

ОБЗОРЫ ЛИТЕРАТУРЫ

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2017

МИНИМАЛЬНО ИНВАЗИВНЫЕ МЕТОДЫ И ТАКТИКА ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ПРИ ПОВРЕЖДЕНИЯХ ВЕРХНЕШЕЙНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА**Львов И.С., Гринь А.А., Сытник А.В.**

НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского, Москва

В работе рассмотрены современные методы хирургического лечения повреждений C1 и C2 позвонков в своем рутинном исполнении и с применением минимально инвазивных технологий. Показан современный взгляд на хирургическую тактику в зависимости от периода травматической болезни, степени смещения отломков, направления дислокации в атлanto-аксиальном комплексе, целостности вторичного связочного аппарата C1-C2, а также в аспекте применения минимально инвазивных методик.

Ключевые слова: эндоназальная одонтоидэктомия, эндоскопическая хирургия C1-C2, перкутанная фиксация C1-C2, трансартикулярная фиксация C1-C2, перелом C1, перелом C2, верхнешейный отдел позвоночника, краниовертебральный уровень.

This article presents the modern methods of surgical treatment of C1 and C2 injuries in their routine way and with the usage of minimally invasive technique. The modern concept of surgical strategy in relation to period of trauma, degree of fractures dislocation, direction of dislocation in atlantoaxial complex and unity of secondary ligamentous apparatus of C1-C2 as well as usage of minimally invasive methods is demonstrated.

Key words: endonasal odontoidectomy, endoscopic surgery of C1-C2, percutaneous fixation of C1-C2, transarticular fixation of C1-C2, C1 fracture, C2 fracture, upper cervical spine, craniovertebral junction.

Верхнешейный уровень — наиболее уникальный отдел позвоночника. Труднодоступная локализация, особенности анатомии костных структур и связок, особенности биомеханики движений и переломов обуславливают выделение этих повреждений в отдельную группу. Условно верхнешейный отдел позвоночника (ВШОП) делят на 2 региона [20]. В атлanto-окципитальный входят мыщелки затылочной кости и суставы C0-C1. Повреждения этого региона крайне нестабильны, редки и сопровождаются высокой летальностью. При этом необходимость надежной фиксации с вовлечением затылочной кости ограничивает возможности для минимально инвазивного исполнения, в связи с чем хирургия этой области в данной работе не рассматривается. Атлanto-аксиальный регион включает в себя C1 и C2 позвонки, а также 4 сустава: 2 атлanto-осевых и 2 боковых. Для декомпрессии и стабилизации атлanto-аксиальной области применяют вентральные, дорсальные или комбинированные доступы.

Методы вентральной декомпрессии и стабилизации.

Первая вентральная декомпрессия на уровне C1-C2 была описана в 1917 г., когда А. Канавел через открытый рот выполнил успешное удаление пули, застрявшей между скатом и атлантом. Однако как самостоятельный доступ в хирургии

атлanto-аксиальных дислокаций трансоральный-трансфарингеальный коридор был описан только в 1962 г. [42]. В настоящее время он является «золотым стандартом» при проведении вентральной декомпрессии на уровне C1-C2 позвонков [40]. Трансоральный доступ позволяет визуализировать скат, C1, C2 и частично C3 позвонки с безопасной латеральной экспозицией до 2 см. В зависимости от требуемой границы верхнего горизонта декомпрессии, мягкое небо отводят вверх, либо рассекают. Нижние границы трансорального хирургического коридора обычно соответствуют диску C2-C3 и зависят от степени отведения языка. Наружные края коридора ограничены гипоглоссальными каналами мыщелков с выходящими подъязычными нервами, сонными артериями и евстахиевыми трубами [32]. Ограничивает применение трансорального доступа малый угол открывания рта у некоторых пациентов. Применение эндоскопии позволяет выполнить трансоральную декомпрессию у пациентов без рассечения или тракции мягкого неба, а также при небольшом угле открывания рта. Недостатком вмешательств с видеоэндоскопической ассистенцией являются трудности в закрытии послеоперационной раны глотки и связанные с этим проблемы кормления в послеоперационном периоде [37, 40].

Альтернативой трансоральному доступу является эндоназальный хирургический коридор. По данным С.Н. Fang и соавт. [71], опубликовано около 30 работ, посвященных именно хирургическому опыту применения трансназального коридора на верхнешейном уровне. При травме ВШОП этот метод применяют крайне редко: из 85 опубликованных наблюдений только у 7 было повреждение С1-С2 позвонков. Основными преимуществами этого доступа являются: отсутствие повреждения мягкого нёба и языка, а также нёбно-глоточной недостаточности, низкая частота инфекционных осложнений. Недостатками метода является необходимость оснащения операционной специфическим инструментом и эндоскопической стойкой, ограниченность манипуляций в условиях узкого коридора [36].

Не получил достаточного распространения для вентральной декомпрессии и подчелюстной доступ к С1-С2 позвонкам. Этот коридор при условии применения эндоскопии позволяет визуализировать тело С2 позвонка и переднюю дужку С1 позвонка под острым углом [35]. Также подчелюстной доступ может использоваться для мобилизации костных отломков при застарелых трансдентальных дислокациях атланта [5]. Рутинно его применяют для доступа к диску С2-С3 позвонков при травматических спондилолистезах аксиса [13].

Среди методов фиксации ВШОП при вентральных доступах применяют трансдентальный остеосинтез, переднюю трансартикулярную фиксацию, спондилодез С2-С3 позвонков, передний окципитоспондилодез.

Наиболее распространенной операцией на ВШОП является трансдентальная фиксация перелома зубовидного отростка. Суть метода заключается в проведении винта через передне-нижний край тела С2 позвонка к вершине одонтоида. К факторам риска несращения перелома относят возраст, остеопороз, диастаз отломков более 2 мм после фиксации, курение [17, 27]. Спорными остаются сроки проведения операции. Считается, что проведение трансдентальной фиксации в промежуточном и позднем периодах травмы сопряжено с высоким риском несращения [7, 14], однако в литературе есть ряд работ, демонстрирующих высокую эффективность этой операции при застарелых повреждениях [25, 38]. А. Озерг и соавт. рекомендуют предварительное рассверливание с помощью спицы Кишнера нескольких траекторий введения винта для повышения вероятности спондилодеза в случае псевдоартроза [11]. К минимально инвазивным методам относят перкутанную фиксацию перелома зубовидного отростка канюлированным винтом. Через разрез в 1 см, после предварительной диссекции платизмы, к основанию тела С2 позвонка подводят тупоконечный тубус, с помощью которого в дальнейшем осуществляют остеосинтез канюлированным винтом [52]. Другим методом снижения инвазии трансдентальной фиксации является применение эндоскопической ассистенции для визуализации точки установки винта [10].

Передняя трансартикулярная фиксация С1-С2 позвонков впервые была описана в 1989 г. J. Lu и соавт. [15]. Суть метода заключается в установке винтов через тело С2 позвонка в боковые массы атланта из переднего трансцервикального доступа. В настоящее время в литературе описано 3 траектории установки винтов при передней трансартикулярной фиксации. При методе R. Reindl [73] точка введения винта в С2 позвонки находится на несколько миллиметров ниже передней поверхности бокового сустава С1-С2 позвонков, при этом используют короткие (9-15 мм) винты. Техника H. Koller [16] предполагает применение более длинных винтов с локализацией стартовой точки у середины передненижнего края тела С2 позвонка. Третья траектория носит название «crossing screw» и предполагает установку винта в латеральную массу атланта через противоположную боковую поверхность тела С2 позвонка [43]. Необходимо отметить, что данная траектория в литературе была описана только в экспериментальном анатомическом исследовании и в клинической практике не применялась. Биомеханическое исследование M. Sen показало надежность метода R. Reindl с небольшим снижением ригидности фиксации при флексии-экстензии [18]. В работе S. Lapsiwala и соавт. было показано, что значительной разницы в ригидности передней и задней трансартикулярной фиксации нет [22]. В клинической практике переднюю трансартикулярную фиксацию рассматривают в качестве альтернативы заднему спондилодезу в случае аномального расположения позвоночной артерии (ПА). Минимально инвазивное исполнение этого метода стабилизации заключается в перкутанной установке канюлированных винтов по траектории H. Koller или R. Reindl, при этом техника аналогична таковой при чрескожной трансдентальной фиксации [67].

Комбинация трансдентальной и передней трансартикулярной фиксации также описана в литературе как метод лечения атланта-аксиальной нестабильности на фоне переломов зубовидного отростка у пожилых пациентов, либо множественных переломов С1-С2 позвонков [59].

Дискэктомия и передний спондилодез С2-С3 является классическим вмешательством при травматических спондилолистезах С2 позвонка. Доступ — традиционный для шейного отдела позвоночника и применяется в модификации Смита-Робинсона. Его недостатками являются острый угол атаки по отношению к нижним отделам тела С2, а также близкое расположение подъязычного нерва и подчелюстной слюнной железы, что требует проведения тщательной, аккуратной диссекции [13]. Некоторые авторы отмечают невозможность реконструкции сломанной задней колонны, из-за чего при больших диастазах возможно смещение имплантатов с несостоятельностью спондилодеза [61].

Множество существующих авторских и эксклюзивных конструкций с использованием пластин, винтов и протезов для осуществления вентральной атланта-аксиальной фиксации или переднего

окципитоспондилодеза при травме ВШОП широкого распространения не нашли [79, 81].

Методы задней декомпрессии и стабилизации.

Декомпрессия из заднего доступа требуется в случае передних, вертикальных или смешанных атланта-аксиальных дислокаций. Смещение атланта кпереди происходит, как правило, на фоне переломов зубовидного отростка или разрыва поперечной связки атланта. С целью релиза спинного мозга выполняют ламинэктомию С1 позвонка и дополнительную резекцию чешуи затылочной кости [20]. Причиной вертикальной дислокации является перелом Джефферсона. В качестве хирургического варианта устранения компрессии возможен дистракция на стержнях системы окципитоспондилодеза [69].

В случае фиксированных, неподвижных дислокаций атланта задний доступ применяют для открытой мобилизации атланта-аксиального сочленения. После этого с помощью тракции за дужку С1 или винтов, установленных по методу J. Harms, атланта-аксиальную дислокацию устраняют [41].

Наиболее часто задние доступы применяют для проведения спондилодеза. Одним из распространенных способов стабилизации С1-С2 позвонков является трансартикулярная фиксация. Метод был предложен F. Magerl в 1986 г. [54]. Стабилизация атланта-аксиального комплекса достигается за счет установки винтов через *pars interarticularis* С2 позвонка в латеральную массу атланта сквозь боковой атланта-аксиальный сустав. Противопоказаниями к нему служат аномальный ход ПА в позвонках ВШОП, перелом задних структур С2 или боковых масс С1, сохраняющаяся атланта-аксиальная дислокация [44]. Метод считается надежным и безопасным. По данным мета-анализа R. Elliott, частота сращения при использовании этого метода спондилодеза составляет более 97%, мальпозиция винтов — не более 7,1%, а частота повреждений ПА — 4,1% [66]. Несмотря на достаточно низкий процент сосудистых осложнений, по данным мета-анализа, множество авторов, основываясь на личном неудачном опыте ятрогенного повреждения ПА, называют методику F. Magerl наиболее опасной в хирургии и применять ее не рекомендуют [30, 48, 53].

Минимально инвазивные методы задней трансартикулярной фиксации в литературе практически не представлены. Некоторые авторы выполняют задний срединный доступ к С1-С2 позвонкам с проведением винтов через порты и контрапертуры, называя эту методику «перкутанной» [68]. Полностью перкутанная установка винтов была описана только в анатомическом исследовании на трупах [47]. Среди вспомогательных методов для определения оптимальной траектории установки винтов возможно применение роботоассистенции [78]. Использование навигации хоть и дает наглядное представление о траектории винта, однако, преимуществ в точности имплантации по сравнению со стандартным двухплоскостным ЭОП-контролем не дает [49].

Другим распространенным методом задней стабилизации С1-С2 позвонков является фиксация с помощью винтов и стержней по методу J. Harms [46]. Классическая точка введения винта в боковую массу атланта локализуется на ее задней поверхности каудальнее места выхода дужки. Одним из главных недостатков метода является высокая вероятность кровотечения из венозного коллектора, расположенного в области бокового атланта-аксиального сочленения. Для его предупреждения D. Resnick предложил устанавливать винты в латеральную массу через дужку С1 позвонка [60]. Более прочной и надежной считается установка винта бикортикально, однако при этом возникает угроза повреждения внутренней сонной артерии или подъязычного нерва [23].

Заведение фиксаторов в С2 позвонок возможно по трем вариантам: в *pars interarticularis*, транспедикулярно в тело С2 и интерламинарно. Наиболее прочной на вырывание винта является транспедикулярная траектория, наименее ригидной — интерламинарная [22, 74].

Противопоказана методика J. Harms при переломах боковых масс атланта, переломе дужки и ножек С2 позвонка, аномальном ходе ПА. [50]. По жесткости и количеству осложнений задний спондилодез по J. Harms сопоставим с методом F. Magerl. Частота сращений достигает 94,6%, мальпозиции винтов — в среднем у 2,4%, повреждений ПА — 2% [66].

Минимально инвазивное исполнение методики J. Harms представлено в виде чрезмышечного доступа к точкам введения винтов из двух небольших латеральных доступов с применением обычного или расширяемого тубулярного ретрактора [58]. Опубликованы сведения о высокой эффективности использования навигации для установки винтов [76].

Минимально инвазивная транспедикулярная фиксация С2 позвонка возможна за счет перкутанного введения канюлированных винтов как с помощью навигации, так и под флюорографическим контролем [56].

Трансламинарная фиксация крючковой, кабельной системами или проволокой считается наиболее простым и доступным методом заднего спондилодеза [20]. Минимально инвазивные возможности этой методики крайне ограничены в связи с необходимостью устойчивой установки трансплантата в междужковом промежутке.

Окципитоспондилодез в настоящее время при травме С1-С2 применяют в ситуациях, когда установить в них фиксаторы по вышеописанным методикам не представляется возможным. Существенными недостатками метода являются грубое ограничение движений в шейном отделе, атрофия мышц шеи и болевой синдром в послеоперационном периоде [64]. В связи с массивностью имплантируемой конструкции, минимально инвазивное выполнение этого метода не представляется возможным.

Хирургическая тактика при переломах С1-С2 позвонков.

Несмотря на многообразие описанных в литературе методов лечения при травме ВШОП, реко-

мендации при определении хирургической тактики в каждой конкретной ситуации основаны на сериях наблюдений и мета-анализах (опция или III уровень доказательности) [2, 45].

Основным критерием при выборе метода лечения больных с переломами C1 позвонка абсолютное большинство авторов считают целостность поперечной связки. При отсутствии признаков ее повреждения (кровоизлияние и/или отрыв по МРТ/КТ, либо расхождение боковых масс менее 8,1 мм) рекомендована внешняя иммобилизация ортезом или Halo-аппаратом. Если связка повреждена, то показано хирургическое лечение — атланта-аксиальная фиксация или окципито-спондилодез [2, 19, 45]. Несмотря на единодушные большинства авторов, заслуживают внимания исследования вторичного связочного аппарата C1-C2 позвонков (крыловидная и апикулярная связки, капсулы боковых суставов), без повреждения 75% которого развитие атланта-аксиальной дислокации невозможно [24]. Учитывая эти данные, при переломах C1 II типа даже в случае повреждения поперечной порции крестообразной связки или признаках ее отрыва возможно проведение Halo-иммобилизации или моносегментарной фиксации за боковые массы без угрозы развития последующего транслигаментозного вывиха атланта [9, 12].

В противоположность переломам Джефферсона, изолированные повреждения поперечной связки могут сопровождаться разрывом вторичного связочного аппарата с развитием транслигаментозной дислокации C1 позвонка [9]. Поэтому при повреждениях I типа по классификации C. Dickman целесообразна хирургическая стабилизация атланта-аксиального комплекса, II типа — Halo-иммобилизация [31].

Хирургическая тактика при переломах зубовидного отростка зависит от типа перелома, степени смещения отломков и возраста пациентов. Наиболее достоверное исследование было опубликовано Р. Lennarson в 2000 г. [57]. Было выявлено, что у пациентов старше 50 лет риск несращения был выше в 21 раз (уровень доказательности исследования II). На основании этих данных, хирургическое лечение пациентов с переломами II типа старше 50 лет является рекомендацией в существующих протоколах лечения острой травмы шейного отдела позвоночника [2, 45].

Проведение Halo-иммобилизации при любом типе переломов зубовидного отростка является опцией, показанием к хирургическому лечению в рекомендательных протоколах является смещение больше 5 мм, оскольчатый перелом шейки и невозможность сопоставить и удержать отломки закрытым путем (также опция) [2, 45].

Величина смещения отломков при переломах зубовидного отростка является наиболее спорной величиной. В разных сериях наблюдений независимо от возраста вероятность несращения перелома II типа увеличивали: смещение на 6 мм и более [28, 55], угловая деформация больше 10° [28], дислокация больше 2 мм [17], смещение больше 4 мм [65], угловая деформация больше 5° [33].

Эффективность внешней иммобилизации при повреждениях II типа при этом остается достаточно низкой и находится в пределах 43-72% [39]. Высокая вероятность несращения при переломах II типа послужила причиной активного применения хирургических методов лечения. Наиболее физиологичной является трансдентальная фиксация. Частота сращения при использовании этой методики варьирует в пределах 81-94% [3, 8]. Для выполнения стабилизации могут использовать как один, так и два имплантата. Выявлено, что использование 2 винтов при трансдентальной фиксации значительного влияния на исход не оказывает, однако, в свою очередь усложняет операцию и снижает площадь контакта костных отломков [51]. Задний спондилодез C1 и C2 позвонков также высокоэффективен, применяется при наличии противопоказаний к трансдентальной фиксации и позволяет достичь сращения в 89-100% наблюдений [6, 46].

При лечении переломов III типа наиболее эффективной считается Halo-фиксация. Использование жесткой внешней иммобилизации позволяет достичь сращений в 84-99% наблюдений [39]. В группе пациентов старше 60 лет частота сращений ниже и может достигать 20% в зависимости от наличия сопутствующих заболеваний. Ношение Halo-системы переносится этой группой больных достаточно тяжело, в связи с чем некоторые авторы считают обоснованным хирургическое лечение [21]. По мнению ряда хирургов, считается целесообразным хирургическое лечение переломов III типа в случае смещения отломков более 5 мм [45, 70]. Выбор метода хирургического лечения зависит от ориентации линии перелома. Если плоскость излома направлена горизонтально («роstralный, неглубокий» тип) то возможно проведение трансдентальной фиксации [14]. Если она направлена кпереди или расположена глубоко, то вероятность вылома винта крайне высока, и в этих случаях целесообразен задний спондилодез [80].

Выбор метода лечения травматических спондилолистезов C2 позвонка тоже остается спорным вопросом. Согласно рекомендательному протоколу Ассоциации Нейрохирургов России [2], хирургическое лечение показано при повреждении диска C2-C3 позвонков, при этом в зависимости от целостности задних структур применяют либо переднюю, либо циркулярную стабилизацию. Наружная иммобилизация возможна лишь при переломах без смещения. В рекомендациях AANS [45] хирургическое лечение рекомендуется проводить при выраженной ангуляции отломков, повреждении диска C2-C3 или невозможности удержать репозиционный эффект с помощью внешней иммобилизации, при этом выбор доступа остается на усмотрение хирурга. Несмотря на общепринятое мнение о необходимости хирургии в случае разрыва межпозвонкового диска, в литературе описаны наблюдения успешного применения Halo-аппарата или жесткого ортеза независимо от степени угловой деформации и целостности диска C2-C3 [13]. Большинство авторов рекомендуют

хирургическое лечение переломов IIa и III типов (по классификации Levine-Edwards) с применением переднего шейного спондилодеза, задней фиксации C1-C3, либо комбинации этих методов [4, 13, 56]. Альтернативой вышеуказанным методикам является транспедикулярная фиксация как C2 позвонка, так и сегмента C2-C3. Высокая прочность и ригидность этого метода позволили достичь отличных клинических и ортопедических результатов независимо от типа перелома, при этом единственным ограничением служит формирование травматической грыжи диска с угрозой сдавления спинного мозга [26, 34].

Хирургическое лечение застарелых переломов краниовертебрального уровня описано в литературе в сравнительно небольшом количестве публикаций. Практически все наблюдения представлены транслигаментозными или трансдентальными дислокациями атланта в промежуточном и позднем периодах травмы. Тактика лечения при дислокациях на фоне таких повреждений зависит от их подвижности, в связи с чем их разделяют на устранимые и неустраиваемые [5, 77]. В случае устранимых дислокаций рекомендуют репозицию отломков и задний спондилодез [7, 75]. Опубликованы сведения о целесообразности проведения трансдентальной фиксации при подвижных дислокациях на фоне переломов зубовидного отростка II типа [72]. Авторы смогли достичь высокой частоты сращения (88%) в первые 6 мес после травмы. Позже эффективность операции снижается до 25%.

Если у пациента диагностирована некорректируемая дислокация, декомпрессию выполняют с применением вентрального или дорсального доступов. Критерием в выборе направления декомпрессии является степень подвижности в области зубовидного отростка и атлanto-осевых суставов. Если дислокация фиксирована за счет блока в области боковых сочленений, то возможна их мобилизация с последующей редукцией дислокации различными способами из дорсального доступа [41].

В случае фиксации атлanto-аксиальной дислокации за счет костно-фиброзного блока в области зубовидного отростка считается целесообразным применить декомпрессию из вентральных доступов. Основным критерием, определяющим способ декомпрессии, является расположение C2 позвонка относительно носонёбной линии (линия Кассамы) [29]. Если аксис располагается выше этой линии (тип А), то методом выбора является трансназальная одонтоидэктомия. При прохождении линии в проекции основания зубовидного отростка (тип В) возможно проведение декомпрессии как из трансназального, так и трансорального коридоров. Если линия Кассамы проецируется на верхушку зубовидного отростка (тип С), то оптимальной является трансоральная декомпрессия.

Подчелюстной доступ при застарелых дислокациях использован в единичных работах и рутинно не применяется [1, 5, 7].

Касательно хирургического лечения травматического спондилолистеза C2 позвонка в позднем периоде травмы в литературе опубликована толь-

ко 1 работа, в которой авторы выполнили комбинированный циркулярный спондилодез C2-C3 позвонков [63]. Так же опубликовано наблюдение успешной Halo-иммобилизации у пациентки с IV типом перелома «палача» в промежуточном периоде травмы [62].

Таким образом, в настоящее время опубликовано большое количество статей, посвященных хирургическому лечению краниовертебральных повреждений. Несмотря на это, выбор способа проведения операции в ведущих рекомендательных протоколах [2, 45] является опциональным и основывается на опубликованных сериях наблюдений с низким классом доказательности и личном опыте хирурга. Минимально инвазивное хирургическое лечение описано лишь в единичных работах. Способы снижения травматичности операции при некоторых методиках еще не разработаны или представлены только в анатомических исследованиях. Необходимость разработки минимально инвазивных методов в хирургии ВШОП и активное внедрение в практику уже существующих, усовершенствование текущих алгоритмов выбора метода хирургического вмешательства являются приоритетными задачами в хирургии краниовертебральных повреждений.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Львов И.С. — нейрохирург, НИИ СП им. Н.В. Склифосовского, e-mail: speleolog@mail.ru

Гринь Андрей Анатольевич — д.м.н., профессор кафедры нейрохирургии и нейрореанимации МГМСУ им. А.И. Евдокимова, заведующий научным отделением неотложной нейрохирургии ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ», главный нейрохирург ДЗ г. Москвы

Сытник А.В. — нейрохирург, НИИ СП им. Н.В. Склифосовского

ЛИТЕРАТУРА

1. Гринь, А.А. Успешное двухэтапное хирургическое лечение больного с осложненным застарелым переломом позвонка C2 II типа и трансдентальным вывихом позвонка C1 / А.А. Гринь [и др.] // Нейрохирургия. — 2006. — № 1. — С. 38-43.
2. Крылов, В.В. Рекомендательный протокол лечения острой осложнённой неосложнённой травмы позвоночника у взрослых (Ассоциация нейрохирургов РФ). Часть 3 / В.В. Крылов [и др.] // Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко. — 2015. — №2. — С. 97-110.
3. Львов, И.С. Хирургическое лечение больных с переломами зубовидного отростка CII позвонка (обзор литературы) / И.С. Львов, М.А. Некрасов // Нейрохирургия. — 2011. — № 4. — С. 80-85.
4. Некрасов, М.А. Лечение больных с травматическим спондилолистезом C2 позвонка / М.А. Некрасов [и др.] // Нейрохирургия. — 2006. — № 1. — С. 38-43
5. Некрасов, М.А. Тактика лечения больных с переломами верхнешейного отдела позвоночника [Рукопись]: Дисс. канд. мед. наук / М.А. Некрасов: 14.00.28 — Нейрохирургия / НИИ СП им. Н.В. Склифосовского. — М., 2006. — 203 с.: ил.
6. Некрасов, М.А. Хирургическое лечение больных с переломами зубовидного отростка позвонка C2 в остром и подостром периодах травмы / М.А. Некрасов, И.С. Львов А.А. Гринь // Нейрохирургия. — 2012. — № 4. — С. 17-24.

7. Некрасов, М.А. Хирургическое лечение больных с переломами зубовидного отростка позвонка C2 в промежуточном и позднем периодах травмы / М.А. Некрасов, И.С. Львов, А.А. Гринь // *Нейрохирургия*. — 2013. — № 1. — С. 23-30.
8. Рамих, Э.А. Повреждения верхнего шейного отдела позвоночника: диагностика, классификации, особенности лечения / Э.А. Рамих // *Хирургия позвоночника*. — 2005. — № 1. — С.25-44.
9. A biomechanical rationale for C1-ring osteosynthesis as treatment for displaced Jefferson burst fractures with incompetency of the transverse atlantal ligament / H. Koller [et al.] // *Eur Spine J.* — 2010. — Vol. 19(8). — P. 1288-1298.
10. A clinical case of endoscopically assisted anterior screw fixation for the type II odontoid fracture / H. Hashizume [et al.] // *Spine.* — 2003. — Vol. 28(5). — P. 102-105.
11. A new transodontoid fixation technique for delayed type II odontoid fracture: technical note / A.F. Ozer [et al.] // *Surg Neurol.* — 2009. — Vol. 71(1). — P. 121-125.
12. A retrospective review of fixation of C1 ring fractures — does the transverse atlantal ligament (TAL) really matter? / J. Shatsky [et al.] // *Spine J.* — 2016. — Vol. 16(3). — P. 372-329.
13. A systematic review of the management of hangman's fractures / X.F. Li [et al.] // *Eur Spine J.* — 2006. — Vol. 15(3). — P. 257-269.
14. Aebi, M. Fractures of the odontoid process. Treatment with anterior screw fixation / M. Aebi, C. Etter, M. Coscia // *Spine.* — 1989. — Vol. 14(10). — P. 1065-1070.
15. Anatomic considerations of anterior transarticular screw fixation for atlantoaxial instability / J. Lu [et al.] // *Spine.* — 1998. — Vol. 23(11). — P. 1229-1235.
16. Anterior retropharyngeal fixation C1-2 for stabilization of atlantoaxial instabilities: study of feasibility, technical description and preliminary results / H. Koller [et al.] // *Eur Spine J.* — 2006. — Vol. 15. — P. 1326-1338.
17. Anterior screw fixation of odontoid fractures comparing younger and elderly patients / P. Platzer [et al.] // *Spine.* — 2007. — Vol. 32(16). — P. 1714-1720.
18. Atlantoaxial fusion using anterior transarticular screw fixation of C1-C2: technical innovation and biomechanical study / M.K. Sen [et al.] // *Eur Spine J.* — 2005. — Vol. 14(5). — P. 512-518.
19. Atlas fractures / U.K. Kakarla [et al.] // *Neurosurgery.* — 2010. — Vol. 66(Suppl. 3). — P. 60-67.
20. Benzel, E.C. Spine surgery: techniques, complication avoidance and management / E.C. Benzel — 2nd ed. Elsevier Churchill Livingstone, 2005. — 2205 p.
21. Berlemann, U. Dens fractures in the elderly: results of anterior screw fixation in 19 elderly patients / U. Berlemann, O. Schwarzenbach // *Acta Orthop Scand.* — 1997. — Vol. 68(4). — P. 319-324.
22. Biomechanical comparison of four C1 to C2 rigid fixative techniques: anterior transarticular, posterior transarticular, C1 to C2 pedicle, and C1 to C2 intralaminar screws / S.B. Lapsiwala [et al.] // *Neurosurgery.* — 2006. — Vol. 58(3). — P. 516-521.
23. Biomechanical comparison of unicortical versus bicortical C1 lateral mass screw fixation / J.C. Eck [et al.] // *J Spinal Disord Tech.* — 2007. — Vol. 20(7). — P. 505-508.
24. Biomechanical rationale for the pathology of rheumatoid arthritis in the craniovertebral junction / C.M. Puttlitz [et al.] // *Spine.* — 2000. — Vol. 25(13). — P. 1607-1616.
25. Boldin, C. Accident-induced late complaint of odontoid nonunion / C. Boldin, W. Grechenig, F. Fankhauser // *Spine.* — 2004. — Vol. 29(8). — P. 169-171.
26. Bristol, R. Pars screw fixation of a Hang — man's fracture: technical case report / R. Bristol, J.S. Henn, C.A. Dickman // *Neurosurgery.* — 2005. — Vol. 56(Suppl. 1). — E. 204.
27. Cho, D.C. Analysis of risk factors associated with fusion failure after anterior odontoid screw fixation / D.C. Cho, J.K. Sung // *Spine.* — 2012. — Vol. 37(1). — P. 30-34.
28. Clark, C.R. Fractures of the dens. A multicenter study. / C.R. Clark, A.A. White // *J Bone Joint Surg Am.* — 1985. — Vol. 67(9). — P. 1340-1348.
29. Combined transnasal and transoral endoscopic approaches to the craniovertebral junction / I.H. El-Sayed [et al.] // *J Craniovertebr Junction Spine.* — 2010. — Vol. 1(1). — P. 44-48.
30. C1-C2 posterior fixation: are 4 screws better than 2? / P. Vergara [et al.] // *Neurosurgery.* — 2012. — Vol. 71(Suppl. Operative 1). — P. 86-95.
31. Dickman, C.A. Injuries involving the transverse atlantal ligament: classification and treatment guidelines based upon experience with 39 injuries / C.A. Dickman, V.K. Sonntag // *Neurosurgery.* — 1997. — Vol. 40(4). — P. 886-887.
32. Dlouhy, B.J. Evolution of transoral approaches, endoscopic endonasal approaches, and reduction strategies for treatment of craniovertebral junction pathology: a treatment algorithm update / B.J. Dlouhy, N.S. Dahdaleh, A.H. Menezes // *Neurosurg Focus.* — 2015. — Vol. 38(4). — E8.
33. Early predictive value of supine and upright X-ray films of odontoid fractures treated with halo-vest immobilization / D.H. Kim [et al.] // *Spine J.* — 2008. — Vol. 8(4). — P. 612-618.
34. ElMiligui, Y. Transpedicular screw fixation for type II Hangman's fracture: a motion preserving procedure / Y. ElMiligui, W. Koptan, I. Emran // *Eur Spine J.* — 2010. — Vol. 19(8). — P. 1299-1305.
35. Endoscopic image-guided transcervical odontoidectomy: outcomes of 15 patients with basilar invagination. / H.H. Dasenbrock [et al.] // *Neurosurgery.* — 2012. — Vol. 70(2). — P. 351-359.
36. Endoscopic transnasal odontoidectomy to treat basilar invagination with congenital osseous malformations / Y. Yu [et al.] // *Eur Spine J.* — 2013. — Vol. 22(5). — P. 1127-1136.
37. Endoscopic transoral surgery for craniovertebral junction anomalies. Technical note / M. Husain [et al.] // *J Neurosurg Spine.* — Vol. 5(4). — P. 367-373.
38. Esses, S.I. Screw fixation of odontoid fractures and nonunions / S.I. Esses, D.A. Bednar // *Spine.* — 1991. — Vol. 16(Suppl. 10). — P. 483-485.
39. Evidence-based analysis of odontoid fracture management / T.D. Julien [et al.] // *Neurosurg Focus.* — 2000. — Vol. 8(6). — e1.
40. Evolution from microscopic transoral to endoscopic endonasal odontoidectomy / J.A. Ponce-Gymez [et al.] // *Neurosurg Focus.* — 2014. — Vol. 37(4). — E15.
41. Factors influencing feasibility of direct posterior reduction in irreducible traumatic atlantoaxial dislocation secondary to isolated odontoid fracture / P. Salunke [et al.] // *Br J Neurosurg.* — 2015. — Vol. 29(4). — P. 513-519.
42. Fang, H.S. Direct anterior approach to the upper cervical spine / H.S. Fang, G.B. Ong // *J Bone Joint Surg Am.* — 1962. — Vol. 44. — 1588-1604.
43. Feasibility and trajectory study of anterior transarticular crossing screw placement for atlantoaxial joint instability: a cadaveric study and description of a novel technique / W. Ji [et al.] // *Eur Spine J.* — 2015. — Vol. 24(12). — 2954-2960.
44. Finn, M.A. Atlantoaxial transarticular screw fixation: update on technique and outcomes in 269 patients / M.A. Finn, R.I. Apfelbaum // *Neurosurgery.* — 2010. — Vol. 66(Suppl. 3). — P. 184-192.
45. Guidelines for the management of acute cervical spine and spinal cord injuries: 2013 update / B.C. Walters [et al.] // *Neurosurgery.* — 2013. — Vol. 60(Suppl. 1). — P. 82-91.
46. Harms, J. Posterior C1-C2 fusion with polyaxial screw and rod fixation / J. Harms, R.P. Melcher // *Spine.* — 2001. — Vol. 26(22). — P. 2467-2471.
47. Holly, L.T. Percutaneous placement of posterior cervical screws using three-dimensional fluoroscopy / L.T. Holly, K.T. Foley // *Spine.* — 2006. — Vol. 31(5). — P. 536-540.
48. Is the technique of posterior transarticular screw fixation suitable for rheumatoid atlanto-axial subluxation? / A.T. Casey [et al.] // *Br J Neurosurg.* — 1997. — Vol. 11. — P. 508-519.
49. Isocentric C-arm three-dimensional navigation versus conventional C-arm assisted C1-C2 transarticular screw fixation for atlantoaxial instability / Y. Yang [et al.] // *Arch Orthop Trauma Surg.* — 2015. — Vol. 135(8). — P. 1083-1092.
50. Jacobson, M.E. C1-C2 posterior fixation: indications, technique, and results / M.E. Jacobson, S.N. Khan, H.S. An // *Orthop Clin North Am.* — 2012. — Vol. 43(1). — P. 11-18.

51. Jenkins, J.D. A clinical comparison of one — and two-screw odontoid fixation / J.D. Jenkins, D. Coric, C.L. Branch Jr. // *J Neurosurg.* — 1998. — Vol. 89(3). — P. 366-370
52. Kazan, S. Percutaneous anterior odontoid screw fixation technique. A new instrument and a cadaveric study / S. Kazan, R. Tuncer, M. Sindel // *Acta Neurochir (Wien).* — 1999. — Vol. 141(5). — P. 521-24.
53. Lee, J.H. C1-2 transarticular screw fixation in high-riding vertebral artery: suggestion of new trajectory / J.H. Lee, T.A. Jahng, C.K. Chung // *J Spinal Disord Tech.* — 2007. — Vol. 20(7). — P. 499-504
54. Magerl, F. Stable posterior fusion of the atlas and axis by transarticular screw fixation / F. Magerl, P. Seeman // *Cervical Spine.* Vol. 1. — New York: Springer-Verlag, 1986. — P. 322-327
55. Management of acute traumatic atlas fractures / E. Kontautas [et al.] // *J Spinal Disord Tech.* — 2005. — Vol. 18(5). — P. 402-405
56. Management of hangman's fracture with percutaneous transpedicular screw fixation / Y.S. Wu [et al.] // *Eur Spine J.* — 2013. — Vol. 22(1). — P. 79-86
57. Management of type II dens fractures: a case-control study / P.J. Lennarson [et al.] // *Spine.* — 2000. — Vol. 25(10). — P. 1234-1237
58. Minimally invasive atlantoaxial fusion: cadaveric study and report of 5 clinical cases / U. Srikantha [et al.] // *J Neurosurg Spine.* — 2016. — Vol. 25(6). — P. 675-680
59. Minimally invasive technique of triple anterior screw fixation for an acute combination atlas-axis fracture: case report and literature review / Q. Dean [et al.] // *Spinal Cord.* — 2010. — Vol. 48(2). — P. 174-177
60. Morphometric evaluation of screw fixation in atlas via posterior arch and lateral mass / M.S. Tan [et al.] // *Spine.* — 2003. — Vol. 28(9). — P. 888 —895
61. Muller, E.J. Traumatic spondylolisthesis of the axis: treatment rationale based on the stability of the different fracture types / E.J. Muller, M. Wick, G. Muhr // *Eur Spine J.* — 2000. — Vol. 9(2). — P. 123-128
62. Neglected Hangman's fracture in association with rupture of the trachea / D.A. Verettas [et al.] // *Spine J.* — 2008. — Vol. 8(3). — P. 552-554
63. Neglected hangman fracture / S.K. Srivastava [et al.] // *J Craniovertebr Junction Spine.* — 2015. — Vol. 6(4). — P. 209-211
64. Nuances of occipitocervical fixation / D.C. Lu [et al.] // *Neurosurgery.* — 2010. — Vol. 66(Suppl. 3). — P. 141-146
65. Operative versus nonoperative management of acute odontoid type II fractures: a meta-analysis / A. Nourbakhsh [et al.] // *J Neurosurg Spine.* — 2009. — Vol. 11(6). — P. 651-658
66. Outcome comparison of atlantoaxial fusion with transarticular screws and screw-rod constructs: meta-analysis and review of literature / R.E. Elliott [et al.] // *J Spinal Disord Tech.* — 2014. — Vol. 27(1). — P. 11-28
67. Percutaneous atlantoaxial anterior transarticular screw fixation combined with mini-open posterior C1/2 wire fusion for patients with a high-riding vertebral artery / A.M. Wu [et al.] // *J Spinal Cord Med.* — 2016. — Vol. 39(2). — P. 234-239
68. Posterior atlantoaxial three-point fixation: comparison of intraoperative performance between open and percutaneous techniques / R. Schmidt [et al.] // *Arch Orthop Trauma Surg.* — 2006. — Vol. 126(3). — P. 150-156
69. Posterior distraction reduction and occipitocervical fixation for the treatment of basilar invagination and atlantoaxial dislocation / Y. Meng [et al.] // *Clin Neurol Neurosurg.* — 2016. — Vol. 140. — P. 60-67
70. Pryputniewicz, D.M. Axis fractures / D.M. Pryputniewicz, M.N. Hadley // *Neurosurgery.* — 2010. — Vol. 66(Suppl. 3). — P. 68-82
71. Purely endoscopic endonasal surgery of the craniovertebral junction: A systematic review. / C.H. Fang [et al.] // *Int Forum Allergy Rhinol.* — 2015. — Vol. 5(8). — P. 754 — 760
72. Rao, G. Odontoid screw fixation for fresh and remote fractures / G. Rao, R.I. Apfelbaum // *Neurol India.* — 2005. — Vol. 53(4). — P. 416-423
73. Reindl, R. Anterior instrumentation for traumatic C1 — C2 instability / R. Reindl, M. Sen, M. Aebi // *Spine.* — 2003. — Vol. 28. — P. 329-333.
74. Salvage of C2 pedicle and pars screws using the intralaminar technique: a biomechanical analysis / R.A. Lehman Jr [et al.] // *Spine.* — 2008. — Vol. 33(9). — P. 960-965
75. Shetty, A. Odontoid fractures: a retrospective analysis of 53 cases / A. Shetty, A.R. Kini, J. Prabhu // *Indian J Orthop.* — 2009. — Vol. 43(4). — P. 352-360
76. Screw Placement Accuracy and Outcomes Following O-Arm-Navigated Atlantoaxial Fusion: A Feasibility Study / J.D. Smith [et al.] // *Global Spine J.* — 2016. — Vol. 6(4). — P. 344-349
77. Surgical management of remote, isolated type II odontoid fractures with atlantoaxial dislocation causing cervical compressive myelopathy / M.V. Kirankumar [et al.] // *Neurosurgery.* — 2005. — Vol. 56(5). — P. 1004-1012
78. Tian, W. Robot-Assisted Posterior C1-2 Transarticular Screw Fixation for Atlantoaxial Instability: A Case Report / W. Tian // *Spine.* — 2016. — Vol. 41(Suppl 19). — P. 2-5
79. Transoral atlantoaxial reduction plate internal fixation with transoral transpedicular or articular mass screw of c2 for the treatment of irreducible atlantoaxial dislocation: two case reports / F.Z. Ai [et al.] // *Spine.* — 2011. — Vol. 36(8). — P. 556-562
80. Unstable odontoid fracture: Surgical strategy in a 22-case series, and literature review / C. Steltzlen [et al.] // *Orthop Traumatol Surg Res.* — 2013. — Vol. 99(5). — P. 615-623
81. Wang, T. Transoral reduction of irreducible posteriorly displaced odontoid fracture / T. Wang, B. Zeng, J. Xu // *Eur Spine J.* — 2011. — Vol. 20(Suppl. 2). — P. 227-230