



ЗАДНЯЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ ФИКСАЦИЯ ШЕЙНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА У ДЕТЕЙ: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

О.М. Павлова, А.В. Бурцев, А.В. Губин, С.О. Рябых

РНЦ «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г.А. Илизарова, Курган, Россия

Представлены результаты анализа современной литературы, посвященной инструментальной фиксации шейного отдела позвоночника у детей и техническим особенностям применения описываемых методик. Задняя инструментальная фиксация шейного отдела позвоночника обеспечивает стабильность и увеличивает успешность артродеза у детей с деформациями или нестабильностью шейного отдела позвоночника, кроме того, позволяет выполнять редукцию смещений интраоперационно. Возможность имплантации современных металлоконструкций у детей доказана в ряде морфологических и клинических исследований. С учетом небольшого размера костных структур у детей в каждом случае необходимы тщательное предоперационное планирование, правильное интраоперационное позиционирование и строгое соблюдение хирургических методик.

Ключевые слова: винтовая фиксация шейного отдела, хирургия позвоночника у детей.

Для цитирования: Павлова О.М., Бурцев А.В., Губин А.В., Рябых С.О. Задняя инструментальная фиксация шейного отдела позвоночника у детей: обзор литературы // Хирургия позвоночника. 2017. Т. 14. № 3. С. 32–39.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2017.3.32-39>.

POSTERIOR INSTRUMENTATION OF THE CERVICAL SPINE IN CHILDREN: LITERATURE REVIEW

O.M. Pavlova, A.V. Burtsev, A.V. Gubin, S.O. Ryabykh

Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russia

The paper presents a review of the current literature on instrumental fixation of the pediatric cervical spine and technical features of the application of described techniques in children. The posterior instrumental fixation of the cervical spine provides stability and increases fusion rates in children with cervical spine deformities or instability, and allows intraoperative reduction of vertebral displacements. A number of morphological and clinical studies proved the possibility of implantation of modern metal constructs in children. Given the small size of bone structures in children, each case requires careful preoperative planning, proper intraoperative positioning and strict adherence to surgical techniques.

Key Words: screw fixation of the cervical spine, spine surgery in children.

Please cite this paper as: Pavlova OM, Burtsev AV, Gubin AV, Ryabykh SO. Posterior instrumentation of the cervical spine in children: literature review. Hir. Pozvonoc. 2017;14(3):32–39. In Russian.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2017.3.32-39>.

Несмотря на широкое нозологическое представление, анатомо-функциональные и биомеханические особенности, патологии шейного отдела позвоночника у детей крайне узко представлены в зарубежных и отечественных публикациях.

Наибольшим опытом лечения заболеваний шейного отдела позвоночника у детей обладают крупные многопрофильные клиники с высокой концентрацией пациентов с патологией позвоночника разных возрастов [5, 11, 15–20, 22, 31, 32, 36, 39, 40, 49, 52, 54], что позволяет получать огромный хирургический опыт при редкой необходимости в оперативном лечении. Несмотря на многоцентровые иссле-

дования и крупные обзоры литературы, посвященные данной проблеме [8, 9, 25], остаются вопросы выбора показаний для оперативного лечения, хирургических методик, имплантатов и геометрии их расположения.

Указанные факторы мотивировали авторов к анализу спектра нозологий и методик оперативной коррекции патологии цервикального отдела у детей.

В первой части работы представим обзор литературы по методикам и техническим особенностям задней инструментальной фиксации шейного отдела позвоночника у детей. Во второй части будет дан анализ моноцентральной когорты (47 пациентов).

Описаны следующие виды стабилизирующих вмешательств на шейном отделе позвоночника у детей: неинструментальный спондилодез, фиксация проволокой или кабелем, передний корпородез пластиной, окципитоспондилодез с применением затылочной пластины, крепящейся винтами к гребню или к чешуе затылочной кости, винтовая фиксация в затылочные мышечки [5], винтовая фиксация в боковые массы C₁, передняя винтовая фиксация зуба C₂ [49], интраламнарная, транспедикулярная или интерартикулярная фиксация в C₂, трансартикулярная винтовая фиксация C₁–C₂, винтовая фиксация в боковые массы и транспедикулярная

винтовая фиксация C_3 – C_6 , винтовая фиксация в боковые массы, интраламинарная и транспедикулярная фиксация C_7 , комбинация винтовой и крюковой фиксации.

Неинструментальный спондилодез и фиксация проволокой/кабелем требуют длительной иммобилизации и сопряжены с большим количеством реопераций [4, 8, 9, 11, 14, 18, 22, 32, 49, 52, 54]. Кроме того, использование проволоки дает большее количество осложнений, чем винтовая фиксация [22].

В последние шесть лет винтовая фиксация шейного отдела позвоночника у детей получила широкое распространение [2, 6, 8, 10, 13, 16, 20, 23, 26, 29, 33, 35, 40, 42, 43, 47, 51, 53]. Использование винтовых конструкций для лечения патологии позвоночника позволяет создавать надежный каркас для дальнейшего спондилодеза [4, 13, 22, 43], интраоперационно выполнять поsegmentарную редукцию смещений [13, 33, 41, 43], избегать длительного применения гало-аппарата [4, 8, 9, 11, 13, 14, 18, 32, 43], является биомеханически надежным видом фиксации, поскольку при 3-колонной системе распределения нагрузки тела позвонков и передняя колонна несут 36 % опорной нагрузки, а задние структуры шейного отдела позвоночника берут на себя больший вес (64 %).

Несмотря на то что есть работы, доказывающие безопасность отдельных видов винтовой фиксации у детей, перед операцией у каждого ребенка необходимо выполнить тонкосрезную КТ шейного отдела позвоночника с высоким разрешением, так как возможны индивидуальные вариации в размерах структур позвонков.

Фиксация в боковые массы C_1 . В прошлом традиционно использовали фиксацию C_1 субламинарной проволокой, это считалось наиболее безопасным и простым методом в связи с тем, что позвоночный канал на данном уровне относительно широк. Тем не менее проволоочная фиксация нестабильна и позволяет осуществлять вращательные движения в суставах C_0 – C_1 и C_1 – C_2 . Кроме того, с клини-

ческой точки зрения, зачастую при операциях на краниовертебральном переходе требуется декомпрессивная ламинэктомия C_1 , которая делает невозможным использование проволоки. Это привело к поиску новых решений и анатомическим исследованиям C_1 , при которых обнаружено, что у большинства пациентов возможна винтовая фиксация в боковые массы C_1 .

Боковые массы C_1 представляют собой четырехугольные костные структуры, которые лежат спереди и сбоку от спинного мозга и тесно связаны с позвоночными артериями, прилежащими к боковым массам.

Существует три разновидности фиксации в боковые массы C_1 с различными точками входа и траекториями винтов: прямое введение винта через дужку [45], введение через точку под дужкой [12] и промежуточный вариант введения [30]. Основной причиной, по которой выделяют данные методы, является длительная послеоперационная боль вследствие радикулопатии C_2 при низком расположении головки винта в C_1 , а также то, что наиболее крупные вены окружают именно область межпозвонкового сустава C_1 – C_2 . Описан метод пересечения корешка C_2 при позиционировании по Goel, при котором послеоперационные боли менее выражены [35]. При введении винта через дужку [45] описан перелом дужки C_1 , по этой причине предложен промежуточный вариант введения [30].

Наш опыт подтверждает, что в большинстве случаев точка входа лежит на нижнем крае дужки C_1 (рис. 1), по линии ее перехода в боковую массу, и только в редких случаях – под дужкой, что легко проконтролировать перед операцией по КТ. Идеальная траектория винта направлена медиально под углом 10–16°, достигает глубины 20 мм (рис. 2) [5].

Агрессивная биполярная коагуляция венозных сплетений при доступе к точке входа значительно упростит процесс имплантации винта. Если выбирать точку входа под дужкой C_1 , то необходимо идентифицировать корешок C_2 перед введением винта

и избегать его компрессии головкой винта. Точка входа никогда не лежит латеральнее линии перехода дужки в боковую массу, данную линию можно легко обнаружить, прощупав медиальный край боковой массы элеватором. Повреждение спинного мозга практически невозможно при введении винта через правильную точку, так как она находится сбоку от спинного мозга и проецируется примерно на середину его переднезаднего диаметра (рис. 2, 3).

При КТ-морфометрии шейного отдела позвоночника обнаружено, что у большинства детей старше 1,5 лет возможно безопасное введение винтов размером от 3,5 на 10,0 мм в боковые массы C_1 [5, 10], при этом ограничения в размере винта в основном связаны с высотой боковой массы C_1 [29].

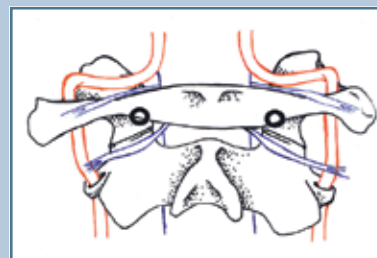


Рис. 1

Точки ввода винтов при фиксации в боковые массы C_1 , взаимоотношение с корешками C_1 , вертебральными артериями, спинным мозгом

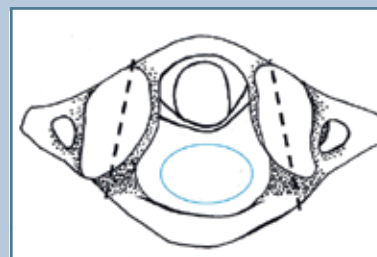


Рис. 2

Траектория ввода винтов при фиксации в боковые массы C_1 , взаимоотношение со спинным мозгом

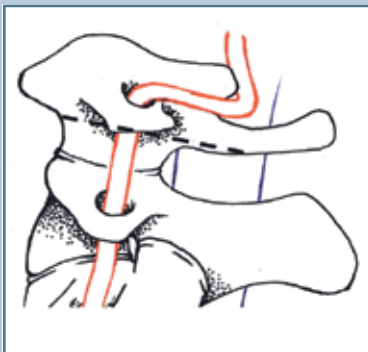


Рис. 3

Траектория ввода винтов при фиксации в боковые массы C_1 , взаимоотношение со спинным мозгом, вертебральными артериями

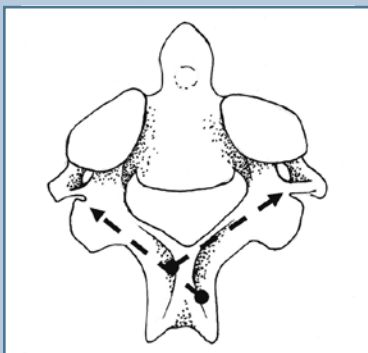


Рис. 4

Траектория для интраламнарного перекрестного введения винтов в C_2

В клинических сериях пациентов, которым был выполнен данный метод фиксации, описаны следующие осложнения: фрактура задней дужки C_1 [46], перфорация стенки позвоночного канала без повреждения спинного мозга [53], обильное кровотечение из венозного сплетения при диссекции точки входа в C_1 [53]. В остальных сериях осложнений не было [8, 13, 14, 52, 53].

Винтовая фиксация C_2 . Позвонки C_2 играют важную роль в биомеханике шейного отдела позвоночника: его можно использовать в качестве основы для окципитоспондилодеза,

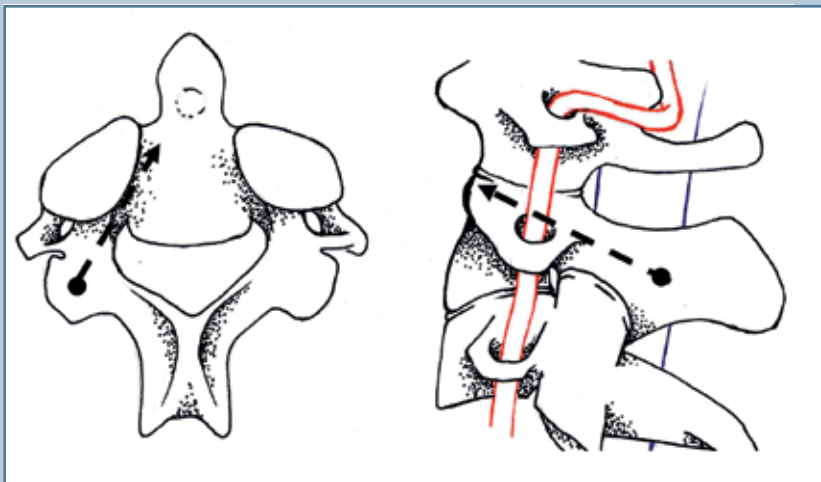


Рис. 5

Точка входа и траектория транспедикулярного введения винта в C_2

соединять с C_1 при атлантаксиальной нестабильности, он может служить верхней базой при спондилодезе субаксиального отдела. Применение проволоочной фиксации и кабеля на уровне C_2 не рекомендуется в связи с относительно небольшой шириной позвоночного канала.

Существует несколько вариантов винтовой фиксации C_2 : транспедикулярная [24], интерартукулярная и интраламнарная [50]. Выбор вида фиксации зависит от ширины костных каналов и положения позвоночной артерии. Интраламнарное позиционирование винтов в C_2 показало надежность при жесткой фиксации в биомеханических исследованиях [31]. Точка входа для интраламнарного введения винта в C_2 лежит на контралатеральной стороне остистого отростка и смещена либо каудально, либо рострально на каждой из сторон, чтобы винты можно было ввести перекрестно (рис. 4). Точку входа намечают бором, углубляют разверткой в ростокаудальном направлении. Предотвращают перфорацию вентральной поверхности дужки и стенки позвоночного канала путем помещения на нее кончика диссектора как ориентира.

При КТ-морфометрии C_2 обнаружено, что у большинства пациентов старше двух лет возможно интраламнарное введение винтов диаметром до 3,5 мм, основные ограничения связаны с шириной дужки, а не с ее высотой, при этом длина винта в среднем составляет 14–20 мм [10, 29, 51]. В клинической практике данный метод показал надежность и безопасность при использовании у детей [14, 17, 40, 42, 47].

Боковые массы и ножки C_2 переплетаются в общей массе кости и напрямую визуализируются во время хирургической диссекции: дужка следует сначала латеральное перешейка C_2 , а затем поворачивает вверх и медиально. Как и при доступе к C_1 , агрессивная биполярная коагуляция венозных сплетений, окружающих задние структуры C_1 – C_2 позвонков, тщательная диссекция дорсальной и медиальной частей перешейка необходима для прямой визуализации траектории винта.

Описаны две траектории винта, которые отличают входные точки и связанные с ними риски: транспедикулярная и интерартукулярная в верхнюю суставную часть C_2 позвонка (рис. 5, 6).

При интерартулярном введении винта входная точка лежит каудаль-

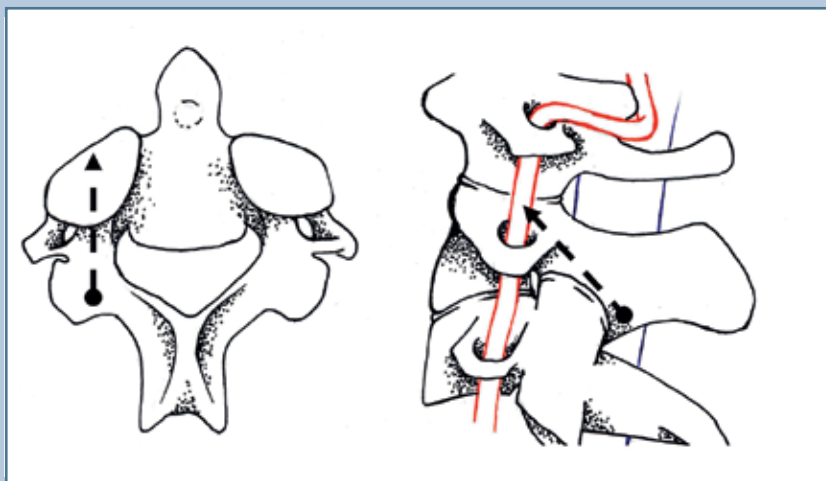


Рис. 6

Точка входа и траектория интерартикулярного введения винта в C_2

но над фасеткой C_2-C_3 по средней линии суставной поверхности (рис. 7). Направление траектории винта в горизонтальной плоскости определяют при помощи диссектора, кончик которого размещают на медиальной поверхности перешейка как ориентир. Направление винта в сагиттальной плоскости определяют по данным рентгеноскопии, длина винта зависит от хода позвоночной артерии, высоты сустава C_1-C_2 и выявляется заранее по КТ.

Входная точка для транспедикулярного введения винта в C_2 лежит на перешейке C_2 , но выше и латеральнее, чем при интерартикулярном введении (рис. 8). Так как траектория винта при этом больше направлена медиально в тело C_2 , то она несет угрозу перфорации стенки позвоночного канала.

КТ-морфометрия C_2 позвонка показала, что транспедикулярное проведение винтов размером от 3,5 на 14,0 мм в C_2 возможно у 40–70 % детей старше 2 лет [10, 29], при этом ширина и высота ножки примерно одинаковы. В клинической практике транспедикулярная и интерартикулярная фиксация C_2 продемонстрировали надежность и безопасность при использовании

у детей [8, 13, 14, 17, 23, 26, 27, 37, 43, 46].

Трансартикулярная фиксация C_1-C_2 . Трансартикулярная винтовая фиксация C_1-C_2 [34] является прочным, но технически сложным методом фиксации (рис. 9). Классически она используется при нестабильности на уровне C_1-C_2 , но может служить базой для окципитоспондилодеза. Частыми проблемами, связанными с неправильной траекторией при трансартикулярной фиксации C_1-C_2 , являются слишком медиальное направление траектории и аномальный ход позвоночной артерии, когда резко изогнутый медиально ствол перед входом в поперечное отверстие C_1 прилежит к перешейку C_2 [17].

Использование данного вида фиксации у детей остается предметом споров, так, по данным КТ-морфометрии C_1-C_2 позвонков у 50 детей 2–6 лет, трансартикулярная фиксация C_1-C_2 была возможна только на четырех из ста сторон, в основном из-за небольшого размера перешейка C_2 и аномального хода позвоночной артерии [10]. Тем не менее в клинической серии из 31 пациента 4–16 лет трансартикулярную фиксацию осуществили без осложнений даже у младших пациентов [3], а в серии

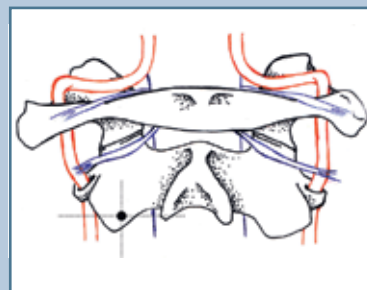


Рис. 7

Точка входа для интерартикулярного введения винта в C_2 , взаимоотношение с корешками, вертебральными артериями и спинным мозгом

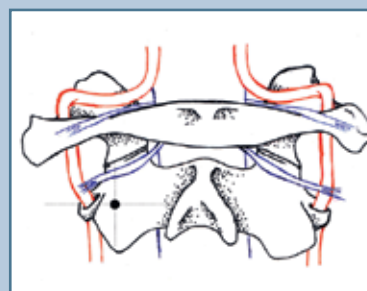


Рис. 8

Точка входа для транспедикулярного введения винта в C_2 , взаимоотношение с корешками, вертебральными артериями и спинным мозгом

из 67 пациентов 1,7–16 лет после 127 трансартикулярных фиксаций было описано два осложнения, связанных с траекторией: повреждение позвоночных артерий [11]. Кроме того, описан неправильный подбор длины винта (слишком длинный), что не визуализировалось при интраоперационной рентгеноскопии и потребовало реоперации и замены винта на более короткий [17].

Мы не применяем данный метод фиксации в нашей клинике, но не исключаем возможности его использования у отдельных пациентов детского возраста.

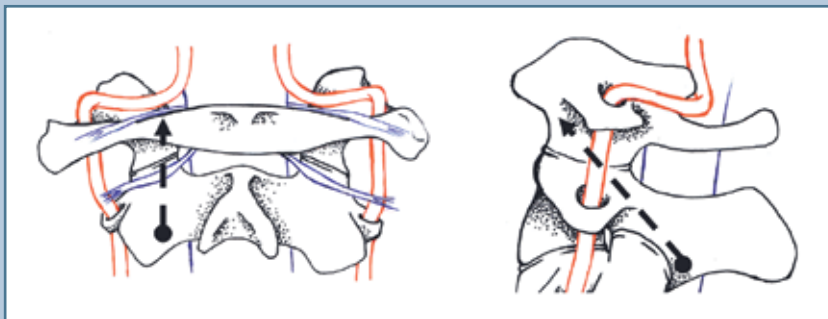


Рис. 9

Точка входа и траектория трансартикулярного введения винта в C_1 – C_2 , взаимоотношение с корешками, спинным мозгом и вертебральными артериями

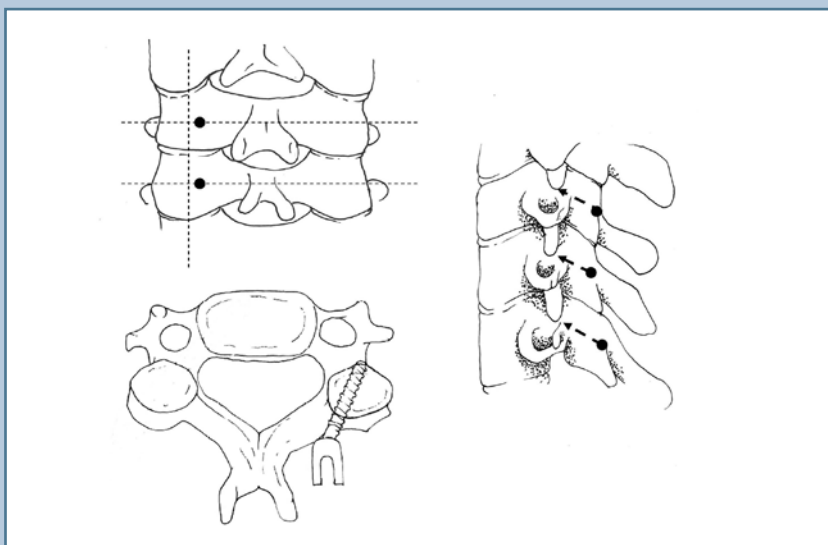


Рис. 10

Точка входа и траектория введения винта в C_3 – C_7

Винтовая фиксация субаксиальных позвонков. Описаны следующие методы винтовой фиксации субаксиальных отделов шейного отдела позвоночника: транспедикулярная фиксация [1], фиксация в боковые массы [38] и трансартикулярная фиксация [7, 44].

У детей описаны транспедикулярная винтовая фиксация и фиксация в боковые массы. Боковая масса позвонков C_3 – C_7 представляет собой четырехугольную костную структуру, которая медиально граничит с позвоночным каналом, а спереди – с позво-

ночной артерией. Известно несколько методик введения винтов в боковые массы с вариациями в расположении точки входа и направлении траектории в сагиттальной и горизонтальной плоскостях [21, 38].

Мы используем такой метод введения [21]: точка входа располагается на медиальной половине горизонтальной линии, делящей заднюю поверхность боковой массы пополам, траектория отклонена на 25° в горизонтальной плоскости и на 45° в сагиттальной (рис. 10).

У большинства детей старше 4 лет возможно безопасное введение винтов размером от 3,5 на 10,0 мм в боковые массы C_3 – C_6 позвонков [2, 10]. Описаны осложнения, связанные с позиционированием винта: транзитная радикулопатия C_5 [15].

Транспедикулярная фиксация C_3 – C_6 винтами диаметром 3,5 мм и более ограничена высотой ножки и возможна менее чем у трети детей [29, 48], но при этом имеется успешный опыт транспедикулярной фиксации C_3 – C_6 винтами диаметром 3 мм у детей старше 6 лет [37]. Мы не используем данный метод фиксации на уровне C_3 – C_6 у детей.

По данным КТ-морфометрии, интраламинарная винтовая фиксация в C_3 – C_6 ограничена шириной и высотой дужки и не возможна у большинства детей [29].

Интраламинарная, транспедикулярная фиксация C_7 и фиксация в боковые массы C_7 возможны у большинства детей [29, 48].

Заключение

Задняя инструментальная фиксация шейного отдела позвоночника – технически сложная задача, требующая тщательного предоперационного планирования с использованием тонкосрезовой КТ. Винтовая фиксация в боковые массы C_1 возможна практически у всех детей. Выбор винтовой фиксации в C_2 зависит от хода позвоночных артерий и размеров перешейки C_2 , при этом транспедикулярная, интраламинарная и интерартикулярная фиксации обеспечивают надежный базис для спондилодеза и являются рычагом для редукции шейных позвонков и коррекции деформации. Фиксация в боковые массы – метод выбора при стабилизации субаксиального отдела позвоночника у детей, так как транспедикулярная и трансламинарная фиксации у детей небезопасны и обоснованы только на уровне C_2 и C_7 .

Исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература/References

1. **Abumi K, Kaneda K.** Pedicle screw fixation for nontraumatic lesions of the cervical spine. *Spine*. 1997;22:1853–1863. DOI: 10.1097/00007632-199708150-00010.
2. **Al-Shamy G, Cherian J, Mata JA, Patel AJ, Hwang SW, Jea A.** Computed tomography morphometric analysis for lateral mass screw placement in the pediatric subaxial cervical spine. *J Neurosurg Spine*. 2012;17:390–396. DOI: 10.3171/2012.8.SPINE12767.
3. **Brockmeyer D, Apfelbaum R, Tippets R, Walker M, Carey L.** Pediatric cervical spine instrumentation using screw fixation. *Pediatr Neurosurg*. 1995;22:147–157. DOI: 10.1159/000120893.
4. **Brockmeyer DL, York JE, Apfelbaum RI.** Anatomical suitability of C1–2 transarticular screw placement in pediatric patients. *J Neurosurg*. 2000;92(1 Suppl):7–11.
5. **Chamoun RB, Whitehead WE, Curry DJ, Luerssen TG, Jea A.** Computed tomography morphometric analysis for C-1 lateral mass screw placement in children. *Clinical article. J Neurosurg Pediatr*. 2009;3:20–23. DOI: 10.3171/2008.10.PEDS08224.
6. **Chiaromonte BC, Kim SY, Marchese LR, Letaif OB, Marcon RM, Cristante AF.** Tomographic correlation for Magerl's technique in C1–C2 arthrodesis in children. *Acta Orthop Bras*. 2013;21:255–257. DOI: 10.1590/S1413-78522013000500002.
7. **DalCanto RA, Lieberman I, Inceoglu S, Kayaanja M, Ferrara L.** Biomechanical comparison of transarticular facet screws to lateral mass plates in two-level instrumentations of the cervical spine. *Spine*. 2005;30:897–902.
8. **Desai R, Stevenson CB, Crawford AH, Durrani AA, Mangano FT.** C-1 lateral mass screw fixation in children with atlantoaxial instability: case series and technical report. *J Spinal Disord Tech*. 2010;23:474–479. DOI: 10.1097/BSD.0b013e3181b19f24.
9. **Garber ST, Brockmeyer DL.** Management of subaxial cervical instability in very young or small-for-age children using a static single-screw anterior cervical plate: indications, results, and long-term follow-up. *J Neurosurg Spine*. 2016;24:892–896. DOI: 10.3171/2015.10.SPINE15537.
10. **Geck MJ, Truumees E, Hawthorne D, Singh D, Stokes JK, Flynn A.** Feasibility of rigid upper cervical instrumentation in children: tomographic analysis of children aged 2–6. *J Spinal Disord Tech*. 2014;27:E110–E117. DOI: 10.1097/BSD.0b013e318291ce46.
11. **Gluf WM, Brockmeyer DL.** Atlantoaxial transarticular screw fixation: a review of surgical indications, fusion rate, complications, and lessons learned in 67 pediatric patients. *J Neurosurg Spine*. 2005;2:164–169. DOI: 10.3171/spi.2005.2.2.0155.
12. **Goel A, Laheri V.** Plate and screw fixation for atlanto-axial subluxation. *Acta Neurochir (Wien)*. 1994;129:47–53. DOI: 10.1007/BF01400872.
13. **Guo X, Xie N, Lu X, Guo Q, Deng Y, Ni B.** One-step reduction and fixation applying transposterior arch lateral mass screw of C1 combined with pedicle screw of C2 and rod system for pediatric acute atlantoaxial rotatory subluxation with injury of transverse ligament. *Spine*. 2015;40:E272–E278. DOI: 10.1097/BRS.0000000000000753.
14. **Haque A, Price AV, Sklar FH, Swift DM, Weprin BE, Sacco DJ.** Screw fixation of the upper cervical spine in the pediatric population. *Clinical article. J Neurosurg Pediatr*. 2009;3:529–533. DOI: 10.3171/2009.2.PEDS08149.
15. **Hedequist D, Hresko T, Proctor M.** Modern cervical spine instrumentation in children. *Spine*. 2008;33:379–383. DOI: 10.1097/BRS.0b013e318163f9cd.
16. **Hedequist D, Proctor M, Hresko T.** Lateral mass screw fixation in children. *J Child Orthop*. 2010;4:197–201. DOI: 10.1007/s11832-010-0251-0.
17. **Hedequist D, Proctor M.** Screw fixation to C2 in children: a case series and technical report. *J Pediatr Orthop*. 2009;29:21–25. DOI: 10.1097/BPO.0b013e3181924367.
18. **Hedequist DJ, Emans JB.** Cervical spine instrumentation in children. *J Am Acad Orthop Surg*. 2016;24:370–378. DOI: 10.5435/JAAOS-D-15-00199.
19. **Hedequist DJ, Hall JE, Emans JB.** The safety and efficacy of spinal instrumentation in children with congenital spine deformities. *Spine*. 2004;29:2081–2087.
20. **Hedequist DJ.** Modern posterior screw techniques in the pediatric cervical spine. *World J Orthop*. 2014;5:94–99. DOI: 10.5312/wjo.v5.i2.94.
21. **Heller JG, Carlson GD, Abitbol JJ, Garfin SR.** Anatomic comparison of the Roy-Camille and Magerl techniques for screw placement in the lower cervical spine. *Spine*. 1991;16(10 Suppl):S552–S557. DOI: 10.1097/00007632-199110001-00020.
22. **Hwang SW, Gressot LV, Rangel-Castilla L, Whitehead WE, Curry DJ, Bollo RJ, Luerssen TG, Jea A.** Outcomes of instrumented fusion in the pediatric cervical spine. *J Neurosurg Spine*. 2012;17:397–409. DOI: 10.3171/2012.8.SPINE12770.
23. **Ji XT, Li A, Wang Q, Zhao DS, Huang G, Liu WP, Qu Y, Niu L, Fei Z.** Posterior reduction and instrumentation with rod-screw construct for atlanto-axial dislocation: a single institutional study with 21 consecutive cases. *Clin Neurol Neurosurg*. 2013;115:1433–1439. DOI: 10.1016/j.clineuro.2013.01.009.
24. **Judet J, Roy-Camille R, Zerah JC, Saillant G.** [Fractures of the cervical spine: fracture-separation of the articular column]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*. 1970;56:155–164. In French.
25. **Kennedy BC, D'Amico RS, Youngerman BE, McDowell MM, Hooten KG, Couture D, Jea A, Leonard J, Lew SM, Pincus DW, Rodriguez L, Tuite GF, Diluna ML, Brockmeyer DL, Anderson RC.** Long-term growth and alignment after occipitocervical and atlantoaxial fusion with rigid internal fixation in young children. *J Neurosurg Pediatr*. 2016;17:94–102. DOI: 10.3171/2015.5.PEDS14728.
26. **Kosnik-Infinger L, Glazier SS, Frankel BM.** Occipital condyle to cervical spine fixation in the pediatric population. *J Neurosurg Pediatr*. 2014;13:45–53. DOI: 10.3171/2013.9.PEDS131.
27. **Kovanda TJ, Ansari SF, Qaiser R, Fulkerson DH.** Feasibility of CT-based intraoperative 3D stereotactic image-guided navigation in the upper cervical spine of children 10 years of age or younger: initial experience. *J Neurosurg Pediatr*. 2015;1–9. [Epub ahead of print].
28. **Kuroki H, Kubo S, Hamanaka H, Chosa E.** Posterior occipito-axial fixation applied C2 laminar screws for pediatric atlantoaxial instability caused by Down syndrome: Report of 2 cases. *Int J Spine Surg*. 2012;6:210–215. DOI: 10.1016/j.jisps.2012.05.002.
29. **Lee H, Hong JT, Kim IS, Kim MS, Sung JH, Lee SW.** Anatomic feasibility of posterior cervical pedicle screw placement in children: computerized tomographic analysis of children under 10 years old. *J Korean Neurosurg Soc*. 2014;56:475–481. DOI: 10.3340/jkns.2014.56.6.475.
30. **Lee MJ, Cassinelli E, Riew KD.** The feasibility of inserting atlas lateral mass screws via the posterior arch. *Spine*. 2006;31:2798–2801. DOI: 10.1097/01.brs.0000245902.93084.12.
31. **Lehman RA Jr, Dmitriev AE, Helgeson MD, Sasso RC, Kuklo TR, Riew KD.** Salvage of C2 pedicle and pars screws using the intralaminar technique: a biomechanical analysis. *Spine*. 2008;33:960–965. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31816c915b.
32. **Lowry DW, Pollack IF, Clyde B, Albright AL, Adelson PD.** Upper cervical spine fusion in the pediatric population. *J Neurosurg*. 1997;87:671–676.
33. **Luo TD, Polly DW Jr, Ledonio CG, Wetjen NM, Larson AN.** Accuracy of pedicle screw placement in children 10 years or younger using navigation and intraoperative CT. *Clin Spine Surg*. 2016;29:E135–E138. DOI: 10.1097/BSD.0000000000000230.
34. **Magerl F, Seemann PS.** Stable posterior fusion of the atlas and axis by transarticular screw fixation. In: Kehr P, Weidner A, eds. *Cervical Spine I*. Wien, New York: Springer-Verlag, 1987:322–327.
35. **Patel AJ, Gressot LV, Boatey J, Hwang SW, Brayton A, Jea A.** Routine sectioning of the C2 nerve root and ganglion for C1 lateral mass screw placement in children: surgical and functional outcomes. *Childs Nerv Syst*. 2013;29:93–97. DOI: 10.1007/s00381-012-1899-1.

36. **Rahimi SY, Stevens EA, Yeh DJ, Flannery AM, Choudhri HF, Lee MR.** Treatment of atlantoaxial instability in pediatric patients. *Neurosurg Focus.* 2003;15:EC1.
37. **Rajasekaran S, Kanna PR, Shetty AP.** Safety of cervical pedicle screw insertion in children: a clinicoradiological evaluation of computer-assisted insertion of 51 cervical pedicle screws including 28 subaxial pedicle screws in 16 children. *Spine.* 2012;37:E216–E223. DOI: 10.1097/BRS.0b013e318231bb81.
38. **Roy-Camille R, Saillant G.** [Surgery of the cervical spine. 3. Complex fractures of the lower cervical spine. Tétraplegia]. *Nouv Presse Med.* 1972;1:2707–2709. In French.
39. **Ruf M, Harms J.** Pedicle screws in 1- and 2-year-old children: technique, complications, and effect on further growth. *Spine.* 2002;27:E460–E466. DOI: 10.1097/01.BRS.0000030203.48525.E3.
40. **Savage JG, et al.** Fixation with C-2 laminar screws in occipitocervical or C1–2 constructs in children 5 years of age or younger: a series of 18 patients. *J Neurosurg Pediatr.* 2014;14:87–93. DOI: 10.3171/2014.3.PEDS13626.
41. **Shuhui G, Jiagang L, Haifeng C, Hao ZB, Qing HS.** Surgical management of adult reducible atlantoaxial dislocation, basilar invagination and Chiari malformation with syringomyelia. *Turk Neurosurg.* 2016;26:615–621. DOI: 10.5137/1019-5149.JTN.13884-14.2.
42. **Singh B, Cree A.** Laminar screw fixation of the axis in the pediatric population: a series of eight patients. *Spine J.* 2015;15:e17–e25. DOI: 10.1016/j.spinee.2014.10.009.
43. **Sinha S, Jagetia A, Bhasaheeb AR, Butte MV, Jain R.** Rigid variety occiput/C1–C2–C3 internal fixation in pediatric population. *Childs Nerv Syst.* 2014;30:257–269. DOI: 10.1007/s00381-013-2232-3.
44. **Takayasu M, Hara M, Yamauchi K, Yoshida M, Yoshida J.** Transarticular screw fixation in the middle and lower cervical spine. Technical note. *J Neurosurg.* 2003;99(1 Suppl):132–136. DOI: 10.3171/spi.2003.99.1.0132.
45. **Tan M, Wang H, Wang Y, Zhang G, Yi P, Li Z, Wei H, Yang F.** Morphometric evaluation of screw fixation in atlas via posterior arch and lateral mass. *Spine.* 2003;28:888–895. DOI: 10.1097/01.BRS.0000058719.48596.CC.
46. **Tauchi R, Imagama S, Ito Z, Ando K, Hirano K, Muramoto A, Matsui H, Kato F, Yukawa Y, Sato K, Kanemura T, Yoshihara H, Kamiya M, Matsuyama Y, Ishiguro N.** Complications and outcomes of posterior fusion in children with atlantoaxial instability. *Eur Spine J.* 2012;21:1346–1352. DOI: 10.1007/s00586-011-2083-0.
47. **Vanek P, Homolkova H, Benes V, Zeman J.** Occipitocervical stabilization using bilateral laminar C2 screws in children with mucopolysaccharidosis IVA. *Eur Spine J.* 2015;24:2756–2762. DOI: 10.1007/s00586-015-3879-0.
48. **Vara CS, Thompson GH.** A cadaveric examination of pediatric cervical pedicle morphology. *Spine.* 2006;31:1107–1112. DOI: 10.1097/01.brs.0000216591.47505.17.
49. **Wang J, Vokshoor A, Kim S, Elton S, Kosnik E, Bartkowski H.** Pediatric atlantoaxial instability: management with screw fixation. *Pediatr Neurosurg.* 1999;30:70–78.
50. **Wright NM.** Posterior C2 fixation using bilateral, crossing C2 laminar screws: case series and technical note. *J Spinal Disord Tech.* 2004;17:158.
51. **Xia DD, Lin SL, Chen W, Shen ZH, Li Y, Wang XY, Xu HZ, Chi YL.** Computed tomography morphometric analysis of C2 translaminar screw fixation of Wright's technique and a modified technique in the pediatric cervical spine. *Eur Spine J.* 2014;23:606–612. DOI: 10.1007/s00586-013-3130-9.
52. **Yerramneni VK, Chandra PS, Kale SS, Lythall RK, Mahapatra AK.** A 6-year experience of 100 cases of pediatric bony craniovertebral junction abnormalities: treatment and outcomes. *Pediatr Neurosurg.* 2011;47:45–50. DOI: 10.1159/000329623.
53. **Yi P, Dong L, Tan M, Wang W, Tang X, Yang F, Zhang G.** Clinical application of a revised screw technique via the C1 posterior arch and lateral mass in the pediatric population. *Pediatr Neurosurg.* 2013;49:159–165. DOI: 10.1159/000358807.
54. **Zeng H, Shen X, Luo C, Xu Z, Zhang Y, Liu Z, Wang X, Cao Y.** 360-degree cervical spinal arthrodesis for treatment of pediatric cervical spinal tuberculosis with kyphosis. *BMC Musculoskelet Disord.* 2016;17:175. DOI: 10.1186/s12891-016-1034-7.

Адрес для переписки:

Павлова Ольга Михайловна
640014, Россия, Курган,
ул. М. Ульяновой, 6,
РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова,
pavlova.neuro@mail.ru

Address correspondence to:

Pavlova Olga Mikhailovna
Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and
Orthopaedics,
M. Ulyanovoy str., 6, Kurgan, 640014, Russia,
pavlova.neuro@mail.ru

Статья поступила в редакцию 21.11.2016

Рецензирование пройдено 24.11.2016

Подписана в печать 15.12.2016

Received 21.11.2016

Review completed 24.11.2016

Passed for printing 15.12.2016

Ольга Михайловна Павлова, нейрохирург, ортопед-травматолог, младший научный сотрудник научной клинко-экспериментальной лаборатории патологии осевого скелета и нейрохирургии, Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г.А. Илизарова, Курган, Россия, pavlova.neuro@mail.ru;

Александр Владимирович Бурцев, канд. мед. наук, хирург, ортопед-вертебролог, научный сотрудник научной клинко-экспериментальной лаборатории патологии осевого скелета и нейрохирургии, Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г.А. Илизарова, Курган, Россия, bav31rus@mail.ru;

Александр Вадимович Губин, д-р мед. наук, ортопед-травматолог, директор, Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. Г.А. Илизарова, Курган, Россия, sbigu19@gubin.spb.ru;

Сергей Олегович Рябых, д-р мед. наук, детский хирург, ортопед-травматолог, вертебролог, руководитель научной клинко-экспериментальной лаборатории патологии осевого скелета и нейрохирургии, Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г.А. Илизарова, Курган, Россия, rso_@mail.ru.

Olga Mikhaïlovna Pavlova, neurosurgeon, orthopedist, junior researcher, Laboratory of Axial Skeletal Pathology and Neurosurgery, Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russia, pavlova.neuro@mail.ru;

Aleksandr Vladimirovich Burtsev, MD, PhD, orthopedist-vertebrologist, researcher, Laboratory of Axial Skeletal Pathology and Neurosurgery, Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russia, bav31rus@mail.ru;

Alexandr Vadimovich Gubin, DMSc, orthopedist-traumatologist, Director, Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russia, sbugu19@gubin.spb.ru;

Sergey Olegovich Ryabykh, DMSc, pediatric surgeon, orthopedist-traumatologist, vertebrologist, Head of Laboratory of Axial Skeletal Pathology and Neurosurgery, Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russia, rso_@mail.ru.