) случаях.

Хирургические вмешательства в исследованной группе были выполнены у 38 пациентов с целью декомпрессии мозга (одно- и двусторонние декомпрессивные краниоэктомии, удаление внутримозговых гематом,

устранение вдавленных переломов костей черепа и т.д.).

КТ-перфузию проводили на 1–19-е сутки после травмы (в среднем на  $5\text{-е} \pm 4$  сутки). Более половины пациентов – 39 (51.3%) – были исследованы в первые три дня острого периода ЧМТ. Какой-либо тенденции в изменении уровней кровотока в зависимости от сроков проведения исследований установлено не было. Например, статистически значимой разницы между данными, полученными в первые четыре дня, в последние 15 дней мы не наблюдали.

В *таблице 1* показаны средние уровни кровотока, объема крови и среднего времени транзита контрастного вещества, а также стандартные отклонения и диапазоны значений. Средние значения для СВФ оказались практически идентичны в правой ( $29.33 \pm 11.98$  мл/100 г/мин) и левой ( $29.74 \pm 11.05$  мл/100 г/мин) ножках мозга и в покрывке среднего мозга ( $27.10 \pm 10.20$  мл/100 г/мин). Параметры СВВ и МТТ были схожи во всех трех зонах интереса.

В то же время каждый параметр КТ-перфузии в стволе мозга варьировал в довольно широком диапазоне значений (*табл. 1*). Этот диапазон значений различался при разной степени тяжести травмы (*рис. 1*). Наибольший разброс значений СВФ на-

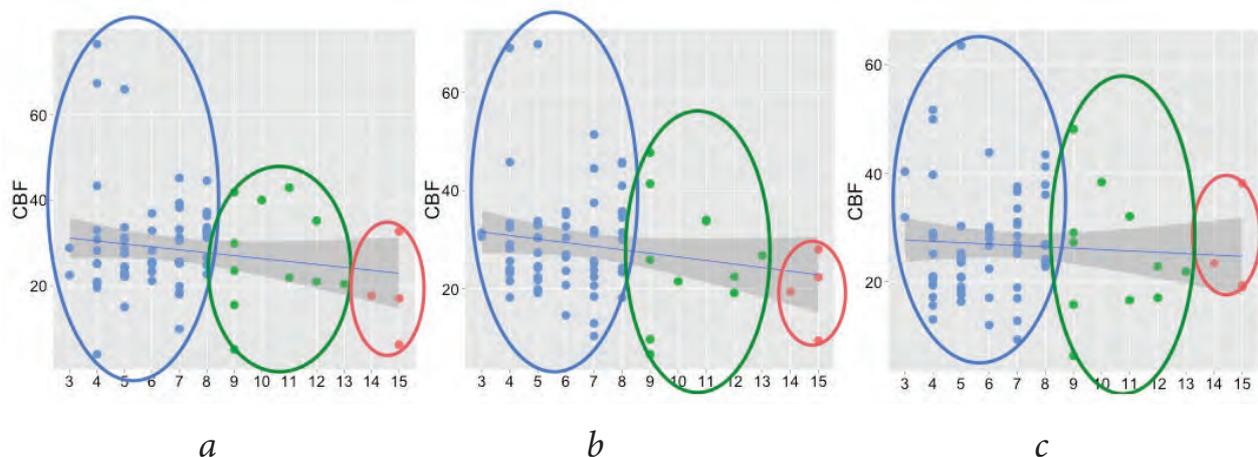
**Таблица 1.** Средние значения ( $\pm$  стандартное отклонение (СО)) и диапазоны значений СВФ, СВВ и МТТ в стандартизированных зонах интереса на уровне среднего мозга

Зона	СВФ (мл/100 г/мин)	СВВ (мл/100 г)	МТТ (с)
Правая ножка мозга	$28.43 \pm 12.05$	$1.76 \pm 0.74$	$3.96 \pm 1.12$
	4.03–76.38	0.25–5.47	0.70–7.30
Левая ножка мозга	$28.72 \pm 11.26$	$1.81 \pm 0.70$	$4.11 \pm 1.11$
	6.67–69.87	0.44–5.60	1.63–6.51
Покрывка среднего мозга	$26.68 \pm 10.27$	$1.77 \pm 0.73$	$4.45 \pm 1.34$
	6.32–63.55	0.16–5.29	0.93–9.12

блюдался у 39 пациентов в коме (ШКГ  $\leq 8$ ), пациенты с ЧМТ средней степени тяжести (ШКГ=9–13) имели менее широкий диапазон значений, а у пациентов с легкой ЧМТ наблюдалась минимальная изменчивость кровотока в стволе (*рис. 1*).

Чем объясняется такая изменчивость параметров кровотока в стволе мозга и какие факторы вносят вклад в эту изменчивость?

В физиологических условиях постоянство крови, протекающей через мозг, поддерживается сложной системой регуляции мозгового кровообращения, в частности механизмом ауторегуляции, в рамках ауторегуляторного диапазона оно не зависит от колебаний артериального давления. В клинических условиях состояние ауторегуляции можно оценить с помощью одновременного мониторинга внутричерепного давления и среднего артериального давления [9] с расчетом индекса реактивности PRx (от англ. pressure reactivity index) [32]. Показатель PRx отражает степень сохранности ауторегуляции. Если



**Рис. 1.** Кровоток в стволе мозга в правой (а) и левой (б) ножках мозга и покрывке среднего мозга (с) в зависимости от тяжести ЧМТ. Синим цветом обозначена тяжелая степень ЧМТ, зеленым – средняя степень ЧМТ, красным – легкая ЧМТ.

ауторегуляция мозгового кровотока страдает, внутричерепное давление может пассивно реагировать на колебания артериального давления с высоким коэффициентом PRx. Значение PRx больше 0.2 указывает на срыв механизмов ауторегуляции.

Пример зависимости кровотока в стволе мозга от состояния ауторегуляции показан на *рисунке 2* для одной из стандартизированных зон интереса. Сохранность ауторегуляции исследовали у 39 (51.3%) пациентов, для каждого из которых на графике показаны соответствующие значения CBF в правой ножке мозга и индекса реактивности PRx. Вертикальная пунктирная линия на уровне PRx = 0.2 разделяет значения кровотока, полученные у пациентов с сохранной (30 человек, точки голубого цвета) и нарушенной (9 пациентов, точки красного цвета) ауторегуляцией. При сохранности ауторегуляции зависимости между уровнем CBF и PRx не выявлено. При срыве ауторегуляции кровотоков тем интенсивнее, чем больше степень ее нарушения (*рис. 2*)

Аналогичная тенденция наблюдалась для значений CBV. Параметр МТТ оставался без существенных изменений, независимо от степени нарушения ауторегуляции.

Было показано, что увеличение объема прохождения крови в стволе головного мозга (CBV) несуще-

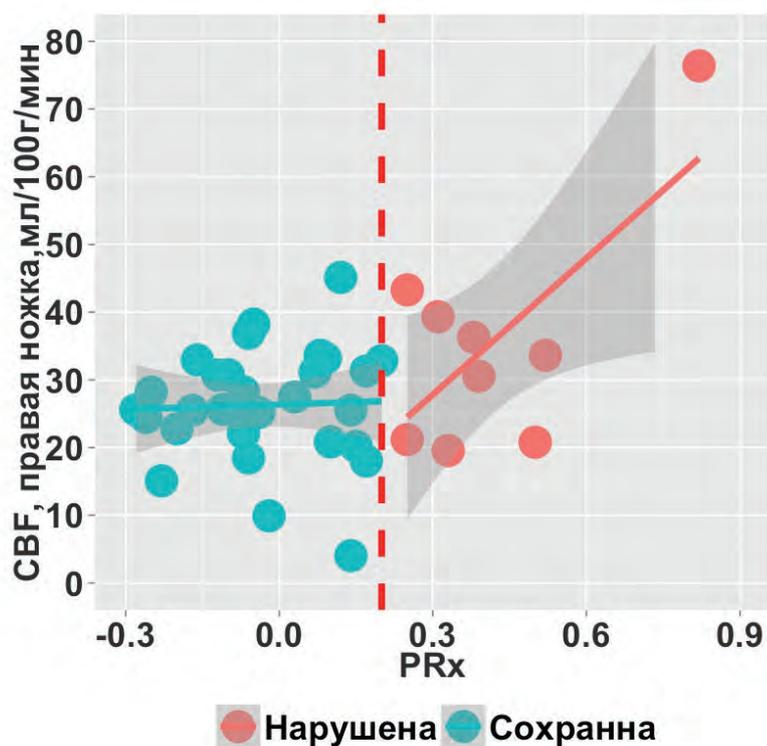


Рис. 2. Зависимость объемной скорости кровотока CBF в стволе мозга от состояния ауторегуляции у 39 пациентов (пояснения в тексте).

ственно, но статистически значимо связано с большей вероятностью неблагоприятного исхода. Самый широкий разброс значений CBF был характерен для пациентов со смертельным исходом. Тем не менее потенциальное прогностическое значение параметров кровотока головного мозга является предметом для дальнейшего тщательного исследования.

В данной работе 46 (60.5%) пациентам была проведена магнитно-резонансная томография (МРТ) головного мозга в высокочувствительных режимах (T2-FLAIR, SWAN, DWI, DTI). Первичные или вторичные поражения ствола головного мозга были выявлены у 27 (58.7%) пациентов.

Мы наблюдали значительное снижение кровотока у пациентов с очаговыми поражениями ствола мозга, если очаг попадал в стандартизированную зону интереса (*рис. 3*).

На *рисунке 4* показан пример диффузного аксонального повреждения с поражением ствола головного мозга. Этот пациент находился в коме в течение 37 дней и остался глубоким инвалидом. Уровень кровотока в очаге повреждения был крайне низким (4.03 мл/100 г/мин).

Максимальные значения CBF получены у пациента со вторичным повреждением ствола головного мозга. На карте кровотока (*рис. 5*) показана диффузная гиперемия в обоих полушариях и стволе головного мозга. За два дня до проведения КТ-перфузии у пациента произошла внезапная остановка сердечной деятельности. Высокие значения CBF объясняются расстройством ауторегуляции (PRx = 0.78) в результате этого эпизода. Пациент умер на четвертый день после травмы в результате декомпенсации сердечной деятельности.

Как меняется кровоток в стволе мозга у пациентов при восстановлении сознания после комы?

Нам удалось выполнить повторную КТ-перфузию у 14 (18.4%) пациентов после выхода из комы. Значе-

ния СВФ, полученные при повторной КТ-перфузии, были несколько ниже по сравнению с первым исследованием, однако статистически значимой разницы выявлено не было.

**Заключение**

В настоящее время изучение фундаментальных механизмов травмы головного мозга, в том числе патофизиологии бессознательных состояний, невозможно без мультимодальной нейровизуализации. Современные методы нейровизуализации позволяют обнаруживать микроструктурные и патофизиологические изменения в мозге, количественно оценивать состояние тканевой микроциркуляции, от которой зависит функциональная сохранность мозга.

У пациентов с ЧМТ могут наблюдаться расстройства кровотока в стволе головного мозга. Направленность изменений кровотока зависит от сохранности ауторегуляции мозгового кровообращения (тенденция к гиперемии при срыве ауторегуляции) и наличия повреждений ствола головного мозга (тенденция к снижению кровотока). Наибольшая вариабельность значений кровотока в стволе мозга наблюдается у больных с тяжелой ЧМТ и неблагоприятными исходами. Дальнейшие исследования диапазона и клинически значимых изменений кровотока в стволе мозга важны для улучшения представлений о патогенезе ЧМТ и оптимизации показаний к специальным лечебным мерам, в том числе хирургическим.

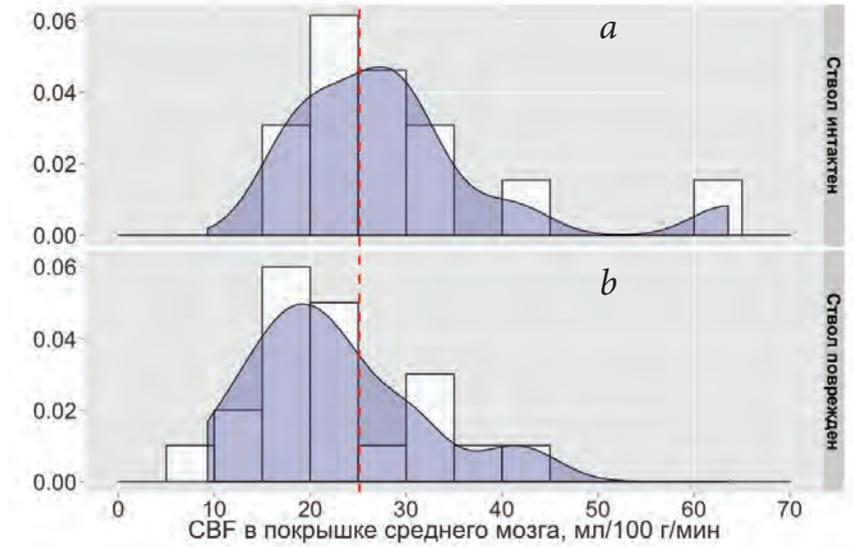


Рис. 3. Распределение CBF в стволе головного мозга в зависимости от наличия (а) и отсутствия (б) его очаговых повреждений (верификация у 46 пациентов с помощью МРТ).

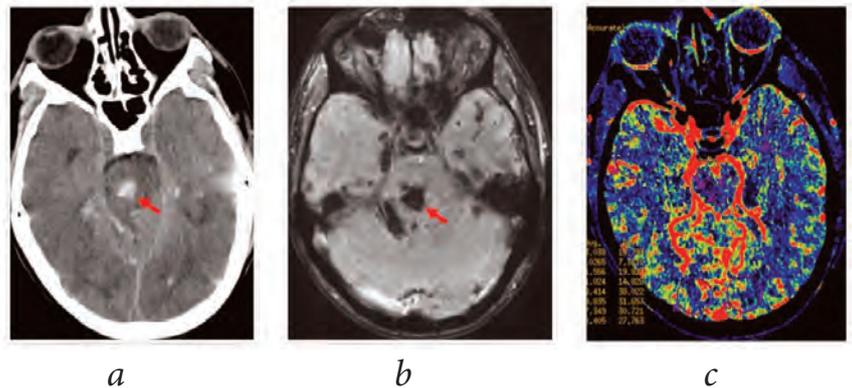


Рис. 4. Пример диффузного аксонального повреждения с первичным геморрагическим очагом в стволе головного мозга: компьютерная томография (а); МРТ (режим SWAN) (б); карта CBF (с). Значение CBF в зоне геморрагического очага в стволе – 4.0 мл/100 г/мин.

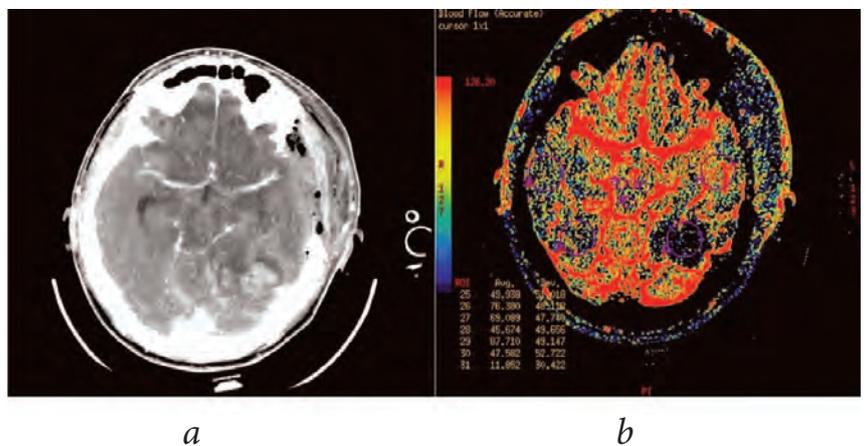


Рис. 5. Пример вторичного повреждения ствола мозга на фоне декомпенсации механизмов ауторегуляции: КТ-ангиография (а) и карта CBF (б). Повышение интенсивности кровотока CBF в среднем мозге – до 76.38 мл/100 г/мин.

## Литература

1. S.S. Kety, C.F. Schmidt  
*J. Clin. Invest.*, 1948, 27(4), 476. DOI: 10.1172/JCI101994.
2. N. Zakharova, V. Kornienko, A. Potapov, I. Pronin  
*Neuroimaging of Traumatic Brain Injury*, Springer International Publishing Switzerland, 2014, 159 pp. DOI: 10.1007/978-3-319-04355-5.
3. D.B. Davalos, T.L. Bennett  
*Appl. Neuropsychol.*, 2002, 9(2), 92. DOI: 10.1207/S15324826AN0902\_4.
4. J.A. Detre, H. Rao, D.J.J. Wang, Y.F. Chen, Z. Wang  
*JMRI*, 2012, 35(5), 1026. DOI: 10.1002/jmri.23581.
5. T.R. Harrington, K. Manwaring, J. Hodak  
In *Intracranial Pressure VI: Proc. of the Sixth Int. Symp. on Intracranial Pressure (Glasgow, Scotland, June 9–13, 1985)*, Eds J.D. Miller, G.M. Teasdale, J.O. Rowan, S.L. Galbraith, A.D. Mendelow, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag Publ., 1986, pp. 680–686.
6. А.А. Потапов, Н.Е. Захарова, В.Н. Корниенко, И.Н. Пронин, Е.В. Александрова, О.С. Зайцев, Л.Б. Лихтерман, А.Г. Гаврилов, Г.В. Данилов, А.В. Ошоров, А.А. Сычев, А.А. Полуван  
*Журнал «Вопросы нейрохирургии» им. Н.Н. Бурденко*, 2014, 78, №1, 4.
7. Л.Ю. Глазман, А.А. Потапов, Д. Томас  
*Журнал «Вопросы нейрохирургии» им. Н.Н. Бурденко*, 1988, №4, 35.
8. О.А. Максакова  
Автореф. дисс. канд. мед. наук, НИИ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко, Москва, 1978, 26 с.
9. А.В. Ошоров, И.А. Савин, А.С. Горячев, К.А. Попугаев, А.А. Полуван, А.А. Сычев, А.Г. Гаврилов, А.Д. Кравчук, Н.Е. Захарова, Г.В. Данилов, А.А. Потапов  
*Анестезиология и реаниматология*, 2013, №4, 44.
10. А.А. Потапов, А.Н. Коновалов, В.Н. Корниенко, А.Д. Кравчук, Л.Б. Лихтерман, И.Н. Пронин, Н.Е. Захарова, Е.В. Александрова, А.Г. Гаврилов, С.А. Горяинов, Г.В. Данилов  
*Вестник Российской Академии Наук*, 2015, 85(4), 299.
11. И.Н. Пронин, Л.М. Фадеева, Н.Е. Захарова, М.Б. Долгушин, В.Н. Корниенко  
*Медицинская визуализация*, 2007, №3, 8.
12. А.Р. Шахнович, Л.С. Милованова  
В *Нейрохирургическая патология сосудов головного мозга*, под ред. А.Н. Коновалова, А.П. Ромоданова, Ю.М. Филатова, Ф.М. Лясса, Н.Я. Васина, Москва, Институт нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко, 1974, с. 9–17.
13. Н.Е. Захарова, В.Н. Корниенко, А.А. Потапов, И.Н. Пронин  
*Нейровизуализация структурных и гемодинамических нарушений при травме мозга*, Москва, Изд. ИП «Т.А. Алексеева», 2013, 156 с.
14. Н.Е. Захарова, А.А. Потапов, В.Н. Корниенко, И.Н. Пронин, О.С. Зайцев, А.Г. Гаврилов, А.Д. Кравчук, А.В. Ошоров, А.А. Сычев, Е.В. Александрова, Л.М. Фадеева, С.В. Такуш, А.А. Полуван  
*Лучевая диагностика и терапия*, 2012, 3(3), 79.
15. А.А. Потапов, Н.Е. Захарова, И.Н. Пронин, В.Н. Корниенко, А.Г. Гаврилов, А.Д. Кравчук, А.В. Ошоров, А.А. Сычев, О.С. Зайцев, Л.М. Фадеева, С.В. Такуш  
*Журнал «Вопросы нейрохирургии» им. Н.Н. Бурденко*, 2011, 75, №3, 3.
16. P. Kaloostian, C. Robertson, S.P. Gopinath, M. Stippler, C.C. King, C. Qualls, H. Yonas, E.M. Nemoto  
*J. Neurotrauma*, 2012, 29(5), 727. DOI: 10.1089/neu.2011.2147.
17. J.F. Soustiel, E. Mahamid, D. Goldsher, M. Zaaroor  
*Neuroradiology*, 2008, 50(2), 189. DOI: 10.1007/s00234-007-0337-7.
18. M. Wintermark, J.-P. Thiran, P. Maeder, P. Schnyder, R. Meuli  
*AJNR*, 2001, 22(5), 905.
19. M. Wintermark, P. Maeder, J.-P. Thiran, P. Schnyder, R. Meuli  
*Eur. Radiology*, 2001, 11(7), 1220. DOI: 10.1007/s003300000707.
20. M. Wintermark, G. van Melle, P. Schnyder, J.-P. Revelly, F. Porchet, L. Regli, R. Meuli, P. Maeder, R. Chioléro  
*Radiology*, 2004, 232(1), 211. DOI: 10.1148/radiol.2321030824.
21. N. Zakharova, A. Potapov, V. Kornienko, I. Pronin, A. Gavrillov, A. Kravchuk, E. Alexandrova, G. Danilov, A. Oshorov, A. Sychev  
In *Proc. 15th WFNS World Congress of Neurosurgery, (8–13 September 2013, Republic Of Korea, Seoul)*, Abstract FA1154.
22. L. Axel  
*Radiology*, 1980, 137(3), 679. DOI: 10.1148/radiology.137.3.7003648.
23. H. Segawa  
*Neurosurgical Review*, 1985, 8(1), 27. DOI: 10.1007/BF01744875.
24. D.W. Marion, J. Darby, H. Yonas  
*J. Neurosurg.*, 1991, 74(3), 407. DOI: 10.3171/jns.1991.74.3.0407.
25. G.J. Bouma, J.P. Muizelaar, W.A. Stringer, S.C. Choi, P. Fatouros, H.F. Young  
*J. Neurosurgery*, 1992, 77(3), 360. DOI: 10.3171/jns.1992.77.3.0360.
26. A.M. Ritter, J.P. Muizelaar, T.M.S. Barnes, S. Choi, P. Fatouros, J. Ward, M.R. Bullock  
*Neurosurgery*, 1999, 44(5), 941.
27. Г.В. Данилов, Н.Е. Захарова, А.А. Потапов, В.Н. Корниенко, И.Н. Пронин, А.Г. Гаврилов, Е.В. Александрова, А.В. Ошоров, А.А. Сычев, А.А. Полуван, И.В. Мацковский  
В Сб. мат. IV Междунар. конф. «Фундаментальные и прикладные аспекты восстановления сознания после травмы мозга: междисциплинарный подход» (Санкт-Петербург, 03–04 октября, 2014), Санкт-Петербург, Изд. «Человек и его здоровье», 2014, с. 27–28.
28. V.N. Kornienko, I.N. Pronin  
*Diagnostic Neuroradiology*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009, 1288 pp. DOI: 10.1007/978-3-540-75653-8.
29. N. Zakharova, A. Potapov, I.N. Pronin, L.M. Fadeeva, D. Gunba, V.N. Kornienko  
*Neuroradiology*, 2006, 48(Suppl. 2), 164. DOI: 10.1007/s00234-006-0139-3.
30. M. Wintermark, P. Maeder, F.R. Verdun, J.-P. Thiran, J.-F. Valley, P. Schnyder, R. Meuli  
*AJNR*, 2000, 21(10), 1881.
31. А.А. Потапов, В.В. Крылов, Л.Б. Лихтерман, С.В. Царенко, А.Г. Гаврилов, С.С. Петриков  
*Журнал «Вопросы нейрохирургии» им. Н.Н. Бурденко*, 2006, №1, 3.
32. M. Czosnyka, P. Smielewski, P. Kirkpatrick, R.J. Laing, D. Menon, J.D. Pickard  
*Neurosurgery*, 1997, 41(1), 11.
33. G. Teasdale, B. Jennett  
*Lancet*, 1974, 304(7872), 81. DOI: 10.1016/S0140-6736(74)91639-0.
34. B. Jennett, M. Bond  
*Lancet*, 1975, 305(7905), 480. DOI: 10.1016/S0140-6736(75)92830-5.



## References

1. S.S. Kety, C.F. Schmidt  
*J. Clin. Invest.*, 1948, 27(4), 476. DOI: 10.1172/JCI101994.
2. N. Zakharova, V. Kornienko, A. Potapov, I. Pronin  
*Neuroimaging of Traumatic Brain Injury*, Springer International Publishing Switzerland, 2014, 159 pp. DOI: 10.1007/978-3-319-04355-5.
3. D.B. Davalos, T.L. Bennett  
*Appl. Neuropsychol.*, 2002, 9(2), 92. DOI: 10.1207/S15324826AN0902\_4.
4. J.A. Detre, H. Rao, D.J.J. Wang, Y.F. Chen, Z. Wang  
*JMRI*, 2012, 35(5), 1026. DOI: 10.1002/jmri.23581.
5. T.R. Harrington, K. Manwaring, J. Hodak  
In *Intracranial Pressure VI: Proc. of the Sixth Int. Symp. on Intracranial Pressure* (Glasgow, Scotland, June 9–13, 1985), Eds J.D. Miller, G.M. Teasdale, J.O. Rowan, S.L. Galbraith, A.D. Mendelow, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag Publ., 1986, pp. 680–686.
6. A.A. Potapov, N.E. Zakharova, V.N. Kornienko, I.N. Pronin, E.V. Aleksandrova, O.S. Zaitsev, L.B. Likhтерman, A.G. Gavrillov, G.V. Danilov, A.V. Oshorov, A.A. Sychev, A.A. Polupan  
*J. "Problems of Neurosurgery" named after N.N. Burdenko* [Zhurnal "Voprosy neyrokhirurgii" imeni N.N. Burdenko], 2014, №1, 4. (in Russian).
7. L.Y. Glazman, A.A. Potapov, J. Thomas  
*J. "Problems of Neurosurgery" named after N.N. Burdenko* [Zhurnal "Voprosy neyrokhirurgii" imeni N.N. Burdenko], 1988, №4, 35. (in Russian).
8. O.A. Maksakova  
Abstr. PhD Thesis in Medical Sciences [Abst. Dissertation for the degree of Candidate of Medical Sciences], Burdenko Neurosurgery Research Institute, RF, Moscow, 1978, 26 pp. (in Russian).
9. A.V. Oshorov, I.A. Savin, A.S. Goryachev, K.A. Popugaev, A.A. Polupan, A.A. Sychev, A.G. Gavrillov, A.D. Kravchuk, N.E. Zakharova, G.V. Danilov, A.A. Potapov  
*J. Anaesthesiology and Reanimatology* [Anesteziologiya i Reanimatologiya], 2013, №4, 44. (in Russian).
10. A.A. Potapov, A.N. Kononov, V.N. Kornienko, A.D. Kravchuk, L.B. Likhтерman, I.N. Pronin, N.E. Zakharova, E.V. Aleksandrova, A.G. Gavrillov, S.A. Goryainov, G.V. Danilov  
*Herald of the Russian Academy of Sciences* [Vestnik Rossiyskoy Akademii Nauk], 2015, 85(2), 112. DOI: 10.1134/S1019331615020124.
11. I.N. Pronin, L.M. Fadeeva, N.E. Zaharova, M.B. Dolgushin, V.N. Kornienko  
*J. Medical Visualization* [Meditsinskaya vizualizatsiya], 2007, №3, 8. (in Russian).
12. A.R. Shakhnovich, L.S. Milovanova  
In *Neurosurgical pathology of cerebral blood vessels* [Neyrokhirurgicheskaya patologiya sosudov golovnoy mozga], Eds A.N. Kononov, A.P. Romodanov, Yu.M. Filatov, F.M. Lyass, N.Ya. Vasin, RF, Moscow, Burdenko Neurosurgery Research Institute Publ., 1974, pp. 9–17. (in Russian).
13. N.E. Zakharova, V.N. Kornienko, A.A. Potapov, I.N. Pronin  
*Neuroimaging of structural and haemodynamic disorders at traumatic brain injury* [Neyrovizualizatsiya strukturnykh i gemodinamicheskikh narusheniy pri travme mozga], RF, Moscow, T.A. Alekseeva Publ., 2013, 156 pp. (in Russian).
14. N.E. Zakharova, A.A. Potapov, V.N. Kornienko, I.N. Pronin, O.S. Zaitsev, A.G. Gavrillov, A.D. Kravchuk, A.V. Oshorov, A.A. Sychev, E.V. Alexandrova, L.M. Fadeeva, S.V. Takush, A.A. Polupan  
*J. Diagnostic Radiol. Radiother.* [Luchevaya diagnostika i terapiya], 2012, 3(3), 79. (in Russian).
15. A.A. Potapov, N.E. Zakharova, I.N. Pronin, V.N. Kornienko, A.G. Gavrillov, A.D. Kravchuk, A.V. Oshorov, A.A. Sychev, O.S. Zaitsev, L.M. Fadeeva, S.V. Takush  
*J. "Problems of Neurosurgery" named after N.N. Burdenko* [Zhurnal "Voprosy neyrokhirurgii" imeni N.N. Burdenko], 2011, №3, 3. (in Russian).
16. P. Kaloostian, C. Robertson, S.P. Gopinath, M. Stippler, C.C. King, C. Qualls, H. Yonas, E.M. Nemoto  
*J. Neurotrauma*, 2012, 29(5), 727. DOI: 10.1089/neu.2011.2147.
17. J.F. Soustiel, E. Mahamid, D. Goldsher, M. Zaaroor  
*Neuroradiology*, 2008, 50(2), 189. DOI: 10.1007/s00234-007-0337-7.
18. M. Wintermark, J.-P. Thiran, P. Maeder, P. Schnyder, R. Meuli  
*AJNR*, 2001, 22(5), 905.
19. M. Wintermark, P. Maeder, J.-P. Thiran, P. Schnyder, R. Meuli  
*Eur. Radiology*, 2001, 11(7), 1220. DOI: 10.1007/s00330000707.
20. M. Wintermark, G. van Melle, P. Schnyder, J.-P. Revelly, F. Porchet, L. Regli, R. Meuli, P. Maeder, R. Chioldero  
*Radiology*, 2004, 232(1), 211. DOI: 10.1148/radiol.2321030824.
21. N. Zakharova, A. Potapov, V. Kornienko, I. Pronin, A. Gavrillov, A. Kravchuk, E. Alexandrova, G. Danilov, A. Oshorov, A. Sychev  
In *Proc. 15th WFNS World Congress of Neurosurgery*, (8–13 September, 2013, Republic Of Korea, Seoul), Abstract FA1154.
22. L. Axel  
*Radiology*, 1980, 137(3), 679. DOI: 10.1148/radiology.137.3.7003648.
23. H. Segawa  
*Neurosurgical Review*, 1985, 8(1), 27. DOI: 10.1007/BF01744875.
24. D.W. Marion, J. Darby, H. Yonas  
*J. Neurosurg.*, 1991, 74(3), 407. DOI: 10.3171/jns.1991.74.3.0407.
25. G.J. Bouma, J.P. Muizelaar, W.A. Stringer, S.C. Choi, P. Fatouros, H.F. Young  
*J. Neurosurgery*, 1992, 77(3), 360. DOI: 10.3171/jns.1992.77.3.0360.
26. A.M. Ritter, J.P. Muizelaar, T.M.S. Barnes, S. Choi, P. Fatouros, J. Ward, M.R. Bullock  
*Neurosurgery*, 1999, 44(5), 941.
27. G.V. Danilov, N.E. Zakharova, A.A. Potapov, V.N. Kornienko, I.N. Pronin, A.G. Gavrillov, E.V. Alexandrova, A.V. Oshorov, A.A. Sychev, A.A. Polupan, I.V. Matskovski  
In *Proc. IV Int. Conf. «Mental Recovery After Traumatic Brain Injury: A Multidisciplinary Approach»*, (RF, Saint-Petersburg, October 3–4, 2014), RF, Saint-Petersburg, «Chelovek i ego zdorove» Publ., 2014, pp. 28–29.
28. V.N. Kornienko, I.N. Pronin  
*Diagnostic Neuroradiology*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009, 1288 pp. DOI: 10.1007/978-3-540-75653-8.
29. N. Zakharova, A. Potapov, I.N. Pronin, L.M. Fadeeva, D. Gunba, V.N. Kornienko  
*Neuroradiology*, 2006, 48(Suppl. 2), 164. DOI: 10.1007/s00234-006-0139-3.
30. M. Wintermark, P. Maeder, F.R. Verdun, J.-P. Thiran, J.-F. Valley, P. Schnyder, R. Meuli  
*AJNR*, 2000, 21(10), 1881.
31. A.A. Potapov, V.V. Krylov, L.B. Likhтерman, S.V. Tsarenko, A.G. Gavrillov, S.S., Petrikov  
*J. «Problems of Neurosurgery» named after N.N. Burdenko* [Zhurnal "Voprosy neyrokhirurgii" imeni N.N. Burdenko], 2006, №1, 3. (in Russian).
32. M. Czosnyka, P. Smielewski, P. Kirkpatrick, R.J. Laing, D. Menon, J.D. Pickard  
*Neurosurgery*, 1997, 41(1), 11.
33. G. Teasdale, B. Jennett  
*Lancet*, 1974, 304(7872), 81. DOI: 10.1016/S0140-6736(74)91639-0.
34. B. Jennett, M. Bond  
*Lancet*, 1975, 305(7905), 480. DOI: 10.1016/S0140-6736(75)92830-5.