

EDN: GRWUMX

УДК 617.5

DOI: 10.56618/2071-2693\_2024\_16\_3\_133



## РАНЕНИЕ ПОЗВОНОЧНОЙ АРТЕРИИ ПРИ ПЕРЕДНЕЙ ХИРУРГИИ ШЕЙНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА (ОБЗОР)

**Давид Вячеславович Бирагов<sup>1</sup>**

✉davidsbir@yandex.ru, orcid.org/0000-0001-8272-7091, SPIN-код: 6780-0120

**Дмитрий Александрович Гуляев<sup>2</sup>**

gulyaevd@mail.ru, orcid.org/0000-0002-5509-5612, SPIN-код: 1612-8261

**Денис Сергеевич Годанюк<sup>2</sup>**

dsg77@mail.ru, orcid.org/0000-0003-2154-2493, SPIN-код: 7449-1824

**Юрий Юрьевич Поляков<sup>1</sup>**

uupolyakov@rniito.ru, orcid.org/0000-0001-9328-218X, SPIN-код: 6347-1537

**Рамин Масуддинович Шарифов<sup>1</sup>**

ramin.neuro@yandex.ru, orcid.org/0000-0002-3219-1565, SPIN-код: 8163-2814

**Тимур Сергеевич Алдатов<sup>3</sup>**

aldatov.t@mail.ru, orcid.org/0000-0002-3148-0065

**Константин Викторович Жданович<sup>1</sup>**

zhdanovich.neuro@gmail.com, orcid.org/0000-0002-0237-4351, SPIN-код: 6282-7245

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Р. Р. Вредена» Министерства здравоохранения Российской Федерации (ул. Академика Байкова, д. 8, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 195427)

<sup>2</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (ул. Аккуратова, д. 2, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 197341)

<sup>3</sup> ООО «АВА-ПЕТЕР» (Литейный пр., д. 55А, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 191014)

### Резюме

В качестве материала для обзора литературы использовано 29 источников, опубликованных с 1982 по 2023 г. В качестве ресурсов использовали базы данных PubMed и Google Scholar с запросами по медицинской тематике для терминов «vertebral artery injury», «complication in cervical spine surgery», «vertebral artery anomalies», наиболее удовлетворяющими критериям поиска, опубликованными на английском языке. Ограничения по уровню доказательности не устанавливались. Освещены вопросы этиологии, эпидемиологии, клинической картины, а также различные методы хирургического лечения повреждения позвоночной артерии (ПА).

**Целью** обзора литературы является освещение проблемы повреждения позвоночной артерии при передней хирургии шейного отдела позвоночника на основе литературных данных.

Несмотря на широкое внедрение в повседневную практику передовых методов нейровизуализации, используемых в планировании хирургического лечения шейного отдела позвоночника (ШОП), проблема повреждения позвоночной артерии при передней хирургии ШОП остается открытой, и оно может привести к фатальному исходу. Несмотря на наличие различных методов лечения данной патологии, исключительно важной является профилактика повреждения ПА путем тщательного предоперационного планирования.

**Ключевые слова:** передняя хирургия позвоночника, позвоночная артерия, повреждение позвоночной артерии, шейная дискэктомия

**Для цитирования:** Бирагов Д. В., Гуляев Д. А., Годанюк Д. С., Поляков Ю. Ю., Шарифов Р. М., Алдатов Т. С., Жданович К. В. Ранение позвоночной артерии при передней хирургии шейного отдела позвоночника (обзор) // Российский нейрохирургический журнал им. проф. А. Л. Поленова. 2024. Т. XVI, № 3. С. 133–140. DOI: 10.56618/2071-2693\_2024\_16\_3\_133.

### VERTEBRAL ARTERY INJURY DURING ANTERIOR CERVICAL SPINE SURGERY (REVIEW)

**David V. Biragov<sup>1</sup>**

✉davidsbir@yandex.ru, orcid.org/0000-0001-8272-7091, SPIN-code: 6780-0120

**Dmitry A. Gulyaev**<sup>2</sup>

gulyaevd@mail.ru, orcid.org/0000-0002-5509-5612, SPIN-code: 1612-8261

**Denis S. Godanyuk**<sup>2</sup>

dsg77@mail.ru, orcid.org/0000-0003-2154-2493, SPIN-code: 7449-1824

**Yuri Yu. Polyakov**<sup>1</sup>

uupolyakov@rniito.ru, orcid.org/0000-0001-9328-218X, SPIN-code: 6347-1537

**Ramin M. Sharifov**<sup>1</sup>

ramin.neuro@yandex.ru, orcid.org/0000-0002-3219-1565, SPIN-code: 8163-2814

**Timur S. Aldatov**<sup>3</sup>

aldatov.t@mail.ru, orcid.org/0000-0002-3148-0065

**Konstantin V. Zhdanovich**<sup>1</sup>

zhdanovich.neuro@gmail.com, orcid.org/0000-0002-0237-4351, SPIN-code: 6282-7245

<sup>1</sup> National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics named after R. R. Vreden (8 Academician Baykova street, St. Petersburg, Russian Federation, 195427)<sup>2</sup> V. A. Almazov National Medical Research Center (2 Akkuratova street, St. Petersburg, Russian Federation, 197341)<sup>3</sup> ООО «AVA-PETER» (55A Liteyny pr., St. Petersburg, Russian Federation, 191014)

## Abstract

29 literature sources from 1982 to 2023 were used as a literature review. PubMed and Google Scholar databases were used as resources using queries on medical topics for the terms «vertebral artery injury, complication in cervical spine surgery, vertebral artery anomalies» that are most suitable for search criteria published in English language. There were no evidence level restrictions. The issues of etiology, epidemiology, clinical presentation, as well as various surgical treatment methods of VA damage are highlighted.

The aim of this literature review is to highlight the problem of vertebral artery injury in anterior cervical spine surgery based on the literature data.

Despite the presence of advanced neuroimaging techniques used in surgical treatment planning, the problem of vertebral artery damage in anterior cervical spine surgery remains unsolved and can lead to a fatal consequences. Taken into account various methods of VAI treatment, prevention by careful preoperative planning remains preferable

**Keywords:** anterior spine surgery, vertebral artery, vertebral artery injury, cervical discectomy

**For citation:** Biragov D. V., Gulyaev D. A., Godanyuk D. S., Polyakov Yu. Yu., Sharifov R. M., Aldatov T. S., Zhdanovich K. V. Vertebral artery injury during anterior cervical spine surgery (review). Russian neurosurgical journal named after professor A. L. Polenov. 2024;XVI(3):133–140. DOI: 10.56618/2071-2693\_2024\_16\_3\_133.

## Введение

Передний доступ к шейному отделу позвоночника был впервые описан в 1950-х гг. Кловардом, Робинсоном и Смитом и получил широкое применение в хирургии шейного отдела позвоночника (ШОП). Из-за близости расположения критически важных анатомических структур передний доступ в хирургии ШОП потенциально сопряжен с широким диапазоном осложнений, включая повреждение крупных сосудов, в частности, позвоночной артерии (ПА) [1]. V2-сегмент позвоночной артерии характеризуется вариабельностью уровня вхождения в отверстия поперечных отростков позвонков, а также формированием изгибов и петель. Интраоперационное повреждение ПА при таком доступе встречается редко, но потенциально возможно [2–8]. Частота повреждения ПА,

по данным различных источников, вариабельна и не превышает 3 % [9–12], тогда как частота возникновения аномалий позвоночной артерии встречается в 2 % случаев [2]. При выраженной дегенерации шейного отдела позвоночника позвоночная артерия может приобретать извилистую форму, что предрасполагает к непреднамеренной интраоперационной травме [13, 14]. N. Wakao et al. проанализировали данные компьютерно-томографической ангиографии (КТА) в группе из 1054 человек. КТА выполнялась на предмет различных нозологических форм. В исследовании наличие медиальной петли ПА отмечалось в 1 % [10]. В большинстве случаев интраоперационное ППА сопровождается внезапным, неппульсирующим, обильным ярко-красным кровотечением, которое отличается от кровотечения из костной

ткани, так же, как и от повреждения окружающего венозного сплетения. Клиническая картина может быть представлена признаками нарушения мозгового кровообращения в вертебробазилярном бассейне (ВББ), нарушением сознания, артериальной гипотензией, геморрагическим шоком, также возможен летальный исход [15, 16]. Клиническая картина ППА может развиваться как моментально, так и отсрочено. Однако зачастую такая патология может протекать бессимптомно [3]. Частота смертности, по данным различных источников, достигает 7,22 % [4]. В случае повреждения ПА первостепенной задачей является остановка кровотечения, контроль гемостаза путем прямой тампонады поврежденного сегмента с применением гемостатических средств, в последующем – выполнение микрохирургического ушивания дефекта, легирование либо наложение анастомоза. В случае купирования кровотечения прямой тампонадой необходимым становится выполнение контрольной ангиографии, так как данный метод лечения сопряжен с риском возникновения псевдоаневризм. В раннем послеоперационном периоде также необходима медикаментозная профилактика возникновения ишемии головного мозга, также контроль возможного образования псевдоаневризм [17–22].

ППА является редким, но в ряде случаев смертельным осложнением. В связи с чем необходимо иметь в виду, что клинические проявления могут возникнуть как в интраоперационном, так и в послеоперационном периоде, независимо от типа хирургического доступа (переднего или заднего). Профилактика – лучшая стратегия при любом ятрогенном ППА, которая включает в себя оценку состояния сосудистой стенки, выявление анатомических аномалий. И, конечно же, надлежащее планирование операции и тщательный мониторинг в периоперационном и послеоперационном периодах [5].

### Методика написания обзора

Поиск литературных данных производился по электронным базам данных PubMed и Google Scholar с использованием запросов по медицинской тематике для терминов «vertebral

artery injuri», «complication in cervical spine surgery», «vertebral artery anomalies». В исследование были включены источники, опубликованные с января 2013 г. по август 2023 г. Критерием исключения был факт опубликования ранее 2013 г. По результатам поиска проанализировано 117 статей с 2013 по 2023 г., из которых отобрано 17 статей, наиболее удовлетворяющих критериям запроса, опубликованных на английском и русском языках. Обзор включает в себя ретроспективные исследования и клинические примеры. Ограничения по уровню доказательности не устанавливались. Освещены вопросы этиологии, эпидемиологии, клинической картины, а также различные методы хирургического лечения повреждения ПА.

Учитывая наличие передовых методов нейровизуализации, используемых в планировании хирургического лечения патологии ШОП, проблема повреждения позвоночной артерии при передней хирургии ШОП остается открытой. Несмотря на наличие различных методов лечения данной патологии, предпочтительной остается профилактика повреждения ПА путем тщательного предоперационного планирования.

### Результаты исследования

*Эпидемиология.* По данным Q. Guan et al., проводивших метаанализ ППА с 1980 по 2017 г., в большинстве публикаций ППА ассоциировано с выполнением переднего доступа к ШОП [12]. Наиболее часто интраоперационное ППА происходит при работе с высокооборотным бором и микроинструментарием. Среди других причин могут иметь место тракция мягких тканей, удаление оссифицированной задней продольной связки, работа коагулятором вблизи ПА, также как результат манипуляций, выполняемых непосредственно на ПА [2–8]. В рамках изучения данной патологии М. Turgut et al. провели анализ литературы с 1962 по 2021 г. Работа включила в себя 72 статьи, описывающие 194 клинических наблюдения повреждения сосудистых структур как при переднем, так и при заднем доступе к ШОП [3]. ПА явилась наиболее часто повреждаемой структурой (86,6 %). Такую форму повреждения, как разрыв ПА, авторы отмечают в 41,24 % случаев. У 16 пациентов на-

блюдалось аномальное строение ПА [3]. К аналогичным выводам пришли W. B. Lo et al. [16]. В своем ретроспективном исследовании J. Godil et al., используя базу данных PearlDiver, описали 26 126 случаев выполнения корпэктомии на уровне ШОП, выполненных с 2010 по 2017 г. ППА отмечалось у 78 пациентов, что составило 0,3 %. В 11 (14 %) случаях ППА осложнилось острым нарушением мозгового кровообращения (ОНМК). Анализ факторов риска отобразил наибольшую частоту ППА среди лиц мужского пола, а также пациентов молодой возрастной группы ( $t = -11,5$ ;  $P < 0,0001$  и  $t = 3,8$ ;  $P = 0,0001$ ). По данным мультицентрового исследования «AOSpine North American Research Network» с 1 января 2005 г. по 31 декабря 2011 г., включившего в себя 16 582 исследуемого, ППА наблюдалось у 14 пациентов. В 7 случаях ППА отмечалось при переднем доступе, в 3 случаях – при заднем и в 4 – при комбинированном. Средний возраст пациентов с ППА составил  $59 (\pm 10)$  лет, частота возникновения превалировала в женской популяции (78,6 %). Выписаны без неврологического дефицита 13 (92,86 %) из 14 пациентов. В 50 % ППА имелись КТ-признаки аномалии ПА [17]. По данным опроса членов «Cervical Spine Research Society (CSRS)» (опрошены 141 из 195) за период хирургической деятельности по весну 2012 г., выполнивших в общем количестве 163 324 операции, частота ППА составила 0,07 % ( $n=111$ ). В 23,4 % – при выполнении корпэктомии, в 9 % – при дискэктомии, и в 7 % – в период скелетизации. Из 111 пациентов аномальный ход ПА встречался у 22. Среди хирургов, выполнивших за время хирургической деятельности 300 и менее операций (как передним, так и задним доступом), частота ППА составила 0,33 %. Среди специалистов, выполнивших более 300 операций, ППА наблюдалось в 0,06 %. Частота аномалий ПА значительно выше среди пациентов с наличием ревматоидного артрита (РА), чем среди здоровых людей (34 и 2 % соответственно). По данным Q. Guan et al., в условиях РА возможно возникновение рубцовых изменений адвентиции ПА, что повышает риск повреждения ПА при выполнении хирургического доступа. Инфекционные заболевания ШОП также способствуют возникновению эрозий ПА [2].

*Клиническая картина.* Клиническая симптоматика может появиться как в остром, так и в отдаленном послеоперационном периоде и может возникнуть в результате разрыва сформировавшихся псевдоаневризм, тромбоза, эмболии, либо при формировании артериовенозных фистул [9]. Неврологический дефицит, возникающий при ППА, представлен гемодинамическими нарушениями задних отделов Вилизиева круга и задней нижней мозжечковой артерии (ЗНМА) [3, 16].

По данным J. Godil et al., показатель смертности после ППА (при выполнении корпэктомии) в течение первого года составляет 14 % [12], что существенно отличается от смертности среди пациентов без ППА (4 %). По данным D. J. Lunardini et al., при прямой тампонаде в случае ППА быстро возникающий неврологический дефицит встречается в 5,5 %, в отдаленном периоде – в 90 %, и летальный исход – в 4,5 % [5].

*Интраоперационное повреждение ПА.* ППА возникает чаще на уровне V1–V2-сегментов, при чрезмерной латеральной резекции бором, удалении межпозвонкового диска, при мальпозиции винтов, фиксирующих цервикальную пластину. Также возникает при работе с микроинструментарием, среди прочих факторов ППА – работа с зондом для оценки латеральных отделов позвоночного канала и длительная гиперэкстензия шеи [2, 11, 16–22]. Интраоперационная картина представлена внезапным обильным, не пульсирующим кровоизлиянием, отличающим его от кровотечения из кости или венозного сплетения [3].

*Лечение.* Единой общепринятой тактики лечения ППА не существует [3]. Основные интраоперационные задачи в момент повреждения – остановка кровотечения и профилактика острого нарушения мозгового кровообращения и острой компрессии спинного мозга. Остановка кровотечения выполняется несколькими способами: прямая тампонада с использованием гемостатических компонентов, наложение сосудистого шва, наложение анастомоза, либо перевязка (клипирование) поврежденного сегмента ПА. Сосудистый шов является предпочтительным методом. При попытке остановки кровотечения необходи-



мо убедиться, что голова пациента находится в нейтральном положении, так как экстензия и ротация ШОП могут спровоцировать окклюзию контрлатеральной ПА. В зависимости от места повреждения ПА «крупные» фрагменты гемостатического материала в комбинации с пальцевым давлением могут служить эффективным способом контроля кровотечения. Применять небольшие фрагменты гемостатического материала не рекомендуется, так как они могут служить причиной эмболии. Прибегая к сосудистому шву, первым делом выполняется проксимальный и дистальный контроль путем вскрытия канала ПА уровнем выше и ниже повреждения [3, 6, 9, 14]. После тщательной визуализации ПА выполняется временное клипирование проксимально и дистально от места повреждения, с последующим выполнением сосудистого шва (Пролен 7-0, либо 8-0). Перед завершением ушивания поврежденного участка с целью профилактики воздушной эмболии, а также распространения тромбов временные клипсы удаляются. При отсутствии возможности наложить сосудистый шов можно прибегнуть к формированию обходного анастомоза, либо выполнить перевязку артерии. Перевязка ПА является наиболее радикальным способом остановки кровотечения и минимизирует риск повторного кровоизлияния. Рекомендуется выполнять лишь в условиях хорошего ретроградного тока, говорящего хирургу о достаточном коллатеральном кровотоке. Однако применение данного метода крайне нежелательно, так как частота неврологических осложнений при его выполнении достигает 43 %. Также данная методика сопровождается возникновением риска повреждения нервных корешков. Выполнять перевязку ПА следует как проксимальнее, так и дистальнее уровня повреждения. В случае перевязки лишь проксимального участка вероятен риск возникновения псевдоаневризм, артериовенозных фистул и, как следствие, отсроченной эмболии ПА. Особое внимание следует уделять при планировании перевязки левой ПА, так как, по данным Н. J. Yi et al., более чем в 50 % популяции левая ПА является доминантной и в 25 % – кодоминантной. Также, по данным авторов, риск возникновения

инфаркта ствола головного мозга при окклюзии левой ПА составляет 3,1 %, тогда как при повреждении правой – ПА 1,8 %. Общая летальность составляет 12–14 % [3, 9, 12].

В условиях слабого ретроградного тока, а также при отсутствии возможности ушивания поврежденной сосудистой стенки показано наложение анастомоза.

Такой метод остановки кровотечения, как тампонада, – далеко не самый эффективный и может нести за собой множество осложнений. Пациентам, которым была выполнена тампонада ППА в послеоперационном периоде, необходимы антитромбоцитарная терапия, динамическое выполнение КТ-ангиографии [12]. Частота формирования псевдоаневризм, по данным Q. Guan et al., составляет 48 %. Однако, несмотря на все недостатки, метод остается широко используемым [5].

Важным фактором при выборе тактики лечения является гемодинамический статус пациента. В условиях гемодинамической нестабильности целесообразно использовать методы, требующие меньшего времени для выполнения [2, 3, 6, 9].

Современные возможности эндоваскулярной хирургии значительно облегчают решение данной задачи. Стандартная ангиография позволяет определить механизм, локализацию ППА, а также состояние билатерального и коллатерального кровотоков. Однако срочная ангиография в условиях ППА в большинстве стационаров является трудновыполнимой. Эмболизация ППА в условиях достаточного коллатерального кровотока в ряде случаев может являться методом выбора и, по принципу лигирования, должна выполняться выше и ниже уровня повреждения. Установка поток-направляющих стентов также может быть применима при ППА, однако, ввиду своей ригидности, такие стенты применимы лишь на уровне V1-, V2-сегментов, где ПА менее извилиста. Стенты для ангиопластики применимы лишь при формировании псевдоаневризм, либо диссекции ПА в условиях отсутствия кровотечения. Устранение артериовенозных фистул возможно трансартериально, либо трансвенозно с использованием спиралей, изобутилцианоакрилатом, никсом [2, 3].

*Профилактика.* Ход ПА вариабелен и зачастую извилистый. ПА может в значительной степени отклоняться медиально и латерально, создавая дополнительные сложности при выполнении как переднего, так и заднего доступа к ШОП. На этапе предоперационного планирования в случае изменении морфологии поперечных отростков целесообразно визуализировать ПА, используя КТА [2, 13]. Выполнение магнитно-резонансной томографии (МРТ) с целью визуализации ПА малоинформативно [15]. Оценка ширины позвоночного канала может в дополнительной степени нивелировать риск ППА. В субаксиальных сегментах, как правило, составляет 13–14,5 мм. Средние значения расстояния между фораминальными отверстиями увеличиваются от уровня С3 к С6, в связи с чем широкая декомпрессия наиболее безопасна в нижних сегментах ШОП. При наличии аномалии ПА следует избегать агрессивной резекции унковертебральных сочленений. Важной составляющей также является правильное использование операционного микроскопа. Малейшее изменение угла атаки может послужить выполнению асимметричной декомпрессии, что увеличивает риск ППА. Важной является симметричная и стабильная укладка пациента с фиксацией головы в скобе. Установка микроскопа – перпендикулярно и по центру операционного поля [6]. Постоянный контроль средней линии и других анатомических ориентиров очень важен для безопасной диссекции [3]. На этапе планирования тактики хирургического лечения следует тщательно анализировать данные методов нейровизуализации. Для оценки состояния ПА и ее расположения относительно костных структур целесообразно выполнение МР-ангиографии, КТ-ангиографии, а также стандартной ангиографии. По данным Q. Guan et al., аномалии ПА достаточно сложно определить при помощи МРТ, либо КТ без контрастного усиления. В 50 % случаев аномалия не распознается [2].

Основываясь на вышеуказанных методах визуализации, хирург может определить необходимый и, в ряде случаев, допустимый объем резекции и декомпрессии. При условии наличия потенциально опасной аномалии ПА ме-

тодом профилактики осложнений ППА может служить заранее выполненный проксимальный и дистальный контроль относительно аномального сегмента ПА [3]. Аккуратная и точная работа с высокооборотным бором снижает риски ППА [2].

### Заключение

Хирургу следует проявлять осторожность при резекции унковертебрального сустава и избегать грубой и чрезмерной боковой резекции. При удалении сустава Люшка расстояние обнажения рукава корешка не должно превышать 5 мм. Интраоперационная утрата анатомических ориентиров при переднем доступе в значительной степени связана с ППА [2–8], особенно в условиях наличия анатомических вариаций хода ПА. Результаты методов нейровизуализации на дооперационном этапе должны быть тщательно проанализированы, чтобы определить соответствующую тактику лечения и избежать ППА.

Частота встречаемости аномалии ПА при ППА (50 %) описана W. K. Hsu et al. Это также подчеркивает необходимость тщательной предоперационной оценки, в особенности в отношении сосудистой анатомии. Значение предоперационной идентификации анатомических изменений артерий невозможно переоценить, поскольку знание курса ПА может повлиять на интраоперационные соображения и принятие решений в зависимости от стадии процедуры и операционного уровня.

Отклонения в русле позвоночной артерии, если они не распознаны при предоперационном обследовании, могут представлять непреднамеренный интраоперационный риск. Глубокое понимание анатомии ВА до операции может помочь предотвратить травму. Тщательное обследование с помощью компьютерной томографии, МРТ или даже продвинутой 3D-компьютерной ангиографии было бы необходимо во время предоперационной оценки. Предоперационная ангиография может оказаться особенно ценной в контексте смещения, извитости или расширения ПА [2, 9, 23–29].

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. **Conflict of interest.** The author declares no conflict of interest.

**Финансирование.** Исследование проведено без спонсорской поддержки. **Financing.** The study was performed without external funding.

### Литература / References

1. Ao S., Liu Y., Wang Y. et al. Cervical kyphosis in asymptomatic populations: incidence, risk factors, and its relationship with health-related quality of life. *J Orthop Surg Res.* 2019;14(1):322. Doi: 10.1186/s13018-019-1351-2. PMID: 31615561.
2. Дамдинов Б. В., Сороковиков В. А., Ларионов С. Н. и др. Особенности изменения сагиттального баланса шейного отдела позвоночника при шейно-плечевом синдроме // *Хирургия позвоночника.* 2019. Т. 16, № 2. С. 42–48. [Damdinov B. V., Sorokovikov V. A., Larionov S. N., Koshkareva Z. V., Sklyarenko O. V., Zhivotenko A. P., Kiriyeenko A. N. Features of changes in the sagittal balance of the cervical spine in cervical-brachial syndrome. *Spine surgery.* 2019;16(2):42–48. (In Russ.). Doi: 10.14531/ss2019.2.42-48. EDN: BWYTYM.
3. Шнайдер Л. С., Павлов В. В., Крутько А. В. Изменения позвоночно-тазового баланса после эндопротезирования тазобедренного сустава у пациентов с врожденным вывихом бедра // *Хирургия позвоночника.* 2018. Т. 15, № 4. С. 80–86. [Schneider L. S., Pavlov V. V., Krutko A. V. Changes in the vertebral-pelvic balance after hip replacement in patients with congenital hip dislocation. *Spine surgery.* 2018;15(4):80–86. (In Russ.). Doi: 10.14531/ss2018.4.80-86. EDN: YZKXXN.
4. Макиров С. К., Юз А. А., Джахаф М. Т. Методика оценки сагиттального позвоночно-тазового баланса // *Хирургия позвоночника.* 2015. Т. 12, № 3. С. 55–63. [Makirov S. K., Yuz A. A., Jahhaf M. T. Methodology for assessing sagittal vertebral-pelvic balance. *Journal of Spine Surgery.* 2015;12(3):55–63. (In Russ.). Doi: 10.14531/ss2015.3.55-63. EDN: UMGWQX.
5. Борzych К. О., Рерих В. В., Самохин А. Г. Параметры сагиттального баланса у пациентов с посттравматическими деформациями нижнегрудной и верхнепоясничной локализации // *Современные проблемы науки и образования.* 2018. № 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=28266> (дата обращения: 14.06.2023). [Borzykh K. O., Roerich V. V., Samokhin A. G. Parameters of sagittal balance in patients with posttraumatic deformities of the lower thoracic and upper lumbar localization. *Modern problems of science and education.* 2018;(6). (In Russ.). Available from: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=28266> [Accessed 14 June 2023]]. EDN: YVMKLZ.
6. Проценко А. И., Никурадзе В. К., Мехтиханов Д. С. Хирургическая тактика в лечении травмы шейного отдела позвоночника // *Хирургия: Журнал им. Н. И. Пирогова.* 2011. № 1. С. 43–47. [Protsenko A. I., Nikuradze V. K., Mekhtikhanov D. S. Surgical tactics in the treatment of cervical spine injury. *Surgery: Magazine named after N. I. Pirogov.* 2011;(1):43–47. (In Russ.). EDN: NZGEVF.
7. Климов В. С., Василенко И. И., Рябык О. С. Влияние реконструкции сагиттального баланса на результаты лечения пациентов пожилого и старческого возраста с дегенеративным спондилолистезом низкой степени градации: анализ многоцентровой четырехлетней когорты // *Гений ортопедии.* 2020. Т. 26, № 4. С. 555–564. [Klimov V. S., Vasilenko I. I., Ryabykh O. S. Influence of sagittal balance reconstruction on the results of treatment of elderly and senile patients with degenerative spondylolisthesis of low degree of gradation: analysis of a multicenter four-year cohort. *Genius of orthopedics.* 2020;26(4):555–564. (In Russ.). Doi: 10.18019/1028-4427-2020-26-4-555-564. EDN: YUMKFF
8. Крутько А. В. Сагиттальный баланс. Гармония в формулах. Новосибирск, 2016. 64 с. [Krutko A. V. Sagittal balance. *Harmony in formulas.* Novosibirsk; 2016. 64 p. (In Russ.). EDN: YVUYQF.
9. Рерих В. В., Борzych К. О. Посттравматические деформации грудного и поясничного отделов позвоночника у пациентов в позднем периоде позвоночно-спинномозговой травмы после ранее проведенных оперативных вмешательств // *Международ. журн. приклад. и фундамент. исслед.* 2015. Т. 12, № 4. С. 657–660. [Roerich V. V., Borzykh K. O. Posttraumatic deformities of the thoracic and lumbar spine in patients in the late period of spinal cord injury after previously performed surgical interventions. *International Journal of Applied and Fundamental Research.* 2015;12(4):657–660. (In Russ.). EDN: VBUMWX.
10. Ластевский А. Д., Попелюх А. И., Веселов С. В. Биомеханические аспекты первичной стабильности инструментальной фиксации при лечении вывихов шейных позвонков субаксиальной локализации: экспериментальное исследование // *Хирургия позвоночника.* 2021. Т. 18, № 3. С. 43–52. [Lastevsky A. D., Popelyukh A. I., Veselov S. V. Biomechanical aspects of primary stability of instrumental fixation in the treatment of dislocations of the cervical vertebrae of subaxial localization: an experimental study. *Spine surgery.* 2021;18(3):43–52. (In Russ.). Doi: 10.14531/ss2021.3.43-52. EDN: QLYXRP.
11. Михайловский М. В., Новиков В. В. Оперативная коррекция врожденных кифозов у пациентов старше 10 лет // *Хирургия позвоночника.* 2016. Т. 13, № 1. С. 20–26. [Mikhailovsky M. V., Novikov V. V. Operative correction of congenital kyphoses in patients older than 10 years. *Spine surgery.* 2016;13(1):20–26. (In Russ.). Doi: 10.14531/ss2016.1.20-26. EDN: VQGEDT.
12. Lee S. H., Kim K. T., Seo E. M. et al. The influence of thoracic inlet alignment on the craniocervical sagittal balance in asymptomatic adults. *J Spinal Disord Tech.* 2012;(25):41–47. Doi: 10.1097/BSD.0b013e3182396301. PMID: 22037167.
13. Mizutani J., Inoue N., Otsuka Y. et al. Biomechanical and Anatomical Validity of the Short Posterior Arch Screw. *Neurospine.* 2019;16(2):347–353. Doi: 10.14245/ns.1836156.078. PMID: 30653910.
14. Hardacker J. W., Shuford R. F., Capicotto P. N. et al. Radiographic Standing Cervical Segmental Alignment in Adult Volunteers Without Neck Symptoms. *Spine.* 1997;22(13):1472–1479. Doi: 10.1097/00007632-199707010-00009. PMID: 9231966.
15. Кассар-Пуличино В. Н., Имхоф Х. Спинальная травма в свете диагностических изображений. М.: МЕДпресс-информ, 2009. 264 с. [Kassar-Pulichino V. N., Imhof H. Spinal injury in the light of diagnostic imaging. Moscow: MEDpress-inform; 2009. 264 p. (In Russ.). EDN: QLTRXX.
16. Holly L. T. Management of cervical spondylotic myelopathy with insights from metabolic imaging of the spinal cord and brain. *Current Opinion in Neurology.* 2009;(22):575–581. Doi: 10.1097/WCO.0b013e3283325ea7. PMID: 19741530.
17. Glassman S. D., Bridwell K., Dimar J. R. et al. The impact of positive sagittal balance in adult spinal deformity. *Spine.* 2005;30(18):2024–2029. Doi: 10.1097/01.brs.0000179086.30449.96. PMID: 16166889.
18. Mummaneni P. V., Deutsch H., Mummaneni V. P. Cervicothoracic kyphosis. *Neurosurgery Clinics of North America.* 2006;17(3):277–287. Doi: 10.1016/j.nec.2006.05.007. PMID: 16876028.
19. Shimizu K., Nakamura M., Nishikawa Y. et al. Spinal Kyphosis Causes Demyelination and Neuronal Loss in the Spinal Cord: A New Model of Kyphotic Deformity. *Spine.* 2005;30(21):2388–2392. Doi: 10.1097/01.brs.0000184378.67465.5c. PMID: 16261114.
20. Matz P. G., Anderson P. A., Holly L. T. et al. The natural history of cervical spondylotic myelopathy. *Journal*

- of Neurosurgery: Spine. 2009;11(2):104–111. Doi: 10.3171/2009.1.SPINE08716. PMID: 19769489.
21. Simmons R. L., Owen S., Abbott C. J. et al. Naproxen sodium and paracetamol/dextropropoxyphene in sports injuries – a multicentre comparative study. British Journal of Sports Medicine. 1982;16(2):91–95. Doi: 10.1136/bjism.16.2.91.
  22. Ames C. P., Smith J. S., Scheer J. K. et al. A standardized nomenclature for cervical spine soft-tissue release and osteotomy for deformity correction. Journal of Neurosurgery: Spine SPI. 2013;19(3):269–278. Doi: 10.3171/2013.5.SPINE121067. PMID: 23829287.
  23. Grosso M. J., Hwang R., Krishnaney A. A. et al. Complications and outcomes for surgical approaches to cervical kyphosis. J Spinal Disord Tech. 2015;28(7):385–393. Doi: 10.1097/BSD.0b013e318299953f. PMID: 23732179.
  24. Etame A. B., Wang A. C., Than K. D. Outcomes after surgery for cervical spine deformity: review of the literature. Neurosurgical Focus. 2010;28(3): Available from: <https://doi.org/10.3171/2010.1.FOCUS09278> [Accessed 16 June 2023].
  25. Traynelis V. C., Marano G. D., Dunker R. O. et al. Traumatic atlantooccipital dislocation. Case report. Neurosurg. 1986;(65):863–870. Doi: 10.3171/jns.1986.65.6.0863. PMID: 3772485.
  26. Kim L. J., Klopfenstein J. D., Zabramski J. M. et al. Analysis of pain resolution after surgical resection of intramedullary spinal cord cavernous malformations. Neurosurgery. 2006;58(1):106–111. Doi: 10.1227/01.neu.0000192161.95893.d7. PMID: 16385334.
  27. Westerveld L., Verlaan J. J., Oner F. C. Spinal fractures in patients with ankylosing spinal disorders: a systematic review of the literature on treatment, neurological status and complications. European Spine Journal. 2009;(18):145–156. Doi: 10.1007/s00586-008-0764-0. PMID: 18791749.
  28. Smith J., Singh M., Klineberg E. et al. Surgical treatment of pathological loss of lumbar lordosis (flatback) in patients with normal sagittal vertical axis achieves similar clinical improvement as surgical treatment of elevated sagittal vertical axis. J Neurosurg Spine. 2014;(21):160–170. Doi: 10.3171/2014.3.SPINE13580. PMID: 24766290.
  29. Schwab F., Ungar B., Blondel B. et al. Scoliosis Research Society–Schwab Adult Spinal Deformity Classification: A Validation Study. Spine. 2012;37(12):1077–1082. Doi: 10.1097/BRS.0b013e31823e15e2. PMID: 22045006.

### Сведения об авторах

Давид Вячеславович Биразов – врач-нейрохирург Национального медицинского исследовательского центра травматологии и ортопедии имени Р. Р. Вредена (Санкт-Петербург, Россия);

Дмитрий Александрович Гуляев – доктор медицинских наук, доцент, руководитель лаборатории интегративных нейрохирургических технологий Национального медицинского исследовательского центра им. В. А. Алмазова (Санкт-Петербург, Россия);

Денис Сергеевич Годанюк – врач-нейрохирург Отделения нейрохирургии № 5 Национального медицинского исследовательского центра им. В. А. Алмазова (Санкт-Петербург, Россия).

Юрий Юрьевич Поляков – кандидат медицинских наук, заведующий Отделением травматологии и ортопедии

№ 3 Национального медицинского исследовательского центра травматологии и ортопедии имени Р. Р. Вредена (Санкт-Петербург, Россия);

Рамин Масуддинович Шарифов – врач-нейрохирург Отделения травматологии и ортопедии № 3 Национального медицинского исследовательского центра травматологии и ортопедии имени Р. Р. Вредена (Санкт-Петербург, Россия);

Тимур Сергеевич Алдатов – кандидат медицинских наук, врач-нейрохирург Отделения нейрохирургии ООО «АВА-ПЕТЕР» (Санкт-Петербург, Россия);

Константин Викторович Жданович – врач-нейрохирург Отделения травматологии и ортопедии № 3 Национального медицинского исследовательского центра травматологии и ортопедии имени Р. Р. Вредена (Санкт-Петербург, Россия).

### Information about the authors

David V. Biragov – Neurosurgeon, National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics named after R. R. Vreden (St. Petersburg, Russia);

Dmitry A. Gulyaev – Dr. of Sci. (Med.), Associate Professor, Head at the Laboratory of Integrative Neurosurgical Technologies, V. A. Almazov National Medical Research Center (St. Petersburg, Russia);

Denis S. Godanyuk – Neurosurgeon at the Department of Neurosurgery No. 5, V. A. Almazov National Medical Research Center (St. Petersburg, Russia).

Yuri Yu. Polyakov – Cand. of Sci. (Med.), Head at the Department of Traumatology and Orthopedics No. 3, National Medical Research Center for Traumatology and

Orthopedics named after R. R. Vreden (St. Petersburg, Russia);

Ramin M. Sharifov – Neurosurgeon at the Department of Traumatology and Orthopedics No. 3, National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics named after R. R. Vreden (St. Petersburg, Russia);

Timur S. Aldatov – Cand. of Sci. (Med.), Neurosurgeon at the Department of Neurosurgery, ООО «AVA-PETER» (St. Petersburg, Russia);

Konstantin V. Zhdanovich – Neurosurgeon at the Department of Traumatology and Orthopedics No. 3, National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics named after R. R. Vreden (St. Petersburg, Russia).

Принята к публикации 26.08.2024

Accepted 26.08.2024