

Профилактика развития дизрезорбтивной шунтзависимой гидроцефалии у пациентов после разрыва артериальных аневризм сосудов головного мозга

О.Г. Симонян¹, А.В. Природов^{1,2}, Е.Ю. Бахарев¹, А.А. Гринь^{1,2}

¹ГБУЗ г. Москвы «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения г. Москвы»; Россия, 129090 Москва, Большая Сухаревская пл., 3;
²ФГАУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России; Россия, 117513 Москва, ул. Островитянова, 1

Контакты:

Овик Горович
Симонян
ovik.sim@bk.ru

Дизрезорбтивная гидроцефалия является одним из грозных осложнений, возникающих в отдаленном периоде нетравматического субарахноидального кровоизлияния вследствие разрыва артериальной аневризмы головного мозга. Развитие данного осложнения существенно влияет на функциональные исходы у больных данной категории. В обзоре освещены эпидемиология, факторы риска, а также актуальные методы профилактики данного осложнения, в частности особое внимание уделено методу интратекального фибринолиза, способного в сочетании с дренированием цереброспинальной жидкости влиять на частоту развития дизрезорбтивной гидроцефалии и вторичной ишемии головного мозга.

Ключевые слова: дизрезорбтивная гидроцефалия, дренирование цереброспинальной жидкости, интратекальный фибринолиз

Для цитирования: Симонян О.Г., Природов А.В., Бахарев Е.Ю., Гринь А.А. Профилактика развития дизрезорбтивной шунтзависимой гидроцефалии у пациентов после разрыва артериальных аневризм сосудов головного мозга. Нейрохирургия 2026;28(2):104–12.

DOI: <https://doi.org/10.63769/1683-3295-2026-28-2-104-112>

Prevention of malresorptive shunt-dependent hydrocephalus development in patients after cerebral aneurysms rupture

O. G. Simonyan¹, A. V. Prirodov^{1,2}, E. Yu. Bakharev¹, A. A. Grin^{1,2}

¹Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, Moscow Healthcare Department; 3 Bolshaya Sukharevskaya Plashchad, Moscow 129090, Russia;

²N.I. Pirogov Russian National Research Medical University, Ministry of Health of Russia; 1 Ostrovityanova St., Moscow 117513, Russia

Contacts: Ovik Gorovich Simonyan ovik.sim@bk.ru

Dysresorptive hydrocephalus is one of the formidable complications that occur in the long-term period of non-traumatic subarachnoid hemorrhage due to rupture of an arterial aneurysms of the brain. The development of this complication significantly affects the functional outcomes in this category of patients. The review highlights the epidemiology, risk factors and current methods of preventing this complication, in particular, special attention is paid to the method of intrathecal fibrinolysis, which, in combination with cerebrospinal fluid drainage can affect the incidence of dysresorptive hydrocephalus and secondary cerebral ischemia.

Keywords: dysresorptive shunt-dependent hydrocephalus, drainage of cerebrospinal fluid, intrathecal fibrinolysis

For citation: Simonyan O.G., Prirodov A.V., Bakharev E.Yu., Grin A.A. Prevention of malresorptive shunt-dependent hydrocephalus development in patients after cerebral aneurysms rupture. Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery 2026;28(2):104–12.

DOI: <https://doi.org/10.63769/1683-3295-2026-28-2-104-112>

ВВЕДЕНИЕ

Нетравматическое субарахноидальное кровоизлияние (САК) вследствие разрыва артериальной аневризмы сосудов головного мозга является заболеванием, характеризующимся высокой частотой смертности и развитием грубых неврологических нарушений [1, 2]. Летальность, по разным данным, может составлять от 8,3 до 66,7 % [3]. Согласно данным литературы, примерно 10–20 % больных с аневризматическим САК умирают еще на догоспитальном этапе [4, 5], а летальность в первые 2–3 нед варьирует от 30 до 40 % [6, 7]. Кроме того, инвалидизация среди выживших пациентов достигает 30 % [1, 3, 8]. Одной из причин низких функциональных исходов у пациентов с аневризматическим САК является развитие в отдаленном периоде дизрезорбтивной гидроцефалии.

Дизрезорбтивная гидроцефалия является отсроченным осложнением, развивающимся вследствие нетравматического САК на фоне разрыва артериальной аневризмы головного мозга, может существенно ухудшать функциональные исходы и впоследствии требует выполнения ликворшунтирующей операции [6, 8–15].

Формирование данного осложнения значительно снижает реабилитационный потенциал пациентов, ухудшает функциональные результаты, а проведение нового оперативного вмешательства уже в целях лечения развившейся гидроцефалии создает дополнительные риски периоперационных осложнений, что в конечном итоге может приводить к неблагоприятному исходу лечения [8, 16, 17].

ЭПИДЕМИОЛОГИЯ И ФАКТОРЫ РИСКА

Частота развития дизрезорбтивной гидроцефалии варьирует, по разным данным, от 10 до 30 % от всех пациентов, перенесших САК вследствие разрыва артериальной аневризмы (табл. 1) [9–12, 18–26].

По данным НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского, частота развития дизрезорбтивной гидроцефалии в отдаленном периоде аневризматического САК составляет 18 % [6, 7, 18, 27–33].

В настоящее время вопрос о причинах развития дизрезорбтивной гидроцефалии остается нерешенным. Одними из ключевых факторов, способствующих развитию данного осложнения в отдаленном периоде аневризматического САК, являются фиброз и склерозирование

Таблица 1 | Table 1

Частота развития дизрезорбтивной гидроцефалии по данным литературы
Frequency of development of dysresorptive hydrocephalus according to literature data

Автор, год, источник Author, year, source	Число пациентов в исследовании Number of patients in the study	Гендерное разделение мужчины/женщины Gender distribution male/female	Общее количество шунтирующих операций по поводу дизрезорбтивной гидроцефалии, n (%) Total number of shunt operations for dysresorptive hydrocephalus, n (%)
L. Esteban Estallo et al., 2024 [12]	238	-	28 (11,7)
M. Lenski et al., 2019 [9]	63	21/42	21 (33,3)
X. Hao, D. Wei, 2019 [10]	845	317/528	121 (14,3)
J.H. Kim et al., 2019 [11]	254	74/180	47 (18,5)
D. Dising et al., 2018 [27]	314	-	61 (27,1)
C. Woernle et al., 2013 [28]	389	-	91 (23,4)
M.K. Tso et al., 2016 [29]	413	121/292	71 (17,2)
H.A. Zaidi et al., 2015 [30]	471	139/332	147 (31,2)
H. Yu et al., 2014 [31]	202	81/121	40 (19,8)
H.O. Erixon et al., 2014 [32]	90	26/64	30 (33,3)
I.S. Bae et al., 2014 [33]	215	75/140	30 (14)
F. Rincon et al., 2010 [18]	580	189/391	61 (10,5)

пахсионных грануляций, возникающих вследствие воспалительной реакции в ответ на попадание сгустков крови и продуктов ее распада в субарахноидальное пространство. В конечном итоге развивающийся адгезивный асептический арахноидит приводит к нарушению ликвородинамики в виде дизрезорбции ликвора в желудочковой системе головного мозга, что является отправной точкой последующей клинко-инструментальной картины гидроцефалии [6, 9, 16, 19–25].

В процессе изучения патогенеза на первый план выходит выявление основных факторов риска, значительно повышающих частоту развития дизрезорбтивной гидроцефалии.

По данным НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского, частоту развития дизрезорбтивной гидроцефалии повышают следующие факторы [6, 16, 17]:

- пожилой возраст пациентов (старше 70 лет);
- женский пол;
- \geq III степень тяжести состояния по шкале Hunt–Hess;
- массивное САК по данным компьютерной томографии (КТ) (\geq III степень по шкале Fisher);
- наличие внутрижелудочкового кровоизлияния разной степени интенсивности;
- расширение желудочков мозга по данным КТ в остром периоде САК;
- клинко-инструментальная картина ангиоспазма;
- аневризмы, локализованные в задних отделах артериального круга большого мозга;
- эндоваскулярное выключение аневризм.

Однако, по данным Н.А. Zaidi и соавт., статистически значимых различий в частоте развития дизрезорбтивной гидроцефалии, основанной на способе выполненного хирургического лечения (открытого или эндоваскулярного закрытия аневризм), не выявлено [30]. Схожие результаты получены Z. Xie и соавт., по данным которых эндоваскулярное закрытие аневризм не являлось фактором риска развития дизрезорбтивной гидроцефалии [34]. При этом в данных работах авторы указывают на то, что у пациентов с более массивным кровоизлиянием (\geq III степень по шкале Fisher) частота развития дизрезорбтивной гидроцефалии выше.

Противоречивость полученных данных, касающихся степени влияния способа оперативного вмешательства (открытого или эндоваскулярного) в лечении аневризм в остром периоде САК на развитие дизрезорбтивной гидроцефалии, имеет патогенетическое обоснование. При эндоваскулярном методе лечения отсутствует возможность механического удаления сгустков крови, деградация которых является основополагающим в каскаде последующих изменений в ликвородинамике.

В работе С.Д. Wilson и соавт. продемонстрировано, что высокая частота развития дизрезорбтивной гидро-

цефалии в женской популяции, вполне вероятно, связана больше с тем, что аневризматическая болезнь сосудов головного мозга чаще встречается у данной категории больных [35].

Степень кровоизлияния по данным КТ головного мозга, оцениваемая по шкале Fisher, не только позволяет оценить риски развития вазоспазма у больных данной категории [36, 37], но и является прогностически значимым критерием, который выявляет больных с более высоким риском развития дизрезорбтивной гидроцефалии. Так, у пациентов с кровоизлиянием \geq III степени по шкале Fisher чаще развивается гидроцефалия [32, 33, 37–40].

Оценка неврологического статуса является одним из первых методов, позволяющих получить представление о степени тяжести состояния пациента. Для больных с аневризматическим САК используют шкалу Hunt–Hess [41]. По данным литературы, высокие баллы (3 и более) по данной шкале коррелируют с повышенным риском развития дизрезорбтивной гидроцефалии и, соответственно, с худшим функциональным исходом [33, 34, 38–40, 42].

Внутрижелудочковое кровоизлияние также является независимым фактором риска развития дизрезорбтивной гидроцефалии, имеющим патогенетическую основу, так как при нем существенно меняется ликвородинамика [19, 27–29, 34, 35, 40].

Церебральный ангиоспазм у пациентов с аневризматическим САК – общеизвестное осложнение, негативно влияющее на исходы лечения данного заболевания [26, 35, 43–45].

Так, Z. Dogaи и соавт. выявили, что 36 (35,3 %) из 102 пациентов с клиническими и инструментальными признаками вазоспазма требовалось впоследствии выполнение шунтирующей операции [38]. Аналогично в исследованиях L. Chen и соавт., P. Di Russo и соавт. сделан вывод, что клинически значимый и инструментальный ангиоспазм увеличивал риск развития дизрезорбтивной гидроцефалии [40, 46].

Стоит отметить, что во многих работах, оценивающих предикторы развития дизрезорбтивной гидроцефалии, авторы делают акцент на степень кровоизлияния, наличие симптомного вазоспазма и выявленных очагов ранней ишемии при КТ головного мозга [27, 44, 45, 47].

В метаанализе L. Chen и соавт. рассмотрен вопрос о влиянии различных факторов риска, помимо вышеперечисленных, на частоту развития дизрезорбтивной гидроцефалии [40]:

- возраст пациентов старше 50 лет – прогностически неблагоприятный фактор развития дизрезорбтивной гидроцефалии (относительный риск (ОР) 2,32; 95 % доверительный интервал (ДИ) 1,44–3,73; $p = 0,0005$);

- повторный разрыв артериальной аневризмы и повторное САК повышают частоту развития дизрезорбтивной гидроцефалии в 2 раза (ОР 2,43; 95 % ДИ 1,68–3,50; $p < 0,00001$);
- наличие внутримозговой гематомы – дополнительный фактор риска развития дизрезорбтивной гидроцефалии (ОР 1,27; 95 % ДИ 1,14–1,41; $p < 0,00001$);
- внутричерепная инфекция – крайне неблагоприятный фактор риска. По данным авторов, перенесенный менингит повышал частоту развития дизрезорбтивной гидроцефалии в 5 раз (ОР 4,63; 95 % ДИ 3,92–5,47; $p < 0,00001$).

Многими авторами предпринимаются попытки объединить изучаемые и описываемые факторы риска в прогностические шкалы. Так, R. Jabbarli и соавт. в период с 2008 по 2013 г. проанализировали данные 242 пациентов с аневризматическим САК, у 75 (31 %) из которых развилась дизрезорбтивная гидроцефалия. Авторы провели статистический анализ факторов риска, влияющих на частоту развития данного осложнения. На основании этого была сформирована прогностическая шкала CHES (Chronic Hydrocephalus Ensuing from SAH Score). В ее основе лежат 5 основных пунктов: $\geq IV$ степень тяжести состояния пациента по шкале Hunt–Hess (1 балл), расположение разорвавшейся аневризмы в области вертебро-базилярного бассейна (1 балл), наличие острой окклюзионной гидроцефалии (4 балла), внутрижелудочковое кровоизлияние (1 балл), наличие участков ишемии головного мозга по данным КТ головного мозга при поступлении пациента в стационар (1 балл). Таким образом, у пациентов с 6 баллами и более по шкале CHES частота развития дизрезорбтивной гидроцефалии была значительно выше, чем в группе пациентов, имевших более низкие (<6 баллов) результаты по данной шкале [47].

В дальнейшем D. Diesing и соавт. была предложена новая шкала раннего прогноза развития дизрезорбтивной гидроцефалии. Анализ историй болезни 225 пациентов показал, что в отдаленном периоде 27,1 % пациентов нуждались в установке шунтирующей системы. На основании результатов статистического анализа большинства факторов риска, приводящих к дизрезорбтивной гидроцефалии, была сформирована новая шкала – SDASH (Shunt Dependency After SAH score), которая учитывала следующие критерии: наличие острой окклюзионной гидроцефалии (2 балла), 3 балла и более по шкале BNI (Barrow Neurological Institute) (1 балл), $\geq IV$ степень тяжести состояния пациента по шкале Hunt–Hess (1 балл). Соответственно, максимально возможное количество баллов – 4. По данным авторов, при 0 баллов по шкале SDASH частота развития дизрезорбтивной гидроцефалии – 2,9 %, при 1 балле – 18,6 %, при 2 баллах – 40,6 %, при 3 баллах – 50 %, при 4 баллах – 76,2 % [27, 44, 45].

МЕТОДЫ ПРОФИЛАКТИКИ

На данный момент в литературе встречаются в основном работы, посвященные изучению уже состоявшегося осложнения – дизрезорбтивной гидроцефалии. Однако вопрос о способах профилактики развития данного состояния в отдаленном периоде аневризматического САК остается мало исследованным и диктует необходимость его изучения [6, 7, 16, 18–20, 25, 26, 29, 30, 32–35, 43, 48–50].

Фундаментальной причиной, вызывающей обширный воспалительный каскад в арахноидальной оболочке, нарушающей ликвородинамику, являются излившаяся кровь и продукты ее распада вследствие разрыва артериальной аневризмы сосудов головного мозга. Использование методов максимально скорого очищения субарахноидального пространства от сгустков крови имеет патогенетическое обоснование в профилактике развития дизрезорбтивной гидроцефалии [6, 9, 16, 19–22, 26, 43].

Одним из таких методов санации субарахноидального пространства от сгустков крови является интраоперационная широкая арахноидальная диссекция. Благодаря данному способу хирургу удастся не только тщательно эвакуировать сгустки крови из субарахноидального пространства, но и выполнить вентрикулоцистерностомию со вскрытием межжировой цистерны. Это создает альтернативный путь для циркуляции спинномозговой жидкости, что значительно улучшает ликвородинамику в условиях массивного САК [6, 7, 26, 35, 39, 43].

Влиянию вскрытия терминальной пластинки на улучшение функциональных исходов путем снижения частоты развития дизрезорбтивной гидроцефалии и симптомного вазоспазма посвящено множество работ. Так, W. Jiang и соавт. продемонстрировали эффективность вентрикулоцистерностомии в профилактике развития дизрезорбтивной гидроцефалии [51]. Аналогичные результаты были получены группой авторов, изучивших влияние данного метода на исходы после массивного САК вследствие разрыва артериальной аневризмы сосудов головного мозга [52, 53].

Однако M. Акуз и соавт., сравнивая частоту развития дизрезорбтивной гидроцефалии между группами пациентов, которым проводили изолированное вскрытие терминальной пластинки, и пациентов, которым выполняли комбинированную вентрикулоцистерностомию со вскрытием межжировой цистерны, не выявили статистически значимых различий. Авторы отмечают, что оба метода одинаково эффективны в профилактике развития отсроченных осложнений и улучшении функциональных исходов [54].

Также стоит отметить, что обширная арахноидальная диссекция имеет ряд ограничений, включающих невозможность вскрытия и санации

контралатеральных цистерн головного мозга, риски повреждения функционально важных перфорирующих артерий [26, 43].

Другим известным методом удаления сгустков крови из субарахноидального пространства является ее выведение с помощью дренирования спинномозговой жидкости. Наиболее часто используемые способы дренирования ликвора — поясничное, цистернальное и вентрикулярное.

Поясничное дренирование — наиболее часто используемый метод санации базальных цистерн головного мозга при САК. Эффективности данного способа дренирования посвящено множество работ.

Так, Н. Kasuya и соавт. сообщают о повышении частоты развития гидроцефалии на фоне дренирования цереброспинальной жидкости (ЦСЖ). Авторами был проведен анализ исходов лечения 109 пациентов с аневризматическим САК, которым проводили дренирование ЦСЖ (поясничное, вентрикулярное, цистернальное или в комбинации) [55].

Р. Klimo и соавт. не выявили различий в частоте возникновения дизрезорбтивной гидроцефалии в группе пациентов, которым проводили люмбальное дренирование, и в контрольной группе. Однако исследователи указывают на снижение частоты развития симптомного спазма в группе поясничного дренирования [56].

S. Park и соавт. изучали влияние поясничного дренирования на частоту развития церебрального ангиоспазма. Они выявили положительное влияние данного способа санации субарахноидального пространства в профилактике развития вазоспазма. Однако исследователями не было получено достоверных данных о снижении частоты развития дизрезорбтивной гидроцефалии на фоне поясничного дренирования. Кроме того, важно отметить, что в указанной работе авторы не включили в анализ пациентов, которым проведение люмбального дренирования было противопоказано (наличие аксиальной дислокации), что чаще всего выявляется при массивном САК (>15 баллов по шкале Hijdra), имеющем высокие риски развития дизрезорбтивной гидроцефалии в отдаленном периоде кровоизлияния [7, 57, 58].

Однако в недавнем крупном метаанализе авторы провели систематический анализ литературы касательно влияния поясничного дренирования на функциональные исходы после аневризматического САК. Исследователи указывают на значительное снижение смертности, частоты развития клинического вазоспазма и ишемии головного мозга в группе дренирования. О влиянии метода на частоту развития дизрезорбтивной гидроцефалии авторы не сообщают [59]. Однако, учитывая вышесказанное, при снижении рисков развития церебрального ангиоспазма возможно опосредованное снижение рисков частоты дизрезорбтивной гидроцефалии.

В отечественной литературе имеются данные о неэффективности изолированного поясничного дренирования у пациентов с выраженным базальным САК (>15 баллов по шкале Hijdra) по причине частого развития у данных больных аксиальной дислокации, при которой, естественно, абсолютно противопоказано проведение люмбального дренирования [58].

Таким образом, поясничное дренирование можно использовать как один из методов профилактики развития дизрезорбтивной гидроцефалии, однако с учетом наличия возможных ограничений (аксиальная дислокация) целесообразнее применять данный метод в комбинации.

Так, в целях санации и дренирования субарахноидального пространства можно использовать цистернальное дренирование. Преимуществами данного способа являются возможность установки дренажа непосредственно в область цистерн основания головного мозга, заполненных сгустками крови, а также его безопасное использование даже в условиях наличия признаков аксиальной дислокации вследствие расположения катетера выше намета мозжечка [26, 58].

Эффективность данного метода была изучена в ряде работ. Так, М. Garvaуо и соавт. продемонстрировали крайне высокую эффективность сочетания вентрикулоцистерностомии с цистернальным дренированием у пациентов с массивным аневризматическим САК. Авторы выявили прогностически значимое снижение частоты развития дизрезорбтивной гидроцефалии у больных данной группы [60].

Однако следует подчеркнуть немаловажный факт, что длительность и объем дренированной ЦСЖ также влияют на частоту развития гидроцефалии в отдаленном периоде аневризматического САК. Так, К. Ogura и соавт. продемонстрировали, что длительно установленный дренаж (в данном исследовании среднее время дренирования 12,4 сут) и значительный объем дренированного ликвора (более 3000 мл) приводят к повышению частоты ликворшунтирующих операций [61].

Аналогичные результаты были получены другим коллективом авторов, изучивших данные 76 пациентов с массивным аневризматическим САК (III степень по шкале Fisher). Авторы подтверждают наличие связи длительности и объема дренированной ЦСЖ с частотой развития хронической гидроцефалии в отдаленном периоде аневризматического САК [62].

Однако во многих работах нет точного указания среднесуточного объема ЦСЖ, которое следует дренировать. В большинстве опубликованных работ среднесуточный клинически эффективный объем дренирования составил 150–250 мл [60–63].

Также имеются данные о низкой эффективности цистернального дренирования в группах пациентов с незначительной степенью аневризматического САК (I и II степени по шкале Fisher) и даже о парадоксальном

повышении частоты развития дизрезорбтивной гидроцефалии [64, 65].

Наружное вентрикулярное дренирование также является одним из методов санации, в дополнение способ позволяет мониторировать внутричерепное давление и используется для лечения окклюзионной гидроцефалии при выраженном внутрижелудочковом кровоизлиянии [6, 15, 66, 67].

Однако эффективность данного метода в профилактике развития дизрезорбтивной гидроцефалии остается противоречивой. Так, X. Xu и соавт. продемонстрировали, что установка наружного вентрикулярного дренажа является дополнительным независимым фактором риска, повышающим частоту развития дизрезорбтивной гидроцефалии у пациентов с аневризматическим САК [68]. Стоит отметить, что в данной работе исследователи изучали группу пациентов с низкой степенью (<III) кровоизлияния по шкале Fisher.

В метаанализе L. Chen и соавт. сделан вывод о том, что у пациентов независимо от степени кровоизлияния, которым проводилось наружное вентрикулярное дренирование, чаще развивалась дизрезорбтивная гидроцефалия [40].

Вышеуказанные методы санации базальных цистерн могут быть дополнены интратекальным введением фибринолитических средств как способом скорейшей и окончательной санации крови из базальных цистерн. Так, в метаанализе X. Lu и соавт., в который вошли 1373 пациента, продемонстрирована эффективность интратекального фибринолиза (препаратами выбора в данном случае служили тканевой активатор плазминогена и урокиназа). Авторы выявили снижение частоты развития дизрезорбтивной гидроцефалии у пациентов с массивным САК и значительное улучшение функциональных исходов [69].

Группа других авторов показала положительное влияние раннего интратекального фибринолиза урокиназой у пациентов с массивным аневризматическим САК в профилактике развития ранней церебральной ишемии [70]. Как известно, ранняя церебральная ишемия, выявляемая по данным КТ, является одним из важных предикторов развития в будущем дизрезорбтивной гидроцефалии [47].

А. Н. Kramer и соавт. в крупном метаанализе продемонстрировали влияние интратекального фибринолиза на функциональные исходы у пациентов с массивным САК, а также значительное снижение частоты дизрезорбтивной гидроцефалии в отдаленном периоде.

Параллельно с данными результатами авторы сообщили об отсутствии геморрагических и инфекционных осложнений на фоне тромболитической терапии [71].

Эффективность интратекального введения рекомбинантного тканевого активатора плазминогена была продемонстрирована T. Yamamoto и соавт. Авторы указывают на значительное снижение симптомного вазоспазма и удовлетворительные функциональные исходы [72].

Имеются также данные о неэффективности применения фибринолитиков. Так, J. Findlay и соавт. не получили достоверных результатов улучшения функциональных исходов у пациентов с аневризматическим САК, однако в данной работе отмечено снижение выраженности сосудистого спазма по данным церебральной ангиографии [73].

Ряд других авторов в работах, посвященных изучению влияния интратекального использования фибринолитиков, сообщают о развитии осложнений, таких как внутричерепные кровоизлияния, воспалительные осложнения [74–76].

Стоит отметить, что применение данного метода требует дальнейшего изучения для определения типа фибринолитика, дозировки, а также частоты и кратности его применения.

Имеются данные об эффективности и безопасности методики интратекального фибринолиза с использованием рекомбинантной неиммуногенной стафилокиназы для санации и растворения сгустков крови в базальных цистернах головного мозга у пациентов с массивным аневризматическим САК. Авторы указывают на значительное снижение частоты развития симптомного ангиоспазма, а также на более благоприятные функциональные исходы у пациентов в группе интратекального фибринолиза [26, 43].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, максимально быстрая санация субарахноидального пространства от сгустков крови и компонентов ее деградации благодаря комбинированному использованию рекомбинантной неиммуногенной стафилокиназы и дренирования ЦСЖ снижает частоту развития дизрезорбтивной гидроцефалии и вторичной ишемии головного мозга при САК вследствие разрыва артериальной аневризмы. Однако единого унифицированного протокола санации базальных цистерн в настоящий момент не разработано, что может являться темой дальнейших исследований.

Литература | References

1. Lawton M.T., Vates G.E. Subarachnoid hemorrhage. *N Engl J Med* 2017;377(3):257–66. DOI: 10.1056/NEJMc1605827
2. Macdonald R.L., Schweizer T.A. Spontaneous subarachnoid haemorrhage. *Lancet* 2017;389(10069):655–66. DOI: 10.1016/S0140-6736(16)30668-7
3. Nieuwkamp D.J., Setz L.E., Algra A. et al. Changes in case fatality of aneurysmal subarachnoid haemorrhage over time, according to age, sex, and region: a meta-analysis. *Lancet Neurol* 2009;8(7):635–42. DOI: 10.1016/S1474-4422(09)70126-7
4. Huang J., Van Gelder J.M. The probability of sudden death from rupture of intracranial aneurysms: a meta-analysis. *Neurosurgery* 2002;51(5):1101–05. DOI: 10.1097/00006123-200211000-00001
5. Lindbohm J.V., Kaprio J., Jousilahti P. et al. Risk factors of sudden death from subarachnoid hemorrhage. *Stroke* 2017;48(9):2399–404. DOI: 10.1161/STROKEAHA.117.018118
6. Хирургия аневризм головного мозга при массивном субарахноидальном кровоизлиянии. Под ред. В.В. Крылова, В.Г. Дашьяна. М.: АБВ-пресс, 2021. 308 с. Surgery of cerebral aneurysms in massive subarachnoid hemorrhage. Eds.: V.V. Krylov, V.G. Dashyan. Moscow: ABV-press, 2021. 308 p. (In Russ.).
7. Крылов В.В., Дашьян В.Г., Винокуров А.Г. и др. Микрохирургия аневризм сосудов головного мозга. М.: АБВ-пресс, 2022. 856 с. Krylov V.V., Dashyan V.G., Vinokurov A.G. et al. Microsurgery of cerebral aneurysms. Moscow: ABV-press, 2022. 856 p. (In Russ.).
8. Nguyen T.A., Vu L.D., Mai T.D. et al. Predictive validity of the prognosis on admission aneurysmal subarachnoid haemorrhage scale for the outcome of patients with aneurysmal subarachnoid haemorrhage. *Sci Rep* 2023;13(1):6721. DOI: 10.1038/s41598-023-33798-5
9. Lenski M., Biczok A., Hüge V. et al. Role of cerebrospinal fluid markers for predicting shunt-dependent hydrocephalus in patients with subarachnoid hemorrhage and external ventricular drain placement. *World Neurosurg* 2019;121:e535–42. DOI: 10.1016/j.wneu.2018.09.159
10. Hao X., Wei D. The risk factors of shunt-dependent hydrocephalus after subarachnoid space hemorrhage of intracranial aneurysms. *Medicine (Baltimore)* 2019;98(27):e15970. DOI: 10.1097/MD.00000000000015970
11. Kim J.H., Kim J.H., Kang H.I. et al. Risk factors and preoperative risk scoring system for shunt-dependent hydrocephalus following aneurysmal subarachnoid hemorrhage. *J Korean Neurosurg Soc* 2019;62(6):643–48. DOI: 10.3340/jkns.2018.0152
12. Esteban Estallo L., Casado Pellejero J., Vázquez Sufuentes S. et al. Risk factors for shunt-dependent hydrocephalus after spontaneous subarachnoid hemorrhage. *Neurocirugia (Engl Ed)* 2024;35(4):196–204. DOI: 10.1016/j.neucie.2024.03.002
13. Qian C., Yu X., Chen J. et al. Effect of the drainage of cerebrospinal fluid in patients with aneurysmal subarachnoid hemorrhage: a meta-analysis. *Medicine (Baltimore)* 2016;95(41):e5140. DOI: 10.1097/MD.00000000000005140
14. Lee K.S., Chari A., Motiwala M. et al. Effectiveness of cerebrospinal fluid lumbar drainage among patients with aneurysmal subarachnoid hemorrhage: an updated systematic review and meta-analysis. *World Neurosurg* 2024;183:246–53.e12. DOI: 10.1016/j.wneu.2024.01.062
15. Fang Y., Shao Y., Lu J. et al. The effectiveness of lumbar cerebrospinal fluid drainage in aneurysmal subarachnoid hemorrhage with different bleeding amounts. *Neurosurg Rev* 2020;43(2):739–77. DOI: 10.1007/s10143-019-01116-1
16. Крылов В.В., Буров С.А. Хроническая гидроцефалия в отдаленном периоде разрыва аневризм головного мозга. *Нейрохирургия* 2001;(2):72–6. Krylov V.V., Burov S.A. Chronic hydrocephalus in the late period of cerebral aneurysm rupture. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2001;(2):72–6. (In Russ.).
17. Крылов В.В., Буров С.А. Отдаленные результаты хирургического лечения аневризм головного мозга в остром периоде кровоизлияния. *Нейрохирургия* 2000;(4):61–6. Krylov V.V., Burov S.A. Remote results of surgical treatment of cerebral aneurysms in the acute period of hemorrhage. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2000;(4):61–6. (In Russ.).
18. Rincon F., Gordon E., Starke R.M. et al. Predictors of long-term shunt-dependent hydrocephalus after aneurysmal subarachnoid hemorrhage. *Clinical article. J Neurosurg* 2010;113(4):774–80. DOI: 10.3171/2010.2.JNS09376
19. Kuo L.T., Huang A.P. The pathogenesis of hydrocephalus following aneurysmal subarachnoid hemorrhage. *Int J Mol Sci* 2021;22(9):5050. DOI: 10.3390/ijms22095050
20. Liu F., Yuan W., Liao D. et al. Association of chronic hydrocephalus after aneurysmal subarachnoid hemorrhage with transforming growth factor- β 1 levels and other risk factors. *Nan Fang Yi Ke Da Xue Xue Bao* 2013;33(3):382–5. PMID: 23529236.
21. Yan H., Chen Y., Li L. et al. Decorin alleviated chronic hydrocephalus via inhibiting TGF- β 1/Smad/CTGF pathway after subarachnoid hemorrhage in rats. *Brain Res* 2016;1630:241–53. DOI: 10.1016/j.brainres.2015.11.004
22. Torvik A., Bhatia R., Murthy V.S. Transitory block of the arachnoid granulations following subarachnoid haemorrhage: a postmortem study. *Acta Neurochir (Wien)* 1978;41(1–3):137–46. DOI: 10.1007/BF01809144
23. Bothwell S.W., Janigro D., Patabendige A. Cerebrospinal fluid dynamics and intracranial pressure elevation in neurological diseases. *Fluids Barriers CNS* 2019;16(1):9. DOI: 10.1186/s12987-019-0129-6
24. Fujii M., Yan J., Rolland W.B. et al. Early brain injury, an evolving frontier in subarachnoid hemorrhage research. *Transl Stroke Res* 2013;4(4):432–46. DOI: 10.1007/s12975-013-0257-2
25. Tso M.K., Macdonald R.L. Subarachnoid hemorrhage: a review of experimental studies on the microcirculation and the neurovascular unit. *Transl Stroke Res* 2014;5(2):174–89. DOI: 10.1007/s12975-014-0323-4
26. Природов А.В., Титова Г.П., Дыдыкин С.С. и др. Профилактика церебрального сосудистого спазма при субарахноидальном кровоизлиянии в эксперименте у крыс с использованием фибринолитических препаратов. *Нейрохирургия* 2016;(4):63–72. DOI: 10.63769/1683-3295-2016-0-4-63-72
27. Prirodov A.V., Titova G.P., Dydykin S.S. et al. The prophylaxis of cerebral angiospasm developing because of subarachnoid hemorrhage in experiments at rats using fibrinolytic drugs. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2016;(4):63–72. (In Russ.). DOI: 10.63769/1683-3295-2016-0-4-63-72
28. Diesing D., Wolf S., Sommerfeld J. et al. A novel score to predict shunt dependency after aneurysmal subarachnoid hemorrhage. *J Neurosurg* 2018;128(5):1273–9. DOI: 10.3171/2016.12.JNS162400
29. Woernle C.M., Winkler K.M., Burkhardt J.K. et al. Hydrocephalus in 389 patients with aneurysm-associated subarachnoid hemorrhage. *J Clin Neurosci* 2013;20(6):824–6. DOI: 10.1016/j.jocn.2012.07.015
30. Tso M.K., Ibrahim G.M., Macdonald R.L. Predictors of shunt-dependent hydrocephalus following aneurysmal subarachnoid hemorrhage. *World Neurosurg* 2016;86:226–32. DOI: 10.1016/j.wneu.2015.09.056
31. Zaidi H.A., Montoure A., Elhadi A. et al. Long-term functional outcomes and predictors of shunt-dependent hydrocephalus after treatment of ruptured intracranial aneurysms in the BRAT trial: revisiting the clip vs coil debate. *Neurosurgery* 2015;76(5):608–13. DOI: 10.1227/NEU.0000000000000677
32. Yu H., Zhan R., Wen L. et al. The relationship between risk factors and prognostic factors in patients with shunt-dependent

- hydrocephalus after aneurysmal subarachnoid hemorrhage. *J Craniofac Surg* 2014;25(3):902–6. DOI: 10.1097/SCS.0000000000000561
32. Erixon H.O., Sorteberg A., Sorteberg W., Eide P.K. Predictors of shunt dependency after aneurysmal subarachnoid hemorrhage: results of a single-center clinical trial. *Acta Neurochir (Wien)* 2014;156(11):2059–69. DOI: 10.1007/s00701-014-2200-z
 33. Bae I.S., Yi H.J., Choi K.S., Chun H.J. Comparison of incidence and risk factors for shunt-dependent hydrocephalus in aneurysmal subarachnoid hemorrhage patients. *J Cerebrovasc Endovasc Neurosurg* 2014;16(2):78–84. DOI: 10.7461/jcen.2014.16.2.78
 34. Xie Z., Hu X., Zan X. et al. Predictors of shunt-dependent hydrocephalus after aneurysmal subarachnoid hemorrhage? A systematic review and meta-analysis. *World Neurosurg* 2017;106:844–60.e6. DOI: 10.1016/j.wneu.2017.06.119
 35. Wilson C.D., Safavi-Abbasi S., Sun H. et al. Meta-analysis and systematic review of risk factors for shunt dependency after aneurysmal subarachnoid hemorrhage. *J Neurosurg* 2017;126(2):586–95. DOI: 10.3171/2015.11.JNS152094
 36. Fisher C.M., Kistler J.P., Davis J.M. Relation of cerebral vasospasm to subarachnoid hemorrhage visualized by computerized tomographic scanning. *Neurosurgery* 1980;6(1):1–9. DOI: 10.1227/00006123-198001000-00001
 37. Dehdashti A.R., Rilliet B., Rufenacht D.A. et al. Shunt-dependent hydrocephalus after rupture of intracranial aneurysms: a prospective study of the influence of treatment modality. *J Neurosurg* 2004;101(3):402–7. DOI: 10.3171/jns.2004.101.3.0402
 38. Dorai Z., Hynan L.S., Kopitnik T.A., Samson D. Factors related to hydrocephalus after aneurysmal subarachnoid hemorrhage. *Neurosurgery* 2003;52(4):763–9. DOI: 10.1227/01.neu.0000053222.74852.2d
 39. Gruber A., Reinprecht A., Bavinski G. et al. Chronic shunt-dependent hydrocephalus after early surgical and early endovascular treatment of ruptured intracranial aneurysms. *Neurosurgery* 1999;44(3):503–9. DOI: 10.1097/00006123-199903000-00039
 40. Chen L., Meng Y., Xue Q. et al. Risk factors of shunt-dependent hydrocephalus after subarachnoid hemorrhage: a systematic review and meta-analysis based on observational cohort studies. *Neurosurg Rev* 2024;47(1):421. DOI: 10.1007/s10143-024-02589-5
 41. Hunt W.E., Hess R.M. Surgical risk as related to time of intervention in the repair of intracranial aneurysms. *J Neurosurg* 1968;28(1):14–20. DOI: 10.3171/jns.1968.28.1.0014
 42. De Oliveira J.G., Beck J., Setzer M. et al. Risk of shunt-dependent hydrocephalus after occlusion of ruptured intracranial aneurysms by surgical clipping or endovascular coiling: a single-institution series and meta-analysis. *Neurosurgery* 2007;61(5):924–33. DOI: 10.1227/01.neu.0000303188.72425.24
 43. Природов А.В., Титова Г.П., Дыдыкин С.С. и др. Моделирование церебрального сосудистого спазма при нетравматическом субарахноидальном кровоизлиянии у крыс. *Нейрохирургия* 2015;(1):46–54. DOI: 10.63769/1683-3295-2015-0-1-46-54
Prirodov A.V., Titova G.P., Dydykin S.S. et al. The modelling of cerebral angiospasm because of non-traumatic subarachnoid hemorrhage using rat model. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2015;(1):46–54. (In Russ.). DOI: 10.63769/1683-3295-2015-0-1-46-54
 44. Dengler N.F., Diesing D., Sarrafzadeh A. et al. The Barrow Neurological Institute Scale revisited: predictive capabilities for cerebral infarction and clinical outcome in patients with aneurysmal subarachnoid hemorrhage. *Neurosurgery* 2017;81(2):341–9. DOI: 10.1093/neuros/nyw141
 45. Wilson D.A., Nakaji P., Abla A.A. et al. A simple and quantitative method to predict symptomatic vasospasm after subarachnoid hemorrhage based on computed tomography: beyond the Fisher scale. *Neurosurgery* 2012;71(4):869–975. DOI: 10.1227/NEU.0b013e318267360f
 46. Di Russo P., Di Carlo D.T., Lutenberg A. et al. Shunt-dependent hydrocephalus after aneurysmal subarachnoid hemorrhage. *J Neurosurg Sci* 2020;64(2):181–9. DOI: 10.23736/S0390-5616.19.04641-1
 47. Jabbarli R., Bohrer A.M., Pierscianek D. et al. The CHES score: a simple tool for early prediction of shunt dependency after aneurysmal subarachnoid hemorrhage. *Eur J Neurol* 2016;23(5):912–8. DOI: 10.1111/ene.12962
 48. Park Y.K., Yi H.J., Choi K.S. et al. Predicting factors for shunt-dependent hydrocephalus in patients with aneurysmal subarachnoid hemorrhage. *Acta Neurochir (Wien)* 2018;160(7):1407–13. DOI: 10.1007/s00701-018-3560-6
 49. Lackner P., Vahmjanin A., Hu Q. et al. Chronic hydrocephalus after experimental subarachnoid hemorrhage. *PLoS One* 2013;8(7):e69571. DOI: 10.1371/journal.pone.0069571
 50. Germanwala A.V., Huang J., Tamargo R.J. Hydrocephalus after aneurysmal subarachnoid hemorrhage. *Neurosurg Clin N Am* 2010;21(2):263–70. DOI: 10.1016/j.nec.2009.10.013
 51. Jiang W., You L., Hu D. Effect of combined fenestration of lamina terminalis and Lilliequist membrane during surgical clipping on the incidence of chronic hydrocephalus in patients with anterior circulation ruptured aneurysms. *Clin Neurol Neurosurg* 2023;224:107575. DOI: 10.1016/j.clineuro.2022.107575
 52. Tomasello F., d'Avella D., de Divoitiis O. Does lamina terminalis fenestration reduce the incidence of chronic hydrocephalus after subarachnoid hemorrhage? *Neurosurgery* 1999;45(4):827–31. DOI: 10.1097/00006123-199910000-00018
 53. Sindou M. Favourable influence of opening the lamina terminalis and Lilliequist's membrane on the outcome of ruptured intracranial aneurysms. A study of 197 consecutive cases. *Acta Neurochir (Wien)* 1994;127(1–2):15–6. DOI: 10.1007/BF01808539
 54. Akyuz M., Tuncer R. The effects of fenestration of the interpeduncular cistern membrane aroused to the opening of lamina terminalis in patients with ruptured ACoA aneurysms: a prospective, comparative study. *Acta Neurochir (Wien)* 2006;148(7):725–3. DOI: 10.1007/s00701-006-0738-0
 55. Kasuya H., Shimizu T., Kagawa M. The effect of continuous drainage of cerebrospinal fluid in patients with subarachnoid hemorrhage: a retrospective analysis of 108 patients. *Neurosurgery* 1991;28(1):56–9. DOI: 10.1097/00006123-199101000-00009
 56. Klimo P. Jr, Kestle J.R., MacDonald J.D., Schmidt R.H. Marked reduction of cerebral vasospasm with lumbar drainage of cerebrospinal fluid after subarachnoid hemorrhage. *J Neurosurg* 2004;100(2):215–24. DOI: 10.3171/jns.2004.100.2.0215
 57. Park S., Yang N., Seo E. The effectiveness of lumbar cerebrospinal fluid drainage to reduce the cerebral vasospasm after surgical clipping for aneurysmal subarachnoid hemorrhage. *J Korean Neurosurg Soc* 2015;57(3):167–73. DOI: 10.3340/jkns.2015.57.3.167
 58. Крылов В.В., Природов А.В., Титова Г.П. и др. Методы профилактики сосудистого спазма и отсроченной ишемии головного мозга у пациентов с массивным субарахноидальным кровоизлиянием вследствие разрыва аневризм сосудов головного мозга. *Нейрохирургия* 2019;21(1):12–26. DOI: 10.17650/1683-3295-2019-21-1-12-26
Krylov V.V., Prirodov A.V., Titova G.P. et al. Prevention of cerebral vasospasm and delayed cerebral ischemia in patients with massive aneurysmal subarachnoid hemorrhage. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2019;21(1):12–26. (In Russ.). DOI: 10.17650/1683-3295-2019-21-1-12-26
 59. Hulou M.M., Essibayi M.A., Benet A., Lawton M.T. Lumbar drainage after aneurysmal subarachnoid hemorrhage: a systematic review and meta-analysis. *World Neurosurg* 2022;166:261–7.e9. DOI: 10.1016/j.wneu.2022.07.061
 60. Garvayo M., Messerer M., Staronni D. et al. The positive impact of cisternostomy with cisternal drainage on delayed hydrocephalus after aneurysmal subarachnoid hemorrhage. *Acta Neurochir (Wien)* 2023;165(1):187–95. DOI: 10.1007/s00701-022-05445-x

61. Ogura K., Hara M., Tosaki F., Hirai N. Effect of cisternal drainage after early operation for ruptured intracranial aneurysms. *Surg Neurol* 1988;30(6):441–4. DOI: 10.1016/0090-3019(88)90028-6
62. Ohwaki K., Yano E., Nakagomi T., Tamura A. Relationship between shunt-dependent hydrocephalus after subarachnoid haemorrhage and duration of cerebrospinal fluid drainage. *Br J Neurosurg* 2004;18(2):130–4. DOI: 10.1080/02688690410001680975
63. Ito U., Tomita H., Yamazaki S. et al. Enhanced cisternal drainage and cerebral vasospasm in early aneurysm surgery. *Acta Neurochir (Wien)* 1986;80(1–2):18–23. DOI: 10.1007/BF01809552
64. Otawara Y., Ogasawara K., Kubo Y. et al. Effect of continuous cisternal cerebrospinal fluid drainage for patients with thin subarachnoid hemorrhage. *Vasc Health Risk Manag* 2007;3(4):401–4. PMID: 17969369.
65. Yamamoto I., Shimoda M., Yamada S. et al. Indications for cisternal drainage in conjunction with early surgery for ruptured aneurysms and timing of its discontinuation. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 1989;29(5):407–13. DOI: 10.2176/nmc.29.407
66. Sakaki S., Ohta S., Kuwabara H., Shiraishi M. The role of ventricular and cisternal drainage in the early operation for ruptured intracranial aneurysms. *Acta Neurochir* 1987;88(3):87–94. DOI: 10.1007/BF01404143
67. Sun C., Du H., Yin L. et al. Choice for the removal of bloody cerebrospinal fluid in postcoiling aneurysmal subarachnoid hemorrhage: external ventricular drainage or lumbar drainage? *Turk Neurosurg* 2014;24(5):737–44. DOI: 10.5137/1019-5149.JTN.9837-13.2
68. Xu X., Yang H., Wang X. et al. Effect of external ventricular drainage on shunt-dependent hydrocephalus and prognosis after microsurgical clipping in patients with poor-grade aneurysmal subarachnoid hemorrhage. *World Neurosurg* 2024;191:e594–606. DOI: 10.1016/j.wneu.2024.09.004
69. Lu X., Ji C., Wu J. et al. Intrathecal fibrinolysis for aneurysmal subarachnoid hemorrhage: evidence from randomized controlled trials and cohort studies. *Front Neurol* 2019;10:885. DOI: 10.3389/fneur.2019.00885
70. Roelz R., Scheive C., Grauvogel J. et al. Early cisternal fibrinolysis is more effective than rescue spasmolysis for the prevention of delayed infarction after subarachnoid haemorrhage. *Stroke Vasc Neurol* 2022;7(2):108–13. DOI: 10.1136/svn-2021-001146
71. Kramer A.H., Fletcher J.J. Locally-administered intrathecal thrombolytics following aneurysmal subarachnoid hemorrhage: a systematic review and meta-analysis. *Neurocrit Care* 2011;14(3):489–99. DOI: 10.1007/s12028-010-9429-z
72. Yamamoto T., Esaki T., Nakao Y., Mori K. Efficacy of low-dose tissue-plasminogen activator intracisternal administration for the prevention of cerebral vasospasm after subarachnoid hemorrhage. *World Neurosurg* 2010;73(6):675–82. DOI: 10.1016/j.wneu.2010.04.002
73. Findlay J.M., Kassel N.F., Weir B.K. et al. A randomized trial of intraoperative, intracisternal tissue plasminogen activator for the prevention of vasospasm. *Neurosurgery* 1995;37(1):168–76. PMID: 8587685.
74. Kawamoto S., Tsutsumi K., Yoshikawa G. et al. Effectiveness of the head-shaking method combined with cisternal irrigation with urokinase in preventing cerebral vasospasm after subarachnoid hemorrhage. *J Neurosurg* 2004;100(2):236–43. DOI: 10.3171/jns.2004.100.2.0236
75. Kinouchi H., Ogasawara K., Shimizu H. et al. Prevention of symptomatic vasospasm after aneurysmal subarachnoid hemorrhage by intraoperative cisternal fibrinolysis using tissue-type plasminogen activator combined with continuous cisternal drainage. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 2004;44(11):569–75. DOI: 10.2176/nmc.44.569
76. Sasaki T., Kodama N., Kawakami M. et al. Urokinase cisternal irrigation therapy for prevention of symptomatic vasospasm after aneurysmal subarachnoid hemorrhage: a study of urokinase concentration and the fibrinolytic system. *Stroke* 2000;31(6):1256–62. DOI: 10.1161/01.str.31.6.1256

Вклад авторов | Authors' contributions

О.Г. Симонян: сбор и анализ литературы, написание текста статьи;
А.В. Природов: разработка концепции и дизайна исследования, научное редактирование статьи, финальное утверждение текста статьи;
Е.Ю. Бахареv, А.А. Гринь: научное редактирование статьи.
O.G. Simonyan: collection and analysis of literature, article writing;
A.V. Prirodov: development of the concept and design of the study, article scientific editing, final approval of the text of the article;
E.Yu. Bakharev, A.A. Grin: article scientific editing.

ORCID авторов | ORCID of authors

О.Г. Симонян / O.G. Simonyan: <https://orcid.org/0009-0005-8617-2448>
А.В. Природов / A.V. Prirodov: <https://orcid.org/0000-0003-2444-8136>
Е.Ю. Бахареv / E.Yu. Bakharev: <https://orcid.org/0000-0003-1525-1585>
А.А. Гринь / A.A. Grin: <https://orcid.org/0000-0003-3515-8329>

Конфликт интересов | Conflict of interest

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflict of interest.

Финансирование | Funding

Работа проведена при поддержке гранта автономной некоммерческой организации (соглашение № 1603-32/23с).
The work was carried out with the support of a grant from an autonomous non-profit organization (agreement No. 1603-32/23с).

Статья поступила | Article submitted: 04.08.2025.
Рецензия | Peer reviewed: 02.09.2025.
Принята к публикации | Accepted for publication: 02.04.2026.
Опубликована онлайн | Published online: 11.06.2026.