

DOI: <https://doi.org/10.24412/2587-7569-2025-1-120-129>

Методы стабилизации краниовертебрального сочленения

И.В. Чернов¹, А.Н. Шкарубо¹, Н.А. Коновалов¹, Д.Н. Андреев¹, С.В. Капровой¹, Д.А. Старостенко²,
О.А. Милованова³, П.Л. Калинин¹

¹ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко» Минздрава России; Россия, 125047 Москва, ул. 4-я Тверская-Ямская, 16;

²ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России; Россия, 117997 Москва, ул. Островитянова, 1;

³ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России; Россия, 125993 Москва, ул. Баррикадная, 2/1, стр. 1

Контакты: Илья Валерьевич Чернов ichernov@nsi.ru

Различные новообразования, травмы, а также врожденные и приобретенные аномалии краниовертебральной области могут приводить к нестабильности краниовертебрального сочленения. В настоящее время в зависимости от нозологии и хирургического плана лечения пациента используют различные варианты передней и задней стабилизации краниовертебрального сочленения, а также их комбинации. Цель нашей работы – освещение современных методик стабилизации краниовертебрального сочленения, выявление их преимуществ и недостатков.

Ключевые слова: нестабильность краниовертебрального сочленения, стабилизация краниовертебрального сочленения, атлантоаксиальная стабилизация, окципитоспондилодез

Для цитирования: Чернов И.В., Шкарубо А.Н., Коновалов Н.А. и др. Методы стабилизации краниовертебрального сочленения. Нейрохирургия 2025;27(1):120–9.

DOI: <https://doi.org/10.24412/2587-7569-2025-1-120-129>

Techniques of stabilization of the craniovertebral junction

I.V. Chernov¹, A.N. Shkarubo¹, N.A. Kononov¹, D.N. Andreev¹, S.V. Karpovoy¹, D.A. Starostenko²,
O.A. Milovanova³, P.L. Kalinin¹

¹N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery, Ministry of Health of Russia; 16 4th Tverskaya-Yamskaya St., Moscow 125047, Russia;

²N.I. Pirogov Russian National Research Medical University, Ministry of Health of Russia; 1 Ostrovityanova St., Moscow 117997, Russia;

³Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Ministry of Health of Russia; Bld. 12/1 Barricadnaya St., Moscow 125993, Russia

Contacts: Ilya Valerievich Chernov ichernov@nsi.ru

Various neoplasms, injuries, as well as congenital and acquired abnormalities of the craniovertebral region can lead to instability of the craniovertebral junction. Currently, depending on the nosology and surgical treatment plan of the patient, various options for anterior and posterior stabilization of the craniovertebral junction, as well as their combinations, are used. The purpose of our work was to highlight modern methods of stabilization of craniovertebral junction, to identify their advantages and disadvantages.

Keywords: instability of the craniovertebral junction, stabilization of the craniovertebral junction, atlantoaxial stabilization, occipitospondylosis

For citation: Chernov I.V., Shkarubo A.N., Kononov N.A. et al. Techniques of stabilization of the craniovertebral junction. Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery 2025;27(1):120–9. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.24412/2587-7569-2025-1-120-129>

ВВЕДЕНИЕ

Краниовертебральный переход — область между основанием черепа и верхним отделом позвоночника, включающая нижние отделы затылочной кости, 2 верхних шейных позвонка, а также прилегающие к ним мышцы и связки. Латеральные массы атланта соединяются с двумя мыщелками затылочной кости, образуя атлантозатылочный сустав. Атлантоаксиальное соединение включает 2 латеральных атлантоосевых сустава, образованных суставными отростками позвонков, и срединный атлантоосевой сустав, образованный зубом C_2 -позвонка и передним полукольцом атланта [1]. Различные новообразования, травмы, а также врожденные и приобретенные аномалии краниовертебральной области могут приводить к нестабильности краниовертебрального сочленения (КВС) (излишней подвижности суставов КВС). В настоящее время в зависимости от нозологии и хирургического плана лечения пациента используют различные варианты передней и задней стабилизации КВС, а также их комбинации. Выбор варианта зависит от конкретного заболевания, необходимой последовательности хирургических этапов лечения, а также от возможностей клиники и навыков хирурга, ввиду чего стандартизованная тактика отсутствует.

Целью нашей работы явилось освещение современных методик стабилизации КВС, выявление их преимуществ и недостатков.

ПОКАЗАНИЯ К СТАБИЛИЗАЦИИ КРАНИОВЕРТЕБРАЛЬНОГО СОЧЛЕНЕНИЯ

Показанием к стабилизации КВС является имеющаяся (первичная) или сформированная в ходе хирургического лечения (вторичная) нестабильность этого сегмента. Основная причина первичной нестабильности КВС — травматическое поражение костных структур этой области, а именно перелом различных фрагментов C_1 -, C_2 -позвонков, повреждение связочного аппарата, прежде всего в виде разрыва поперечной связки зубовидного отростка [2]. Также причиной нестабильности КВС могут стать дегенеративные заболевания, опухолевые процессы (рис. 1), разрушающие костно-связочный аппарат комплекса C_0 – C_1 – C_2 [3].

В ряде случаев у пациентов ввиду компрессионного воздействия патологического очага на спинной мозг возникает необходимость трансзатылочного или трансорального удаления части комплекса КВС, например при инвагинированном зубовидном отростке (рис. 2), в ходе чего формируется вторичная нестабильность [1, 4–8].

Для определения необходимости стабилизации позвоночника (в том числе КВС) у пациентов с опухолевым поражением в практику внедрена шкала «Оценка нестабильности позвоночника при опухолевых заболеваниях», разработанная исследовательской группой по онкологии позвоночника (Spine Oncology Study

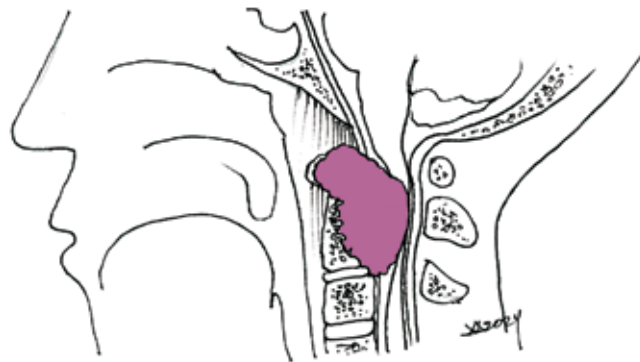


Рис. 1. Схематическое изображение опухоли на уровне C_1 – C_2 -позвонков, доступной для удаления из вентральных доступов, что потребует стабилизации краниовертебрального сочленения ввиду необходимости удаления передних отделов комплекса C_1 – C_2 -позвонка

Fig. 1. Diagram of a tumor at the C_1 – C_2 vertebra level available for resection through ventral accesses which will require stabilization of the craniovertebral junction due to the necessity of resection of the anterior parts of the C_1 – C_2 vertebral complex



Рис. 2. Схематическое изображение платибазии, инвагинации зубовидного отростка выше линии Чемберлена (красная линия), передней компрессии ствольных структур

Fig. 2. Diagram of platybasia, invagination of the odontoid process above the Chamberlain line (red line), anterior compression of the stem structures

Group, SOSG) в 2010 г. [9]. Шкала включает оценку таких параметров, как локализация опухоли, выраженность боли, тип поражения кости опухолью (литический, смешанный, бластический), рентгенологическое выравнивание позвоночника (норма, деформация, сублюксация (подвывих)), степень разрушения тела позвонка и вовлечение заднелатеральных структур. Максимальное количество баллов — 18, при оценке 13 баллов имеется нестабильность КВС, требующая коррекции. Чувствительность и специфичность шкалы составляют 96 и 80 % соответственно [10].

Также оцениваются функциональные рентгенограммы шейного отдела позвоночника (сгибание, разгибание), при которых расширение сустава Крювелье >2 мм у взрослых и 4 мм у детей отображает наличие атлантоаксиальной нестабильности [11].

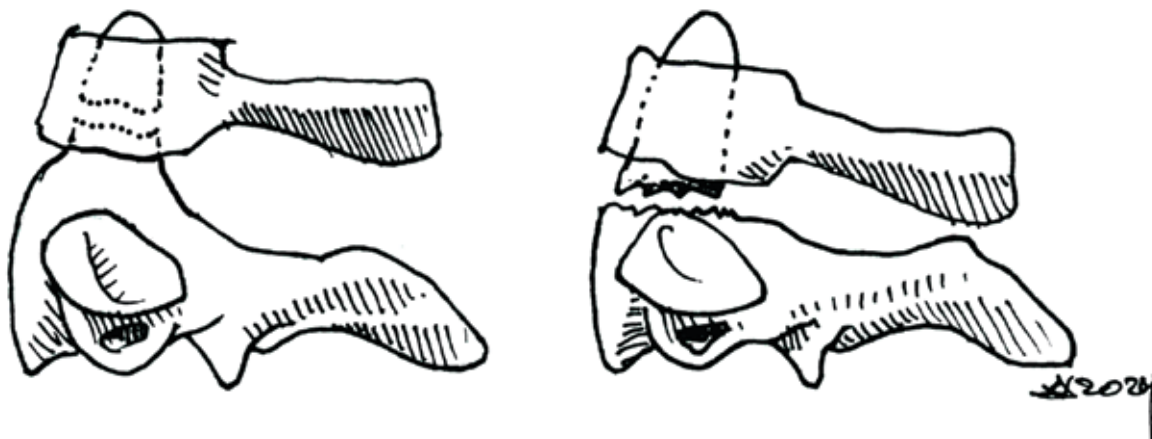


Рис. 3. Схематическое изображение перелома зубовидного отростка C_2 -позвонка (2-й и 3-й типы)

Fig. 3. Diagram of a fracture of the C_2 vertebra odontoid process (types 2 and 3)

В настоящее время для стабилизации КВС используют методы передней, задней стабилизации и их комбинации.

МЕТОДЫ ПЕРЕДНЕЙ СТАБИЛИЗАЦИИ

Передняя стабилизация включает использование различных видов стабилизирующих конструкций: винты, пластины, кейджи. Данный вид стабилизации применяют при переломах зубовидного отростка; опухолях основания черепа и тел верхних шейных позвонков, в ходе резекции которых удаляют и переднюю часть комплекса C_1 – C_2 -позвонков; воспалительных процессах (ревматоидное поражение, остеомиелит); аномалиях развития передних отделов КВС, требующих их хирургической коррекции [12, 13].

Винты. Применение винтовой стабилизации является основным способом при переломе зубовидного отростка C_2 -позвонка (рис. 3), составляющего 15 % всех травм шейного отдела позвоночника [12, 14].

Винты вводят в зубовидный отросток 2-го шейного позвонка, таким образом проводится прямой остеосинтез, при котором винты пересекают линию перелома зубовидного отростка (рис. 4).

Основное преимущество метода — сохранение ротационных движений в атлантоосевом суставе [15]. Впервые этот метод был описан в 1980 г. Т. Nakanishi. Оперативное вмешательство по установке костных винтов является малоинвазивным [12]. Данный вид фиксации возможен не во всех случаях. Обязательные условия его применения — вправимый перелом зубовидного отростка 2-го типа (по Anderson и D'Alonzo) на стадии отсутствия фиброзного сращения, интактная крестообразная связка и возможность выполнения переднего косого шейного доступа [12]. Вероятность сращения перелома при этом варианте стабилизации составляет 90–100 % [12, 16, 17]. Частота осложнений достигает 9,5 %, при этом чаще всего встречаются мальпозиция винта, повреждение задней стенки глотки и связанные с этим инфекционные осложнения [12, 17].

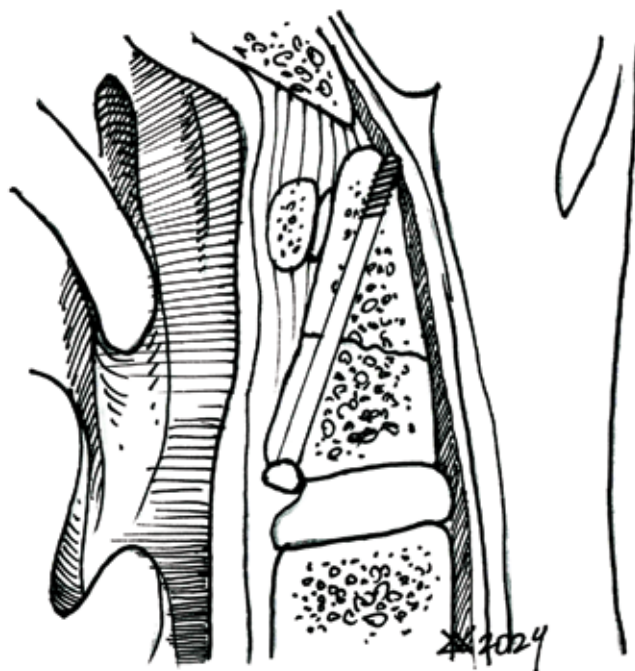


Рис. 4. Схематическое изображение винтовой стабилизации при переломе C_2 -позвонка

Fig. 4. Diagram of screw stabilization for C_2 vertebra fracture

При нестабильности, вызванной одонтоидэктомией, возможно проведение передней атланто-аксиально-затылочной (имплантация винта начинается с каудальной части C_2 и последовательно пересекает латеральную массу C_1 по направлению к затылочному мыщелку) или атлантоаксиальной трансартикулярной винтовой фиксации (рис. 5) [18].

Преимуществом данного метода стабилизации является одномоментность с одонтоидэктомией. При этом Y. Lu и соавт. показали, что атланто-аксиально-затылочная фиксация более предпочтительна у пациентов, перенесших одонтоидэктомию, ввиду развития нестабильности не только на уровне C_1 – C_2 -сегментов,

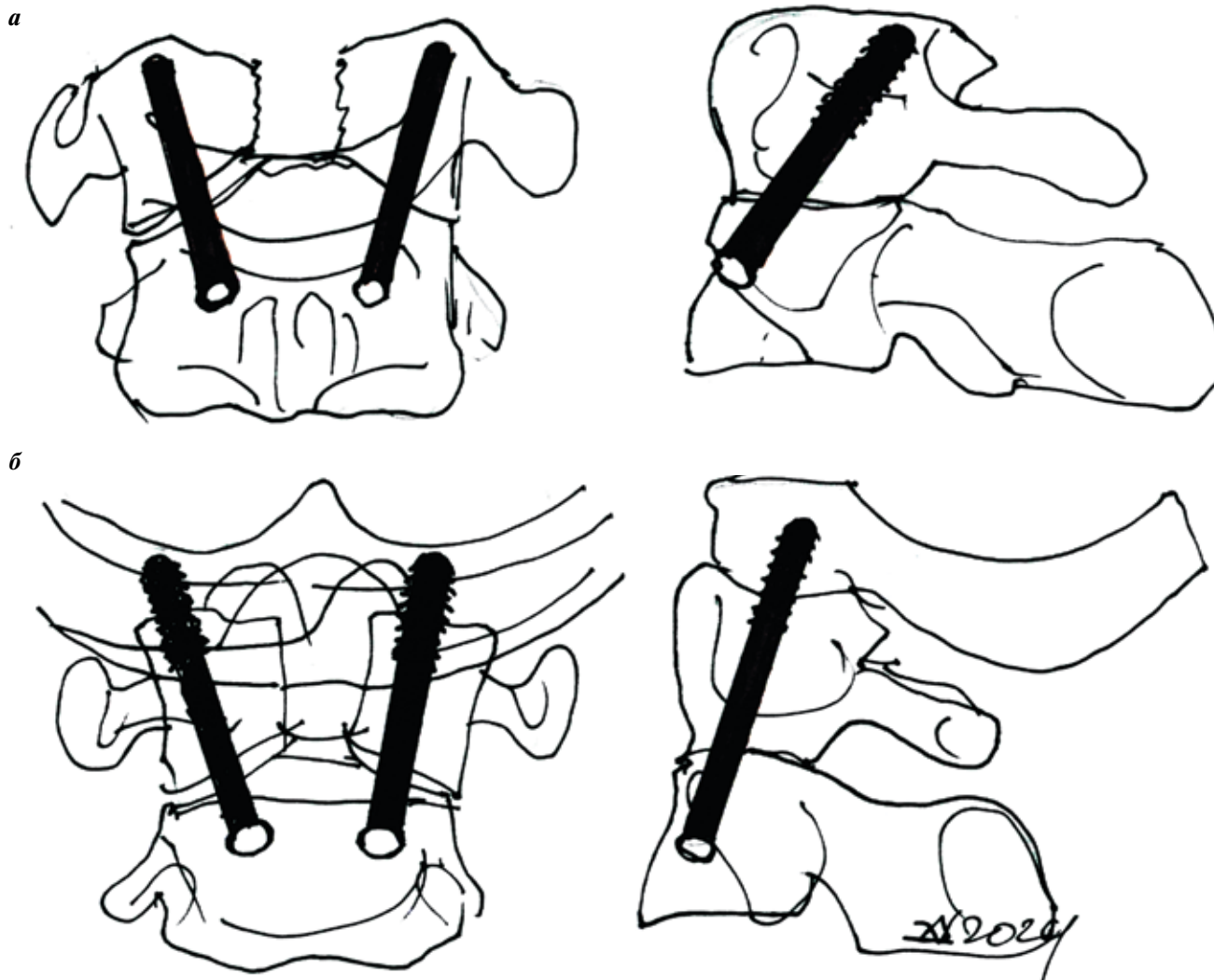


Рис. 5. Схема атлантоаксиальной трансартрикулярной винтовой фиксации (а) и атланто-аксиально-затылочной винтовой фиксации (б)
 Fig. 5. Diagrams of atlantoaxial transarticular screw fixation (a) and atlantoaxial-occipital screw fixation (b)

но и на C_0 – C_1 -уровне, особенно у пациентов с ревматоидным поражением [18].

Вариантом без включения C_2 -позвонка является относительно новая методика передней атлантоокипитальной трансартрикулярной винтовой фиксации, предложенной в 2019 г. W. Ji и соавт. [19]. Ее биомеханические параметры оказались сопоставимыми с окципитоспондилодезом (ОСД) [20], однако потенциальным риском манипуляции является повреждение продолговатого мозга или подъязычного нерва [19].

Пластины. Еще одним методом передней стабилизации краниовертебрального перехода является использование различных пластин — отдельно либо в комбинации с различными методиками задней стабилизации. В последних исследованиях все чаще встречается именно этот вариант стабилизации [21]. Сразу после проведения вентральной декомпрессии при патологических образованиях КВС, связанных со сдавлением ствола мозга, мальформации Киари,

инвагинации зубовидного отростка пластина винтами прикрепляется к боковым массам C_1 и передней поверхности тел C_2 –/ C_3 -позвонков [6, 22].

Преимуществом является достаточно широкий спектр показаний в сравнении с описанными выше винтами. Проведение стабилизации с использованием пластины возможно при переломах, аномалиях развития, новообразованиях. При стабилизации с использованием пластин у пациентов сохраняется подвижность за счет C_0 – C_1 - и C_3 – C_7 -сегментов [22]. При передней стабилизации нет необходимости интраоперационного поворота пациента для выполнения задней стабилизации, так как операция проводится в 1 этап. К недостаткам применения пластины изолированно (метод Harms, рис. 6) относятся возможность раскручивания винтов, а также худшие по сравнению с комбинированными вариантами биомеханические показатели [13], ввиду чего часто ее дополняют задней фиксацией проволокой (метод Harms–Brooks, рис. 7) [21].

При атлантоаксиальных дислокациях предложено применение трансоральной передней редукционной пластины (transoral anterior reduction plate, TARP) (рис. 8) [23]. Пластина обеспечивает стабильную фиксацию КВС, а редукция (исправление смещения) при помощи специального редукционного инструмента позволяет в ходе операции по установке пластины выравнивать позвоночник и декомпримировать стволовые структуры.

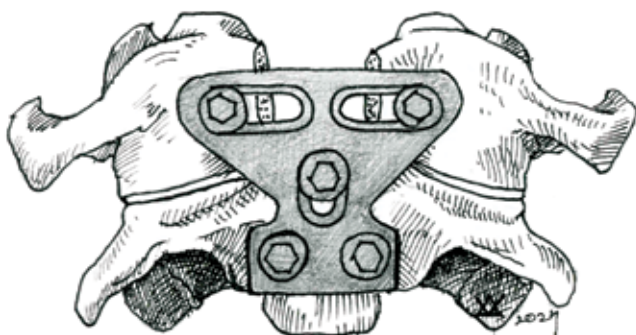


Рис. 6. Пластина Harms для передней стабилизации C_1 – C_2 -сегмента позвоночника

Fig. 6. Harms cage for anterior stabilization of C_1 – C_2 spinal segment

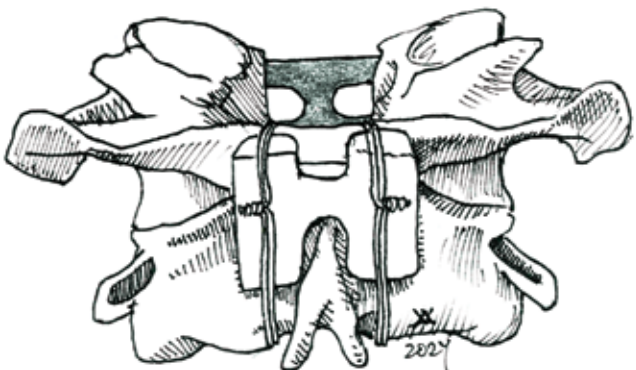


Рис. 7. Комбинированный вариант передней стабилизации с задней

Fig. 7. Combination of anterior and posterior stabilization

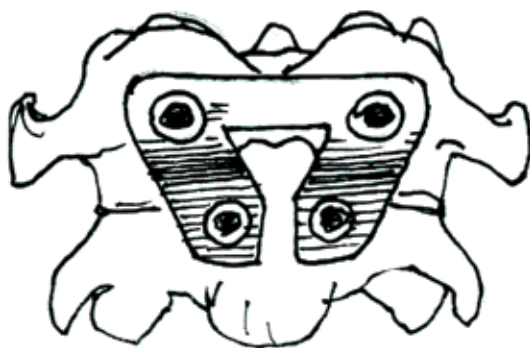


Рис. 8. Трансоральная передняя редукционная пластина (transoral anterior reduction plate), применяемая для стабилизации и редукции краниовертебрального сочленения

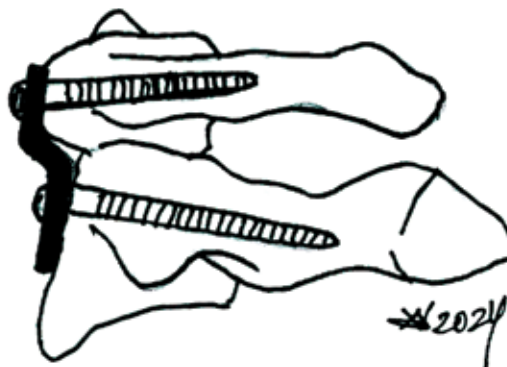
Fig. 8. Transoral anterior reduction plate used for stabilization and reduction of the craniovertebral junction

Одной из технических проблем является раскручивание винтов. Этот вопрос решен при использовании персонифицированных пластин (рис. 9) для передней стабилизации C_1 – C_2 -, C_1 – C_3 - и C_1 – C_4 -сегментов [21, 22, 24], к преимуществам которых относятся наличие стопорных элементов и их полная анатомическая сопоставимость с передней поверхностью комплекса C_1 – C_2 / C_3 / C_4 , что, соответственно, способствует получению лучших биомеханических результатов [25]. Было показано, что подобные системы обеспечивают более надежную фиксацию КВС – не менее чем в 1,6 раза.

Возможными осложнениями применения пластин являются несостоятельность раны на задней стенке глотки, развивающейся из-за наличия установленного импланта и соответственного повышенного натяжения мягких тканей, инфицирование и повреждение позвоночной артерии винтом [22, 23].

Кейджи. Для спондилодеза боковых масс атлантоаксиального сочленения используют кейджи (возможно использование костного аутографта, титановых, карбоновых или пластиковых РЕЕК кейджей, кейджа совместно с пластинами) [26]. Х. Huang и соавт. для установки таких кейджей предложили трансоральный метод [27, 28]. В отличие от предыдущих методов стабилизации при данном способе сохраняется анатомическая структура сустава, что является очевидным преимуществом. При использовании гибридного плат-кейджа возможна стабилизация на нескольких пораженных уровнях, что обеспечивает моментальную надежную ригидную межтеловую стабилизацию без необходимости ношения жесткого воротника [26]. Еще одним вариантом является стабилизация C_0 – C_1 -сегмента при помощи аутографта (рис. 10), что может обеспечить надежное сращение после 3–6-месячного ношения воротника [29].

Среди осложнений выделяют миграцию кейджа в тело позвонка, ведущую к рецидиву нестабильности. Возможно оседание кейджа и утрата шейного лордоза при стабилизации только кейджем [30]. В связи с этим



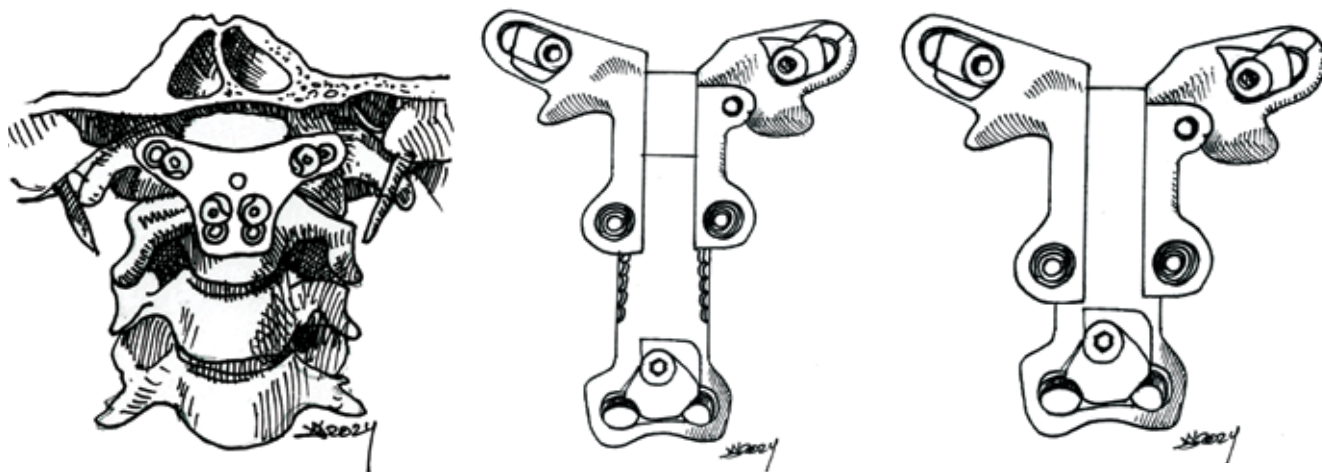


Рис. 9. Персонализированная пластина для передней стабилизации C_1 – C_2 -сегмента позвоночника

Fig. 9. Individualized plate for anterior stabilization of the C_1 – C_2 spinal segment

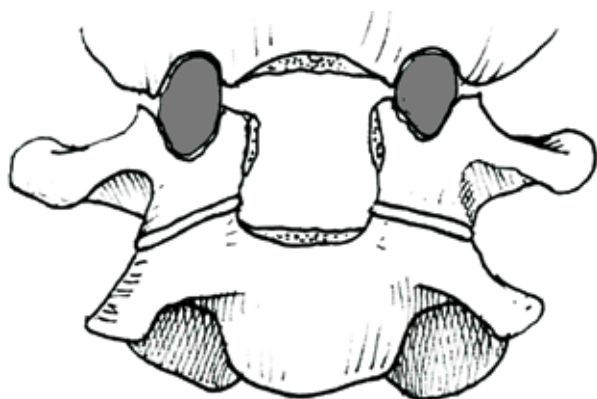


Рис. 10. Схема стабилизации C_0 – C_1 -сегмента при помощи аутографта

Fig. 10. Diagram of C_0 – C_1 segment stabilization using an autograft

необходима дополнительная фиксация пластиной, которая уменьшает эти риски [31, 32].

МЕТОДЫ ЗАДНЕЙ СТАБИЛИЗАЦИИ

Задняя стабилизация подразделяется на атлантоаксиальную и окципитоцервикальную. Атлантоаксиальная стабилизация может быть выполнена с использованием винтов, проволоки, крючков, пластин или зажимов. Ее выполнение сложнее, нежели ОСД, однако она обеспечивает больший диапазон движения за счет сохранения движения сегмента C_0 – C_1 , который обеспечивает >50 % движений головы и шеи. После окципитоцервикальной стабилизации практически полностью ограничены разгибание, сгибание и ротация в верхней части шейного отдела позвоночника. Наклоны вбок и аксиальное вращение возможны в пределах 3,4–5,5° и 2,4–7,2° соответственно [33–35]. ОСД выполняется при помощи балочно-проволочной системы, балочно-винтовой системы, а также крючковой. Каждая из них обеспечивает высокие показатели сращения (89–100 %) [36, 37].

Проволочный метод стабилизации C_1 – C_2 . Для обеспечения стабилизации необходимо соединение задней дуги 1-го шейного позвонка, костного трансплантата и дуги второго шейного позвонка. Костный трансплантат при этом располагают либо срединно на остистом отростке C_2 (способ Gallie), либо между задним полукольцом C_1 и дужками C_2 -позвонка (способ Brooks и Jenkins) и фиксируют проволокой к заднему полукольцу C_1 -позвонка и остистому отростку C_2 (в 1-м варианте) или дужкам C_2 (во 2-м варианте). К недостаткам можно отнести снижение амплитуды осевого вращения головы, поскольку этот метод представляет из себя полужесткую фиксацию атлантоаксиального сочленения. Также недостатком является необходимость субламинарного проведения проволоки, что несет в себе риск повреждения спинного мозга. Существует вероятность развития таких осложнений, как атрофия пересаживаемой кости, костная эрозия и ослабление проволоки, что соответственно потребует ревизии [12]. В течение 2–3 мес после операции пациентам необходимо ношение жесткого воротника, однако ввиду недостаточной комплаентности процент неудачных сращений достаточно высок – 30–80 % [38, 39]. В связи с этим проволочный метод фиксации в последнее время изолированно не выполняется, а является дополнением к другим методам стабилизации.

Винтовая стабилизация C_1 – C_2 -сегмента. При трансартикулярной атлантоаксиальной винтовой стабилизации винты вводятся через фасеточные суставы C_1 – C_2 -позвонков до боковых масс C_1 включительно (метод Magerl). Часто этот метод сочетают с фиксацией проволокой и аутокостью, описанной выше (рис. 11).

В отличие от проволочной фиксации винтовой способ позволяет добиться большей жесткости и прочного сращения (~87–100 %) и не требует ношения жесткого воротника после операции [40–43]. Дополнительным преимуществом является возможность

применения метода при поражениях заднего полукольца C_1 -позвонка. С другой стороны, метод Magerl имеет достаточно сложную техническую составляющую. Установка винтов происходит в непосредственной близости от хода позвоночных артерий, ввиду чего не у всех пациентов возможно его применение [12]. Частота повреждения позвоночной артерии составляет 1,3–4,1 %, а основной фактор риска – аномальное положение позвоночной артерии [17]. К другим осложнениям (более редким – до 1 %) относятся повреждение ТМО, перелом винта.

В 1994 г. впервые была описана методика стабилизации при помощи пластин, фиксированных к задней поверхности C_1 -/ C_2 -позвонков винтами, установленными в дужки C_2 - и боковые массы C_1 -позвонка, показавшая 100 % сращение этого сегмента, – метод Goel [41]. Недостатком методики стала необходимость пересечения C_2 -корешка спинного мозга. В результате метод эволюционировал в балочно-винтовую стабилизацию (метод Harms), которая в настоящее время является «золотым стандартом». Этот метод подразумевает введение винтов в боковые массы C_1 -позвонка и ножки $C_{2(x)}$ позвонка с последующим их соединением балками (рис. 12) [44].

Эффективность и безопасность трансартикулярной и балочно-винтовой стабилизаций сравнили в крупном метаанализе R.E. Elliott и соавт. в 2013 г. [45]. Было показано, что балочно-винтовая система чаще обеспечивает стабилизацию C_1 – C_2 -сегмента (99,3 % против 95,7 %), при частоте повреждения позвоночной артерии 3,1 %. С учетом того, что обе методики обеспечивают высокие показатели стабилизации, выбор в итоге зависит от анатомических особенностей хода позвоночной артерии, которая в 10–15 % случаев не позволяет безопасно установить винты трансартикулярно [46].

Применение крючков, зажимов для фиксации C_1 – C_2 -сегмента. Для фиксации C_1 – C_2 -сегмента описано несколько методик применения крючков в сочетании

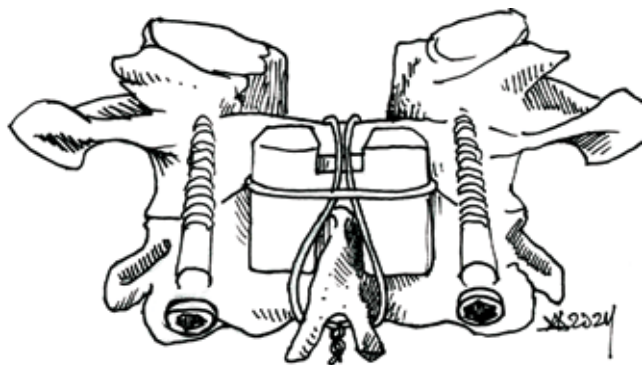


Рис. 11. Схема трансартикулярной атлантоаксиальной винтовой стабилизации в сочетании с проволоочной фиксацией

Fig. 11. Diagram of transarticular atlantoaxial screw stabilization in combination with wire fixation

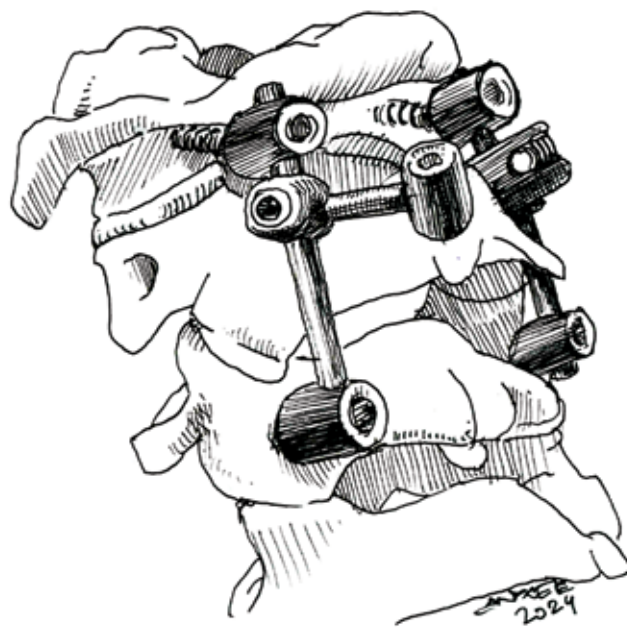


Рис. 12. Схема задней балочно-винтовой фиксации C_1 – C_3 -сегмента позвоночника

Fig. 12. Diagram of posterior fixation with rods and screws of the C_1 – C_3 spinal segment

с винтами, пластинами, проволокой [47–49]. Преимуществами использования крючков являются возможность их установки при остеопорозе, отсутствие необходимости послеоперационного ношения воротника и отсутствие риска повреждения спинного мозга как при проволоочном методе фиксации [50–52].

Также для стабилизации C_1 – C_2 -сегмента возможно применение зажимов, которые обеспечивают сопоставимые результаты с проволоочным методом, при этом нет необходимости субламинарного проведения проволоки, что, соответственно, исключает риск повреждения твердой мозговой оболочки и спинного мозга. Тем не менее ввиду необходимости соблюдения ряда условий (интактные задние полукольца C_1 -позвонка и дужки C_2 -позвонка), а также с учетом характера возможных отсроченных осложнений (соскальзывание зажима, перелом C_1 -позвонка) использование зажимов в настоящее время ограничено [53, 54].

Окципитоспондилодез. Задняя цервикокципитальная стабилизация в основном осуществляется с помощью стержне-винтовой системы (C_0 – C_x , где x – 2–7-й позвонки), обеспечивающая высокие показатели стабилизации (89–100 %) при минимальной частоте осложнений (рис. 13) [12].

Наиболее частые осложнения – раскручивание винтов и, соответственно, нестабильность КВС (до 7 %), требующая более длительного ношения воротника, ликворея (до 4 %), инфекции (до 11 %) [17]. Самым главным недостатком данного метода является сращение затылочной кости и шейных позвонков, что приводит к серьезным ограничениям движения

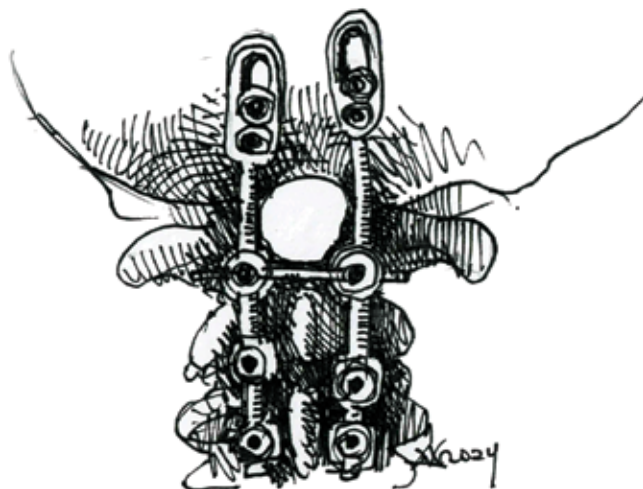


Рис. 13. Схема окципитоспондилодеза — балочно-винтовой системы
Fig. 13. Diagram of occipital cervical fusion: rods and screws system

головы [12], ввиду чего ОСД применяют в основном при наличии противопоказаний к другим методам атлантоаксиальной стабилизации. Также для ОСД используют крючково-винтовую балочную, проволоочно-балочную системы, крючковую систему с пластинами, проволоку с костным аутографтом, при этом все, кроме последней, обеспечивают артродез в сроки <4 мес [55]. Еще одним вариантом стабилизации является применение винтовой атлантоокципитальной транс-артрикулярной стабилизации в комбинации с винтовой атлантоаксиальной стабилизацией [56].

КОМБИНИРОВАННЫЕ ВАРИАНТЫ СТАБИЛИЗАЦИИ КРАНИОВЕРТЕБРАЛЬНОГО СОЧЛЕНЕНИЯ

В ряде случаев при многоэтапном хирургическом лечении (чаще всего при неэффективности задней декомпрессии у пациентов с аномалиями развития, новообразованиями, оказывающими компрессионное воздействие на ствольные структуры, и при необходимости выполнения вмешательства с другой стороны) возможно выполнение комбинированной передней и задней стабилизации. Применяются практически любые комбинации вариантов передней стабилизации (винтовая, пластины, кейджи) с любыми вариантами

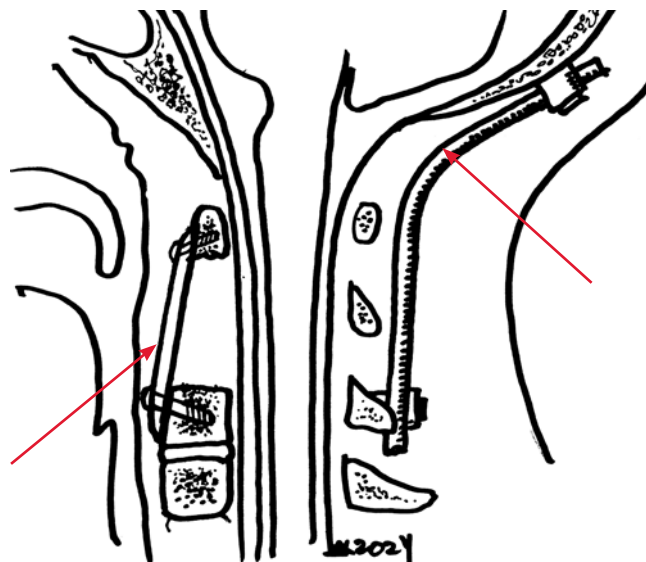


Рис. 14. Схема комбинированной передней C_1 – C_2 (пластина — стрелка слева) и задней (окципитоспондилодез — стрелка справа) стабилизации краниовертебрального сочленения

Fig. 14. Diagram of combination anterior C_1 – C_2 (plate — left arrow) and posterior (occipitospondylodesis — right arrow) stabilization of the craniovertebral junction

задней окципитоцервикальной/атлантоаксиальной стабилизацией (рис. 14) [21].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время существует широкий выбор вариантов стабилизации КВС в зависимости от характера патологии, особенностей пациента, состояния костной ткани, этапности хирургического лечения. Именно обилие хирургических техник стабилизации позволяет персонализированно подходить к лечению каждого пациента и обеспечивать наилучшие результаты лечения с учетом особенностей каждой методики. Анализ литературы показывает все более частое применение методов передней стабилизации КВС, что позволяет выполнять операции, требующие резекции костно-связочного аппарата вентральных отделов C_1 – C_2 -сегмента позвоночника в 1 этап со стабилизацией КВС. Наиболее перспективным является дальнейшая разработка персонализированных пластин для стабилизации.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Ottenhausen M., Greco E., Bertolini G. et al. Craniovertebral junction instability after oncological resection: a narrative review. *Diagnostics (Basel)* 2023;13(8):1502. DOI: 10.3390/diagnostics13081502
- Львов И.С., Гринь А.А., Некрасов М.А. и др. Методы вентральной декомпрессии у пациентов с атланто аксиальными дислокациями травматического и нетравматического генеза. *Журнал «Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко»* 2018;82(1):33–40. DOI: 10.17116/neiro201882133-40
- Lvov I.S., Grin' A.A., Nekrasov M.A. et al. Ventral decompression techniques in patients with traumatic and non-traumatic atlanto-axial dislocations. *Zhurnal Voprosy neurokhirurgii im N.N. Burdenko = Burdenko's Journal of Neurosurgery*. 2018;82(1):33–40. (In Russ., In Engl.). DOI: 10.17116/neiro201882133-40
- Коновалов А.Н., Сидоркин Д.В., Шкарубо А.Н. и др. *Хордомы основания черепа и краниовертебрального перехода*. М.: АйБиПринт, 2014. 275 с.

- Kononov A.N., Sidorkin D.V., Shkarubo A.N. et al. Chordomas of the base of the skull and craniovertebral junction. Moscow: AiBiPrint, 2014. 275 p. (In Russ.).
4. Zhang B., Liu H., Cai X. et al. Biomechanical comparison of a novel transoral atlantoaxial anchored cage with established fixation technique — a finite element analysis. *BMC Musculoskelet Disord* 2015;16:261. DOI: 10.1186/s12891-015-0662-7
5. Giammalva G., Maugeri R., Cusimano L. et al. Diffuse idiopathic skeletal hyperostosis: a functional enemy of vertebral stability — case series and surgical consideration of craniovertebral junction involvement. *J Craniovertebr Junction Spine* 2023;14(3):274–80. DOI: 10.4103/jcvjs.jcvjs_72_23
6. Shkarubo A.N., Kuleshov A.A., Chernov I.V., Vetrile M.S. Transoral decompression and anterior stabilization of atlantoaxial joint in patients with basilar impression and Chiari malformation type I: a technical report of 2 clinical cases. *World Neurosurg* 2017;102:181–90. DOI: 10.1016/j.wneu.2017.02.113
7. Зуев А.А., Педяш Н.В., Елифанов Д.С., Костенко Г.В. Результаты хирургического лечения сирингомиелии, ассоциированной с аномалией Киари I-го типа. Анализ 125 наблюдений. Журнал «Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко» 2016;80(1):27–34. DOI: 10.17116/neiro201680127-34
- Zuev A.A., Pedyash N.V., Epifanov D.S., Kostenko G.V. Results of surgical treatment of syringomyelia associated with Chiari I malformation. An analysis of 125 cases. *Zhurnal Voprosy neirokhirurgii im N.N. Burdenko = Burdenko's Journal of Neurosurgery* 2016;80(1):27–34. (In Russ.). DOI: 10.17116/neiro201680127-34
8. Шкарубо А.Н. Атлас эндоскопической эндоназальной хирургии основания черепа и краниовертебрального сочленения. М.: АБВ-пресс, 2020. 272 с.
Shkarubo A.N. Atlas of endoscopic endonasal surgery of the base of the skull and craniovertebral articulation. Moscow: ABV-press, 2020. 272 p. (In Russ.).
9. Fisher C.G., DiPaola C.P., Ryken T.C. et al. A novel classification system for spinal instability in neoplastic disease. *Spine (Phila Pa 1976)* 2010;35(22):E1221–9. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181e16ae2
10. O'Sullivan M.D., Lyons F., Morris S. et al. Metastasis affecting craniocervical junction: current concepts and an update on surgical management. *Glob Spine J* 2018;8(8):866–71. DOI: 10.1177/2192568218762379
11. Шкарубо А.Н. Хирургия опухолей основания черепа с использованием трансназального и трансорального доступов с эндоскопическим контролем (аденомы гипофиза, краниофарингиомы, хордомы). Автореф. дис. ... докт. мед. наук. М., 2007.
Shkarubo A.N. Surgery of tumors of the base of the skull using transnasal and transoral approaches with endoscopic control (pituitary adenomas, craniopharyngiomas, chordomas). Abstract of dis. ... doct. med. sci. Moscow, 2007. (In Russ.).
12. Takayasu M., Aoyama M., Joko M., Takeuchi M. Surgical intervention for instability of the craniovertebral junction. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 2016;56(8):465–75. DOI: 10.2176/nmc.ra.2015-0342
13. Kandziora F., Kerschbaumer F., Starker M. et al. Biomechanical assessment of transoral plate fixation for atlantoaxial instability. *Spine (Phila Pa 1976)* 2000;25(12):1555–61. DOI: 10.1097/00007632-200006150-00016
14. Clark C.R., White A.A. Fractures of the dens. A multicenter study. *J Bone Joint Surg Am* 1985;67(9):1340–8. DOI: 4077905
15. Jeanneret B., Vernet O., Frei S., Magerl F. Atlantoaxial mobility after screw fixation of the odontoid. *J Spinal Disord* 1991;4(2):203–11. DOI: 10.1097/00002517-199106000-00011
16. Subach B.R., Morone M.A., Haid R.W. et al. Management of acute odontoid fractures with single-screw anterior fixation. *Neurosurgery* 1999;45(4):812–9; discussion 819–20. DOI: 10.1097/00006123-199910000-00015
17. Lall R., Patel N.J., Resnick D.K. A review of complications associated with craniocervical fusion surgery. *Neurosurgery* 2010;67(5):1396–403; discussion 1402–3. DOI: 10.1227/NEU.0b013e3181f1ec73
18. Lu Y., Hang G., Feng Y. et al. Biomechanical comparison of anterior axis-atlanto-occipital transarticular fixation and anterior atlantoaxial transarticular fixation after odontoidectomy: a finite element analysis. *Front Bioeng Biotechnol* 2023;11:1067049. DOI: 10.3389/fbioe.2023.1067049
19. Ji W., Xu X., Liu Q. et al. Anterior atlantooccipital transarticular screw fixation. *Spine (Phila Pa 1976)* 2019;44(17):E1010–7. DOI: 10.1097/BRS.0000000000003056
20. Xu P., Huang Z., Xiao H. et al. Anterior atlanto-occipital transarticular screw fixation: a biomechanical comparison with posterior fixation techniques. *J Neurosurg Spine* 2023;38(3):366–71. DOI: 10.3171/2022.11.SPINE22564
21. Шкарубо А.Н., Кулешов А.А., Чернов И.В. и др. Передняя стабилизация С1–СIII позвонков после трансорального удаления агрессивной аневризмальной кисты СII позвонка (клиническое наблюдение и обзор литературы). Журнал «Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко» 2018;82(5):111. DOI: 10.17116/neiro201882051111
- Shkarubo A.N., Kuleshov A.A., Chernov I.V. et al. Anterior stabilization of the C1–CIII vertebrae after transoral removal of an aggressive aneurysmal bone cyst of the CII vertebra (a case report and literature review). *Zhurnal Voprosy neirokhirurgii im N.N. Burdenko = Burdenko's Journal of Neurosurgery* 2018;82(5):111. (In Russ., in Engl.). DOI: 10.17116/neiro201882051111
22. Shkarubo A.N., Kuleshov A.A., Chernov I.V. et al. Transoral decompression and stabilization of the upper cervical segments of the spine using custom-made implants in various pathologic conditions of the craniovertebral junction. *World Neurosurg* 2018;109:e155–63. DOI: 10.1016/j.wneu.2017.09.124
23. Yin Q.-S., Li X.-S., Bai Z.-H. et al. An 11-year review of the TARP procedure in the treatment of atlantoaxial dislocation. *Spine (Phila Pa 1976)* 2016;41(19):E1151–8. DOI: 10.1097/BRS.0000000000001593
24. Shkarubo A.N., Kuleshov A.A., Chernov I.V. et al. Anterior stabilization of C1–C4 vertebrae after transoral removal of a giant cell tumor of C2–C3 vertebrae. *Hir Pozvonochnika* 2019;16(2):56–63. DOI: 10.14531/ss2019.2.56-63
25. Кулешов А.А., Шкарубо А.Н., Гаврюшенко Н.С. и др. Сравнительное экспериментальное исследование индивидуальной пластины для передней стабилизации и дорсальных систем фиксации на уровне С1–С2-позвонков. Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова 2016;23(1):76–82. DOI: 10.17816/vto201623176-81
- Kuleshov A.A., Shkarubo A.N., Gavryushenko N.S. et al. Comparative experimental study of custom made plate for anterior stabilization and dorsal fixation systems at C1–C2 vertebrae level. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova = N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics* 2016;23(1):76–82. (In Russ.). DOI: 10.17816/vto201623176-81
26. Бывальцев В.А., Сороковиков В.А., Калинин А.А., Белых Е.Г. Анализ результатов переднего шейного спондилодеза с использованием гибридного кейджа PCB Evolution за двухлетний период. Журнал «Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко» 2013;77(1):37–45.
Byval'tsev V.A., Sorokovikov V.A., Kalinin A.A., Belikh E.G. Analysis of anterior cervical spondylosis using plate cage PCB Evolution for a 2 year period. *Zhurnal Voprosy neirokhirurgii im. N.N. Burdenko = Burdenko's Journal of Neurosurgery* 2013;77(1):37–45; discussion 45. (In Russ., In Engl.).
27. Huang X., Yin Q., Wang Z., Xia H. Implantation of the anterior atlantoaxial lateral mass intervertebral cage using the transoral approach. *J Orthop Sci* 2017;22:630–4. DOI: 10.1016/j.jos.2017.02.011
28. Wang S., Leng H., Tian Y. et al. A novel 3D-printed locking cage for anterior atlantoaxial fixation and fusion: case report and *in vitro* biomechanical evaluation. *BMC Musculoskelet Disord* 2021;22(1):121. DOI: 10.1186/s12891-021-03987-2
29. Shkarubo A.N., Chernov I.V., Andreev D.N. Transoral removal of ventrally located meningiomas of the craniovertebral junction. *World Neurosurg* 2019;124:e387–94. DOI: 10.1016/j.wneu.2018.12.103
30. Barsa P., Suchomel P. Factors affecting sagittal malalignment due to cage subsidence in standalone cage assisted anterior cervical fusion. *Eur Spine J* 2007;16(9):1395–400. DOI: 10.1007/s00586-006-0284-8

31. Stulík J., Kozák J., Sebesta P. et al. Total spondylectomy of C2: a new surgical technique. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech* 2007;74(2):79–90.
32. Hakalo J., Pezowicz C., Wronski J. et al. Comparative biomechanical study of cervical spine stabilisation by cage alone, cage with plate, or plate-cage: a porcine model. *J Orthop Surg (Hong Kong)* 2008;16(1):9–13. DOI: 10.1177/230949900801600103
33. Wenning K.E., Hoffmann M.F. Does isolated atlantoaxial fusion result in better clinical outcome compared to occipitocervical fusion? *J Orthop Surg Res* 2020;15(1):8. DOI: 10.1186/s13018-019-1525-y
34. Panjabi M., Dvorak J., Duranceau J. et al. Three-dimensional movements of the upper cervical spine. *Spine (Phila Pa 1976)* 1988;13(7):726–30. DOI: 10.1097/00007632-198807000-00003
35. Lu D.C., Roeser A.C., Mummaneni V.P., Mummaneni P.V. Nuances of occipitocervical fixation. *Neurosurgery* 2010; 66(3 Suppl):A141–6. DOI: 10.1227/01.NEU.0000365744.54102.B9
36. Hsu Y.-H., Liang M.-L., Yen Y.-S. et al. Use of screw-rod system in occipitocervical fixation. *J Chinese Med Assoc* 2009;72(1):20–8. DOI: 10.1016/S1726-4901(09)70015-2
37. Deutsch H., Haid R.W. Jr., Rodts G.E. Jr., Mummaneni P.V. Occipitocervical fixation: long-term results. *Spine (Phila Pa 1976)* 2005;30(5):530–5. DOI: 10.1097/01.brs.0000154715.88911.ea
38. Coyne T.J., Fehlings M.G., Wallace M.C. et al. C₁–C₂ posterior cervical fusion. *Neurosurgery* 1995;37(4):688–92; discussion 692–3. DOI: 10.1227/00006123-199510000-00012
39. Sen M.K., Steffen T., Beckman L. et al. Atlantoaxial fusion using anterior transarticular screw fixation of C₁–C₂: technical innovation and biomechanical study. *Eur Spine J* 2005;14(5):512–8. DOI: 10.1007/s00586-004-0823-0
40. Magerl F., Seemann P.-S. Stable posterior fusion of the atlas and axis by transarticular screw fixation. In: *Cervical Spine I*. Ed. by P. Kehr, A. Weidner. Vienna: Springer Vienna, 1987. Pp. 322–7. DOI: 10.1007/978-3-7091-8882-8_59
41. Bahadur R., Goyal T., Dhath S.S., Tripathy S.K. Transarticular screw fixation for atlantoaxial instability – modified Magerl's technique in 38 patients. *J Orthop Surg Res* 2010;5:87. DOI: 10.1186/1749-799X-5-87
42. Dickman C.A., Sonntag V.K. Posterior C₁–C₂ transarticular screw fixation for atlantoaxial arthrodesis. *Neurosurgery* 1998;43(2):275–80; discussion 280–1. DOI: 10.1097/00006123-199808000-00056
43. Neo M., Fujibayashi S., Miyata M. et al. Vertebral artery injury during cervical spine surgery: a survey of more than 5600 operations. *Spine (Phila Pa 1976)* 2008;33(7):779–85. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31816957a7
44. Harms J., Melcher R.P. Posterior C1–C2 fusion with polyaxial screw and rod fixation. *Spine (Phila Pa 1976)* 2001;26(22):2467–71. DOI: 10.1097/00007632-200111150-00014
45. Elliott R.E., Tanweer O., Boah A. et al. Outcome comparison of atlantoaxial fusion with transarticular screws and screw-rod constructs. *J Spinal Disord Tech* 2014;27(11):11–28. DOI: 10.1097/BSD.0b013e318277da19
46. Finn M.A., Apfelbaum R.I. Atlantoaxial transarticular screw fixation: update on technique and outcomes in 269 patients. *Neurosurgery* 2010;66(3 Suppl):A184–92. DOI: 10.1227/01.NEU.0000365798.53288.A3
47. Grob D., Magerl F. [Dorsal spondylodesis of the cervical spine using a hooked plate (In German)]. *Orthopade* 1987;16(1):55–61.
48. Murphy M.J., Daniaux H., Southwick W.O. Posterior cervical fusion with rigid internal fixation. *Orthop Clin North Am* 1986;17(1):55–65.
49. Mitsui H. One piece cervical device for cervical spine surgery. *Spine (Phila Pa 1976)* 1996;21(1):39–44. DOI: 10.1097/00007632-199601010-00009
50. Fagerström T., Hedlund R. Cotrel Dubousset instrumentation in occipito-cervico-thoracic fusion. *Eur Spine J* 2002;11(4):364–74. DOI: 10.1007/s00586-002-0392-z
51. Bueff H.U., Lotz J.C., Colliou O.K. et al. Instrumentation of the cervicothoracic junction after destabilization. *Spine (Phila Pa 1976)* 1995;20(16):1789–92. DOI: 10.1097/00007632-199508150-00007
52. Ni B., Zhou F., Xie N. et al. Transarticular screw and C₁ hook fixation for os odontoideum with atlantoaxial dislocation. *World Neurosurg* 2011;75(3–4):540–6. DOI: 10.1016/j.wneu.2010.07.021
53. Hanimoglu H., Hanci L., Kaynar M.Y., Hanci M. Bilateral C₁–C₂ claw for atlantoaxial instability. *Turk Neurosurg* 2009;19(4):345–8.
54. Rihn J.A., Winegar C.D., Donaldson W.F. et al. Recurrent atlantoaxial instability due to fracture of the posterior C1 ring: a late finding following posterior C1–C2 fusion using the Halifax clamp. *J Surg Orthop Adv* 2009;18(1):45–50.
55. Winegar C.D., Lawrence J.P., Friel B.C. et al. A systematic review of occipital cervical fusion: techniques and outcomes. *J Neurosurg Spine* 2010;13(1):5–16. DOI: 10.3171/2010.3.SPINE08143
56. Grob D. Transarticular screw fixation for atlanto-occipital dislocation. *Spine (Phila Pa 1976)* 2001;26(6):703–7. DOI: 10.1097/00007632-200103150-00030

Вклад авторов

И.В. Чернов: разработка концепции и дизайна исследования, сбор и обработка материала, написание текста статьи;

А.Н. Шкарубо: разработка концепции и дизайна исследования, редактирование статьи;

Н.А. Коновалов, О.А. Милованова, П.Л. Калинин: редактирование статьи;

Д.Н. Андреев, С.В. Капровой, Д.А. Старостенко: сбор и обработка материала, написание текста статьи.

Authors' contributions

I.V. Chernov: development of the concept and design of research, collection and processing of material, article writing;

A.N. Shkarubo: development of the research concept and design, editing of the article;

N.A. Konovalov, O.A. Milovanova, P.L. Kalinin: editing the article;

D.N. Andreev, S.V. Kaprovoy, D.A. Starostenko: collecting and processing the material, article writing.

ORCID авторов/ORCID of authors

И.В. Чернов / I.V. Chernov: <https://orcid.org/0000-0002-9789-3452>

А.Н. Шкарубо / A.N. Shkarubo: <https://orcid.org/0000-0003-3445-3115>

Н.А. Коновалов / N.A. Konovalov: <https://orcid.org/0000-0003-0824-1848>

Д.Н. Андреев / D.N. Andreev: <https://orcid.org/0000-0001-5473-4905>

С.В. Капровой / S.V. Kaprovoy: <https://orcid.org/0000-0001-8813-2793>

Д.А. Старостенко / D.A. Starostenko: <https://orcid.org/0009-0005-3436-4579>

О.А. Милованова / O.A. Milovanova: <https://orcid.org/0000-0002-6260-6193>

П.Л. Калинин / P.L. Kalinin: <https://orcid.org/0000-0001-9333-9473>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Финансирование. Работа выполнена без спонсорской поддержки.

Funding. The work was performed without external funding.

Статья поступила: 07.03.2024. **Принята к публикации:** 19.11.2024. **Опубликована онлайн:** 15.04.2025.

Article submitted: 07.03.2024. **Accepted for publication:** 19.11.2024. **Published online:** 15.04.2025.