

ЛЕЧЕНИЕ БОЛЬНЫХ С ИЗОЛИРОВАННЫМИ И СОЧЕТАННЫМИ ПОВРЕЖДЕНИЯМИ ПЕРВОГО ШЕЙНОГО ПОЗВОНКА

А.В. Антонов¹, М.А. Некрасов², А.А. Гринь^{3,4}, И.С. Львов³, В.В. Крылов^{3,4}

¹ Сахалинская областная клиническая больница;

² Городская клиническая больница №1 им. Н.И. Пирогова, Москва;

³ НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского, Москва;

⁴ Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова, Москва

Цель: Провести обзор клинической патофизиологии, существующих классификаций, диагностики, и концепций лечения повреждений первого шейного позвонка (атланта).

Материалы и методы: обзор литературы.

Результаты: Повреждения атланта составляют до 25% краниовертебральных повреждений, и от 1,3 до 2% всех повреждений позвоночника. Наиболее часто причиной повреждений атланта является автодорожная травма, сочетающаяся с аксиальной нагрузкой на краниовертебральный отдел. В значительном количестве случаев переломы атланта наблюдаются в комбинации с переломами других шейных позвонков, наиболее часто с переломами аксиса (до 40–44%). Стратегия лечения переломов атланта основана, в первую очередь, на изолированном или сочетанном характере повреждений, а также на целостности поперечной связки атланта. При сочетанных переломах подход к лечению определяет тип перелома аксиса или субаксиальных позвонков, применяют гало-фиксацию, спондилодез C1-C2, трансодонтоидную фиксацию. Основным способом лечения изолированных переломов атланта является гало-фиксация в течение 8-12 нед, хирургическую стабилизацию рекомендуют при выявлении поздней нестабильности. В обзоре представлена эволюция методов атлантоаксиального спондилодеза, как основного способа хирургического лечения данных повреждений.

Заключение. Внешняя иммобилизация гало-аппаратом является эффективным методом лечения переломов атланта. Вопрос о необходимости и возможных преимуществах хирургической стабилизации переломов атланта по сравнению с лечением внешней иммобилизацией требует дальнейшего изучения.

Ключевые слова: перелом атланта; перелом позвонка C1, перелом Джефферсона, атланто-аксиальная стабилизация

Objective. To describe the clinical pathobiomechanics, existing classifications, diagnostics, and treatment concepts of atlas injuries.

Material and methods. Literature review.

Results. Atlas injuries make up to 25% of craniocervical injuries, and from 1,3% to 2% of all spinal injuries. Their most frequent cause is motor vehicle accidents going with axial loading. In majority of cases the atlas fractures are combined with the fractures of other cervical vertebrae, mostly with the axis fractures. The treatment approaches are based on the isolated or combined type of atlas injuries and also on transverse ligament integrity. The treatment options in combined atlas injuries depend on the type of axis fracture, and include halo fixation, atlantoaxial or transodontoid surgical stabilization. The main way for treatment of the isolated atlas fractures is halo-fixation. Surgical stabilization is recommended in cases of late instability. The evolution of methods of atlantoaxial stabilization as the main way of the surgical treatment of this type of injuries is also represented.

Conclusion. The halo-fixation is effective way to treat atlas fractures. The necessity and probable advantages of surgical stabilization of atlas fractures requires further study for refinement.

Key words: atlas fracture, C1 fracture, Jefferson fracture, atlantoaxial stabilization, literature review.

Первый шейный позвонок (атлант) играет ключевую роль в краниовертебральном сочленении и служит переходной структурой между затылочной костью и остальными шейными позвонками [2,3,37]. Его уникальная кольцевая форма и строение позволяют осуществлять наибольший объем движений по сравнению с любым другим сегментом позвоночника [3]. По своим биомеханическим свойствам атлант представляет собой костный мениск между мышелками затылочной кости и боковыми массами аксиса, обуславливающий переход движений от сгибательно-разгибательных к ротационным [3,6].

Высокая подвижность в сочетании с флекссионными, дистракционными, компрессионными, ро-

тационными травмирующими силами, а также их комбинациями производят уникальные сложные переломы, требующие особых хирургических подходов, отличных от хирургической техники при переломах других отделов позвоночника [30].

Целью данной работы явилось проведение анализа биомеханических и патофизиологических аспектов повреждений атланта, а также существующих концепций лечения данных повреждений.

В различных сериях наблюдений переломы первого шейного позвонка составляют около 25% от всех краниоцервикальных повреждений, от 3 до 13% всех повреждений шейного отдела позвоночника и от 1,3 до 2% всех травм позвоночника [25,35]. Самыми частыми причинами

являются автодорожная травма и падения головой вниз, которые составляют от 80 до 85% всех причин переломов атланта. Из других причин отмечают травму ныряльщика, мотоциклетную травму, занятия экстремальными видами спорта, падение на голову различных предметов, перевороты через голову, удар по шейно-затылочной, лобной области, резкие ротационные движения и т.д. [2,3,25,45].

Сопутствующие переломы других шейных позвонков встречаются у 33—70% пациентов с переломом атланта [30,31]. Наиболее часто у 40—44% больных, встречается комбинация повреждений позвонков C1—C2. При этом переломы зубовидного отростка наблюдаются чаще «переломов па- лаца» [2,24,35,45].

Другие сочетанные повреждения включают разрыв поперечной связки, переломы других отделов позвоночника и закрытую черепно-мозговую травму.

Классификация переломов атланта

В 1920 г. британский нейрохирург Geoffrey Jefferson представил серию наблюдений из 42 пациентов с переломами атланта и дополнительно — 4 его собственных наблюдения. На основании этого анализа он предложил свою классификацию переломов позвонка C1.

Модифицировав классификацию Jefferson, J. Gehweiler и соавт. в 1976 г. предложили следующую классификацию повреждений атланта [17]:

тип I — перелом только задней дуги позвонка C1;

тип II — перелом только передней дуги позвонка C1;

тип III — двусторонние переломы задней дуги, сочетающиеся с односторонним или двусторонним переломом передней дуги позвонка C1;

тип IV — перелом боковой массы позвонка C1;

тип V — поперечные переломы передней дуги позвонка C1.

Классический перелом Jefferson, согласно данной классификации, является переломом III типа, сочетающимся с боковым смещением латеральных масс. Основываясь на классификации Jefferson, самым частым типом переломов позвонка C1 в представленных в литературе различных клинических сериях наблюдений являются тип I и тип III [2,17,33].

Основываясь на собственной серии из 35 наблюдений, C. Landells и P. Van Peteghem [33] предложили другую классификацию:

тип I — изолированные переломы либо передней, либо задней дуги (тип I и II по Jefferson);

тип II — сочетанные переломы передней и задней дуг (тип Jefferson III);

тип III — перелом боковой массы с переломом дуги или без такового (тип Jefferson IV).

В серии Landells и VanPeteghem чаще всего наблюдали переломы типа I в сочетании с переломами позвонка C2 и неврологическим

дефицитом. Переломы II типа, вторые по распространенности, наблюдали изолированные и без неврологического дефицита. Классификация А.А. Луцка и соавт. выделяет еще такие редкие повреждения, как отрыв переднего бугорка атланта и перелом реберно-поперечного отростка, а вывихи и подвывихи атланта рассматриваются как отдельный тип повреждений [2]. Таким образом, ни одна из классификаций не охватывает все типы переломов атланта, отмеченные в различных клинических ситуациях, и не является общепринятой.

Классификация повреждений поперечной связки атланта

Связочный аппарат играет важную роль в обеспечении стабильности в атлантоаксиальном и атлантозатылочном сочленениях. По важности стабилизирующей функции различают первичный и вторичный связочный аппарат. К первичному стабилизирующему аппарату относят крестообразную и крыловидные связки. Ко вторичному — переднюю продольную (переднюю атлантозатылочную мембрану), заднюю продольную (в краниальном продолжении называемую текториальной мембраной) и выйную связки, а также заднюю атлантозатылочную мембрану (представляющую истонченную желтую связку). Крестообразная и крыловидные связки фиксируют зубовидный отросток к передней дуге атланта и препятствуют их расхождению при наклоне головы и сгибании шеи. Крыловидные связки ограничивают ротацию атланта относительно зубовидного отростка аксиса. Чрезмерное разгибание шеи ограничивает передняя продольная связка [2,6,10,41,42]. Выйная, мембранные, суставные связки имеют меньшее значение для стабилизации костных структур краниовертебрального уровня.

Ключевую роль в определении атлантоаксиальной стабильности играет поперечная связка (поперечный пучок крестообразной связки) [2,3,10,42], поэтому при клинической оценке переломов атланта логичным является совместное рассмотрение вопроса о целостности поперечной связки. Переломы атланта часто разделяют на стабильные и нестабильные на основании определения целостности поперечной связки. В 1970 г. Spence и соавт. изучили осевую нагрузку и смещение боковых масс, требуемое для разрушения поперечной связки, у десяти человеческих трупов. Основываясь на полученных результатах, авторы установили, что если суммарное смещение боковых масс при переломе атланта превышает 6,9 мм, то поперечная связка разорвана. Этот факт был применен в клинической практике и обычно упоминается как «правило Spence» применительно к планарной рентгенографии позвонка C1 с открытым ртом с целью диагностики разрыва поперечной связки.

Однако планарная рентгенография не обеспечивает прямую визуализацию поперечной связки и позволяет судить о ее состоянии только по косвенным признакам. В связи с этим C. Dickman

и соавт. в 1996 г. изучили данные обследования 39 пациентов с разрывом поперечной связки с применением обычной рентгенографии, тонкосрезовой КТ и МРТ с высокой разрешающей способностью [10]. Выявлено, что МРТ очень чувствительна в диагностике разрывов поперечной связки. Они предложили следующую классификацию:

тип I — повреждение средней порции поперечной связки или места ее прикрепления к медиальному бугорку атланта. Эти повреждения неспособны к заживлению с использованием внешней иммобилизации;

тип II — включает переломы и отрыв бугорка с местом прикрепления поперечной связки и заживление возможно при использовании только внешней иммобилизации.

Авторы показали, что применение только правила Spence при переломах атланта ведет к ошибкам диагностики разрывов поперечной связки у 61% пациентов.

А.А. Луциком на основании экспериментального моделирования перелома атланта у 20 нефиксированных трупов сделан вывод о преимущественно нестабильном характере переломов Джефферсона [2]. В результате эксперимента в 17 наблюдениях были получены повреждения поперечной связки. Причем в 16 наблюдениях суммарное расхождение боковых масс на переднезадних рентгенограммах не превышало 6 мм.

Клиническая патобиомеханика переломов атланта

Определенные анатомические аспекты кранио-вертебрального сочленения важны для понимания биомеханики, лежащей в основе переломов атланта. Если рассматривать общий объем движений в шейном отделе позвоночника (сгибание, разгибание, ротация, боковые наклоны), то в атланто-окципитальном сочленении сгибание/разгибание составляет 30—35%, ротация и наклоны головы — минимальны (от 2 до 5%). В атлантоаксиальном сочленении ротация занимает от 30 до 60%, сгибание/разгибание — до 10%, наклоны в стороны также минимальны (от 2 до 5%) [2,6,15,41,42]. Верхние суставные поверхности атланта наклонены в медиокаудальном направлении, нижние суставные поверхности — в медиокраниальном направлении. Jefferson изначально объяснил возникновение переломов атланта осевой нагрузкой или вертикальным сжатием. Две клиновидные боковые массы позвонка C1 скреплены передней и задней дугами. В результате описанных пространственных взаимоотношений аксиальная нагрузка на затылок приводит к появлению радиальной силы на боковых массах, стремящейся расширить кольцо атланта. Перелом происходит, когда радиальные силы превышают упругие возможности кости атланта [2,6,40,41].

Однако не у всех переломов в серии Jefferson был зарегистрирован подобный механизм. В реальных клинических ситуациях осевые силы действуют в комбинации со сгибанием, дистракцией, разгиба-

нием, боковым сгибанием шейного отдела позвоночника. G. Skuld изучил 30 переломов атланта, зарегистрированных посмертно у 300 погибших в результате дорожных аварий [45]. Были отмечены точка приложения силы на голове жертвы, точка воздействия на транспортное средство и возможная траектория воздействия. Повреждения мягких тканей анализировали, чтобы восстановить вектор силы, которая привела к перелому. При лобовых ударах, связанных с разгибанием в шейном отделе позвоночника, задняя дуга позвонка C1 оставалась на месте, в то время как передний сегмент продолжал смещаться, приводя к перелому задней дуги. Взрывные переломы типа Jefferson были связаны с приложением силы к верхней точке черепа. При боковом ударе, сочетающемся со сжатием, происходили переломы передней дуги. Раздробленные переломы боковых масс происходили вследствие бокового удара, сочетающегося с дистракцией. При всех типах переломов отмечали осевой компонент нагрузки, приложенный к затылочной области.

В литературе есть сведения о нескольких биомеханических моделях переломов атланта. M. Panjabi и соавт. применяли осевую нагрузку к человеческим трупным препаратам, содержащим комплекс «затылочная кость — позвонок C3» [41]. Каждый экземпляр был травмирован падающей массой, и далее переломы были изучены с помощью КТ. Осевая нагрузка была применена в нейтральном положении на 8 моделях и при разгибании — на 2. Поперечная связка разорвалась в 8 (80%) наблюдениях: в 4 наблюдениях имел место односторонний костный разрыв, в 1 — частичный костный разрыв, в 3 — разрыв в центральной порции связки. Два повреждения поперечной связки произошли без перелома атланта. В 6 наблюдениях взрывные переломы произошли в сочетании с переломами передней и задней дуг атланта. Два препарата получили переломы затылочных мышечков и два — травматический спондилолистез аксиса. Был также отмечен тот факт, что потребовалось приблизительно на 30% меньше осевой нагрузки, чтобы произвести перелом атланта в положении разгибания по сравнению с нейтральным положением. После произошедшего перелома атланта препараты были более нестабильны во время сгибания и разгибания, чем во время бокового сгибания и осевого вращения.

T. Oda и соавт. [40] изучили клинические значения этих повреждений в тех же самых трупных экземплярах, использованных M. Panjabi и соавт. [41]. После травмы проводили планарную переднезаднюю рентгенографию, чтобы изучить смещение боковых масс, и боковую рентгенографию в нейтральной позиции и с пробами на сгибание и разгибание, которую использовали, чтобы изучить атлантоодонтоидный интервал. Переломы Jefferson были отмечены у 6 препаратов (5 — с полным повреждением поперечной связки и 1 — с частичным). Из 7 экземпляров с повреждением поперечной связки смещение латеральных масс было больше чем 6,9 мм в 4 наблюдениях и меньше чем 4 мм — в одном. У 2 препаратов

с разрывом поперечной связки в средней порции не отмечено смещения латеральных масс. Авторы сделали вывод, что правило Spence не может применяться к повреждениям поперечной связки без переломов атланта. Однако при боковой рентгенографии с пробой на сгибание у всех препаратов с неполным разрывом поперечной связки атлантоодонтоидный интервал был больше 3 мм. У всех препаратов, поврежденных осевой нагрузкой, анатомический анализ также показал, что крыловидные связки, суставные капсулы C1—C2 и текториальная мембрана оставались неповрежденными, кроме случаев, когда имелись переломы затылочных мышечков.

В отличие от экспериментов, проводимых М. Panjabi и соавт. и Т. Oda и соавт., в которых осевая нагрузка была применена на низкой скорости, М. Gebauer и соавт. изучили влияние аксиальной нагрузки при различной скорости ее воздействия на характер переломов атланта [16]. В двух группах из 20 трупов нагрузка была применена к изолированному позвонку C1 на различных скоростях и измерена пиковая осевая сила, приводящая к перелому. В первой группе постоянная осевая сила была применена на скорости 0,5 мм/с. Перелом передней дуги (тип I) произошел в 2 наблюдениях, перелом задней арки (тип II) — в 3, перелом обеих дуг (тип III) — в 2 и перелом боковых масс (тип IV) — в 13. Во второй группе осевая сила была применена на скорости 300 мм/с. После этого констатированы переломы типа III во всех наблюдениях. Хотя скорость была в 600 раз выше, средняя осевая сила, производящая перелом, была только в 3 раза выше во второй группе по сравнению с первой, что связано с высокими эластическими свойствами атланта.

Суммируя результаты вышеуказанных биомеханических исследований, можно сказать, что переломы атланта происходят прежде всего в результате осевой нагрузки. Осевая нагрузка на затылочную кость передается ниже в виде силы, стремящейся вызвать distraction боковых масс позвонка C1. Это приводит к «перенапряжению» кольца атланта. Избыточное «напряжение» заставляет кольцо ломаться в его самом слабом месте, которым является точка прикрепления дуг к боковым массам [2,40,41]. Разрывы поперечной связки возникают достаточно часто, при этом изолированные повреждения последней возможны без костных повреждений. Оставшиеся связки обычно сохраняют свою целостность, если затылочные мышечки остаются интактными. Низкоскоростная нагрузка чаще приводит к переломам боковых масс (тип IV). Высокоскоростная нагрузка чаще приводит к взрывным повреждениям (тип III) [16].

Клинические проявления переломов атланта

Клиническая картина переломов верхнешейного отдела позвоночника часто характеризуется болью в шее, реже — в области затылка, напряжением цервикальных мышц, ограничением движений в шейном отделе [2,3,6,30].

Ретрофарингеальный отек может вызвать затруднение глотания. Невралгия и парестезии, связанные со сдавлением корешка C2, также встречаются достаточно часто [30,31]. Большинство авторов отмечают незначительный неврологический дефицит в остром периоде травмы у большинства выживших больных. Это обусловлено наличием значительных передних и задних резервных пространств на уровне краниовертебрального перехода, что обуславливает минимальные неврологические нарушения при значительных травматических смещениях костных отломков [2,10]. Наиболее частыми изолированными переломами атланта являются взрывные переломы типа Jefferson III, которые приводят к расширению позвоночного канала на уровне повреждения, таким образом, осуществляя «травматическую декомпрессию» спинного мозга [2,23—25,30]. Хотя при этом возможны внедрение зубовидного отростка в большое затылочное отверстие и травма спинного мозга [2]. Неврологические осложнения обычно встречаются у больных с переломами атланта в сочетании с переломами других шейных позвонков, а также часто связаны с разрывом поперечной связки [1,2, 10, 24].

При сочетании повреждений атланта со спондилолистезом позвонка C2 неврологическая симптоматика может быть не выражена вследствие расширения горизонтальных размеров позвоночного канала на уровне повреждения [2]. Но вместе с тем при крайних степенях спондилолистеза у 2—57% пациентов отмечают грубые неврологические нарушения, обусловленные сдавлением и (или) ушибом спинного мозга, повреждением вертебральных артерий в отверстиях поперечных отростков позвонка C2 [1,2]. Диссекция позвоночной артерии проявляется проходящей потерей сознания, двоением в глазах и другими симптомами ишемии мозга в задней черепной ямке. Невропатии черепных нервов IX, X, XI и XII также отмечены как результат переломов Джефферсона. Наиболее выражены неврологические расстройства при трансдентальных и транслигаментозных вывихах атланта и имеют тенденцию к нарастанию, появлению грубой бульбарной симптоматики вплоть до внезапной смерти пациента, особенно при повторных травмах, даже незначительных [2,10,11,23,24].

Диагностика переломов атланта

Основное значение в диагностике повреждений позвонка C1 имеют лучевые методы. Для оценки переломов атланта с помощью планарной рентгенографии выполняют снимки через открытый рот в прямой проекции, боковую проекцию и боковую рентгенографию с проведением функциональных проб. На рентгенографии с открытым ртом должны визуализироваться фасетки позвонков C1 и C2. Любое смещение боковых масс позвонка C1 относительно фасеток позвонка C2 позволяет заподозрить взрывной перелом атланта. Независимо от степени смещения фа-

сеток поперечная связка может быть разорвана. В норме у детей младше 7 лет костные боковые массы атланта могут проецироваться вне костных суставных отростков C2, давая ложный признак перелома Jefferson («псевдорасширение атланта»). Если в боковой проекции расстояние между дугой атланта и зубовидным отростком (ширина переднего сустава Крювелье) более 3 мм у взрослых и 5 мм у детей, есть причины заподозрить разрыв поперечной связки. Расстояние более 5–6 мм у взрослых свидетельствует о полном разрыве поперечной и крыловидных связок, что расценивают как транслигаментозный вывих атланта [2,30,40].

Переломы задней дуги могут быть оценены при боковой или угловой (с поворотом на 60 градусов) рентгенографии. Переломы передней дуги диагностировать на обычных рентгенограммах затруднительно. Однако А. Levine и С. Edwards показали, что тень от ретрофарингеального отека мягких тканей на уровне позвонков C1–C3 у многих больных существенно расширяется (> 9,5 мм) при переломе передней дуги в отличие от перелома задней дуги атланта [35].

Для исключения псевдорасширения атланта используют тонкосрезовую КТ с получением параллельных плоскости дуг позвонка C1 срезов. Этот способ диагностики является оптимальным и его необходимо использовать у детей с подозрением на перелом позвонка C1 типа Jefferson. Сагиттальные реконструкции помогают визуализировать скрытые горизонтальные переломы передней арки. Аксиальные срезы могут показать повреждения поперечной связки типа Dickman II, даже когда расширение боковых масс составляет менее 7 мм. Использование высокопольной МРТ является методом выбора для оценки целостности поперечной связки. МРТ может выявлять повреждения поперечной связки типа Dickman I даже при отсутствии существенного расширения боковых масс [10]. Использование КТ-ангиографии позволяет выявить патологию и аномалии вертебральных артерий на уровне краниовертебрального перехода, что имеет значение для планирования лечения и выбора метода хирургической стабилизации.

Лечение больных с переломами позвонка C1

Основными задачами лечения больных с повреждениями атланта, как и других шейных позвонков, являются декомпрессия спинного и продолговатого мозга, вертебральной артерии при ее сдавлении, восстановление формы позвоночного канала, надежная стабилизация травмированных сегментов. На лечебную тактику при переломах атланта прежде всего влияет изолированность его повреждения или сочетание с другими переломами шейного отдела позвоночника. Способы фиксации поврежденного сегмента позвоночника делят на консервативные (внешняя иммобилизация ортезом, вытяжение), условно-консервативные (Halo-репозиция и стабилизация) и хирургичес-

кие (различные виды внутренней стабилизации). Независимо от изолированного или сочетанного характера повреждения атланта до настоящего момента не выработано однозначно принятых стандартов для лечения данных повреждений. Имеющиеся рекомендации базируются на нескольких представленных в литературе сериях наблюдений.

Лечение больных с изолированными переломами позвонка C1

Изолированные переломы атланта со времен их описания Jefferson лечат преимущественно консервативно с применением внешней иммобилизации [2,3,23,30,31,33,37].

В серии Landells и Van Peteghem [33] изолированные переломы позвонка C1 были выявлены у 15 (43%) из 35 пациентов с переломами атланта. Повреждения I типа диагностированы наиболее часто, у 16 (46%) пациентов, причем в комбинации с другими переломами шейных позвонков, и часто повреждения I типа сопровождались неврологическими расстройствами. Повреждения I типа чаще всего лечили внешней иммобилизацией. Переломы II типа (взрывной перелом Jefferson) наблюдали у 37% пациентов. Только 2 пациентам выполнена хирургическая фиксация позвонков C1–C2, основанная на «правиле Spence». Остальных пациентов лечили внешней иммобилизацией ортезом. Из 10 пациентов с переломами II типа, 7 (70%) были прослежены в отдаленном периоде, и у них сохранялись жалобы на боли в шейном отделе позвоночника.

В 2002 г. М. Hadley сообщил о 57 пациентах с переломами атланта [23]. Изолированные переломы позвонка C1 выявлены у 32 (56%) пациентов, ни один из которых не имел неврологического дефицита. Смещение латеральных масс было больше величины 6,9 мм у 15 (47%) больных и меньше — у 5 (16%). У 12 (38%) пациентов смещения костных отломков не выявлено. Всех пациентов лечили внешним жестким ортезом или фиксацией Halo-аппаратом. Средняя продолжительность наблюдения у 29 пациентов составила 40 мес. Псевдоартроз, нестабильность при функциональных пробах, а также неврологический дефицит не выявлены. При позднем катамнестическом наблюдении у 3 (10%) пациентов отмечен болевой синдром в шейном отделе.

L. Kesterson и соавт. сообщили о 18 пациентах с взрывным переломом Jefferson [31]. У 13 пациентов с изолированными переломами Jefferson была успешно применена внешняя иммобилизация. Fowler и соавт., Levine и Edwards также сообщили о таком же способе лечения подобных переломов и хорошем результате. Во всех вышеуказанных исследованиях авторы указывали, что смещение при переломе Jefferson может быть уменьшено или устранено осевой тракцией еще до наложения внешней иммобилизации. В 1998 г. А.А. Луциком и М.Н. Никитиным в эксперименте предложен инструмент для проведения пря-

мой хирургической репозиции переломов Jefferson трансоральным хирургическим доступом [2]. В исследовании Levine и Edwards 12 из 15 пациентов с переломами Jefferson или с переломом боковых масс сообщили о болях в шее после лечения Halo-иммобилизацией, но ни одному не потребовалось хирургическое лечение в связи с болью или нестабильностью (определенной как увеличение атлантоодонтоидного интервала более 5 мм на боковой рентгенографии, выполненной с функциональными пробами). L. Segal и соавт. сообщили о 18 пациентах с переломами атланта [44]. Всех пациентов лечили внешней иммобилизацией. Из 5 пациентов с изолированными переломами позвонка C1 несращение костных отломков было у 3. Среди этих 3 пациентов с псевдоартрозами у 2 был оскольчатый перелом боковой массы, связанный с костным разрывом среднего бугорка и поперечной связки (повреждения поперечной связки II типа по Dickman). В этих наблюдениях был плохой клинический результат. В позднем периоде 4 (22%) пациента отмечали боль, связанную с движением, ограничение диапазона движения, и 1 страдал от затылочной невралгии. Всех больных лечили консервативно. Авторы рекомендовали «максимально эффективную внешнюю иммобилизацию» для лечения для всех переломов атланта.

Таким образом, изолированные переломы атланта в большинстве сообщений, представленных в литературе, лечили внешней краниоцервикальной иммобилизацией в течение 8–12 нед. Формирование поздней нестабильности исключали с помощью рентгенографии в боковой проекции с использованием функциональных проб. Нестабильность, выявленную после окончания внешней иммобилизации, лечили хирургически с выполнением стабилизации позвонков C1–C2 или реже C0–C2 для предотвращения возможных неврологических осложнений [2,12,31,33,47]. Изолированные повреждения позвонка C1 могут быть классифицированы как: изолированные лигаментозные повреждения, костные повреждения и сочетанные повреждения. Костные повреждения в основном консолидируются удовлетворительно с условием, что сломанные костные фрагменты хорошо сопоставлены. Напротив, повреждения связочного аппарата плохо поддаются лечению с использованием только внешней иммобилизации. Вышеуказанные заключения формируют методологию для лечения изолированных переломов атланта. Большинство сообщений, посвященных переломам атланта, основаны на рентгенографических признаках оценки целостности поперечной связки через «правило Spence». Однако «правило Spence» не позволяет точно определить повреждение поперечной связки. Поэтому большинство исследований оценки целостности поперечной связки, изданных до появления работы Dickman и соавт., вероятно, не точны. Тем не менее, внешняя иммобилизация, обычно с использованием гало-аппарата, как при костных, так и при лигаментозных повреждениях в большинстве случаев дает хорошие результаты

[2,3,23,30,31,33,37]. Уникальность метода лечения с помощью Halo-аппарата заключается в сочетании эффекта жесткой фиксации с дозированным, точным корригирующим воздействием на сломанные позвонки [3]. Рентгенологические результаты лечения изолированных переломов атланта представляются весьма успешными. Случаи псевдоартрозов и нестабильности отмечены крайне редко [30,31]. Хотя клинические результаты не так хороши. M. Dvorak и соавт. ретроспективно исследовали пациентов с переломом Jefferson и отметили, что больные после лечения не восстановили свой прежний статус здоровья [12]. Большинство пациентов (91%) с отслеженным катамнезом лечили с использованием внешней иммобилизации. Цервикалгия в отдаленном периоде травмы присутствует у 20–80% пациентов после лечения внешней иммобилизацией, адизестезия скальпа и тугоподвижность в шейном отделе возникает у 56% [33]. Иногда возникает проседание основания черепа после перелома Jefferson, приводящее к базилярной инвагинации. При наличии указанных нарушений при катамнестическом наблюдении необходим тщательный анализ влияния метода лечения на результат является ли внешняя иммобилизация наилучшим методом лечения изолированных переломов атланта и какое место в лечении занимает хирургическая стабилизация как альтернатива внешней.

Лечение больных с сочетанными переломами позвонков C1–C2

Говоря о сочетанных переломах атланта, имеют в виду прежде всего комбинацию повреждений позвонков C1–C2. Сочетание перелома позвонка C1 с переломами других позвонков меньше влияет на тактику и результат лечения. Переломы позвонка C1 часто сочетаются с переломами позвонка C2, обычно с переломами зубовидного отростка (чаще II типа), реже с переломами ножек дуги C2 («перелом палача») или с переломами тела позвонка C2 в вертикальной плоскости. В 1989 г. C. Dickman и соавт. сообщили, что сочетанные повреждения позвонков C1–C2 встречаются у 3% от всех пациентов с травмой шейного отдела позвоночника [11]. Причем комбинация переломов C1 и C2 позвонков наблюдалась у 16% больных с переломами C2 позвонка и у 43% среди больных с переломами C1 позвонка. V. Gleizes и соавт. представили данные за 14-летний период наблюдений больных с комбинированными переломами верхнего шейного отдела позвоночника [18]. Авторы привели наблюдения 784 пациентов с повреждениями шейного отдела позвоночника, включая 116 — с переломами верхних шейных позвонков. У 31 (4%) пациента это были сочетанные повреждения позвонков C1–C2. Наиболее частыми сочетаниями авторы указали перелом задней дуги C1 и перелом зубовидного отростка C2 позвонка, перелом Джефферсона и перелом зубовидного отростка, «перелом палача» и перелом зубовидного отростка. Авторы указа-

ли, что 70% переломов атланта, 30% переломов зубовидного отростка и 30% «переломов палача» являются сочетанными.

Исторически комбинированные переломы позвонков C1 и C2 лечили последовательно, как было предложено Levine и Edwards, позволяя одному перелому (обычно C1) срастись, прежде чем применить окончательную стабилизацию позвонка C2.

В настоящее время отсутствуют установленные стандарты или руководящие принципы для лечения сочетанных переломов позвонков C1—C2. Возможные варианты лечения сочетанных повреждений позвонков C1—C2 включают тракцию с последующей иммобилизацией, полуригидную иммобилизацию головодержателем, ригидную иммобилизацию (галоаппарат, ортез «Минерва»), спондилодез C1—C2 с задней или передней стабилизацией, трансодонтоидную стабилизацию.

Прежде всего подход к лечению основан на природе перелома позвонка C2 и на целостности поперечной связки. В большей части сообщений указывается на применение ригидной внешней иммобилизации [11,22,44]. Особенно если на рентгенограммах, выполненных в положении стоя и лежа, при иммобилизации пациента внешним ортезом не выявлены признаки нестабильности [3,10,23,24,30,31]. Хирургическая стабилизация и спондилодез могут быть предложены для переломов зубовидного отростка II типа, связанного с увеличением атлантоодонтоидного интервала более чем на 5 мм и для «переломов палача», связанных с угловой деформацией в сегменте C2—C3 более 11 градусов [23,28]. Также хирургическую стабилизацию позвонков C1—C2 рекомендуют при повреждении поперечной связки I типа и вертикальной атлантоаксиальной нестабильности вследствие повреждения вертикальной порции крестообразной связки [9—11,16—18].

Целостность лигаментозного комплекса краниовертебрального сочленения (C0—C1) определяет, достаточна ли стабилизация позвонков C1—C2 или необходима стабилизация на уровне C0—C2 или C0—C3. Если имеется атлантоокципитальная дислокация, то рекомендуют окципитоспондилодез [19—22]. Также окципитоспондилодез предлагают при повреждениях атланта, препятствующих проведению стабилизации C1—C2 [11]. Некоторые авторы предлагают окципито-цервикальную стабилизацию у всех пациентов, потому как метод имеет минимальные осложнения по сравнению с атлантоаксиальной стабилизацией [30].

В. Guiot и R. Fessler в 1999 г. описали серию наблюдений из 10 пациентов, пролеченных с использованием хирургической передней трансодонтоидной стабилизации, задней трансартикулярной стабилизации и комбинации этих двух методов [22]. Из этих больных 5 до этого неудачно лечили с использованием гало-иммобилизации. У 9 имела комбинация перелома C1 позвонка II типа и перелома зубовидного отростка и у 1 — перелом C1 позвонка III типа и перелом зубовидного отростка. Один пациент умер от причины, не связанной с хирургическим вмешательством. У выживших больных достигнут надежный кост-

ный блок. Авторы рекомендовали хирургическое лечение пациентам, у которых невозможно достичь хорошей репозиции, невозможно удержать репозированные отломки с помощью внешней иммобилизации, и пациентам с высоким риском псевдоартроза.

Таким образом, в настоящее время не существует определенного мнения о необходимости хирургического лечения переломов атланта и остается неясным вопрос о преимуществах хирургического и нехирургического методов лечения. Основным методом хирургического лечения переломов атланта является проведение фиксации позвонков C1 и C2. Существует большое количество работ, посвященных технике и сравнению методов проведения данного вмешательства [5,36,38,39,46,47,49], но отсутствуют четкие рекомендации по применению данного метода к повреждениям атланта.

Анатомические и биомеханические аспекты стабилизации краниовертебрального сочленения

Краниовертебральное сочленение, которое включает затылочную кость, мышелки, атлант и аксис, отличается от субаксиального шейного отдела позвоночника своей анатомией, формой и ориентацией суставов и отношением к позвоночной артерии. В свете этой анатомической уникальности были предложены специализированные хирургические методы для процедур стабилизации, вовлекающих краниовертебральную область. Необходимо всестороннее понимание региональной анатомии и кинематических свойств краниовертебрального сочленения, чтобы достигнуть безопасной и надежной фиксации. Большинство описанных техник проведения стабилизации позвонков C1—C2 относятся к заднему доступу. Попытка хирургической стабилизации позвонков C1—C2 из заднего доступа была принята впервые в 1910 г., когда Mixter и Osgood описали использование прочной шелковой нити для связывания задней дуги C1 позвонка и остистого отростка C2 между собой. В 1939 г. Gallie первым описал использование субламинарного проведения проволоки для атлантоаксиальной фиксации [15]. В технике Gallie виток проводился под дугой C1 и образовывал петлю вокруг остистого отростка C2, с фиксацией единственного костного аллотрансплантата, помещенного между дугами позвонков C1 и C2. Способ Gallie обладал хорошей стабильностью при сгибательно-разгибательных движениях, но был крайне недостаточен для достижения вращательной стабильности и трансляции в сагиттальной плоскости. Техника Brooks—Jenkins, предложенная в 1978 г., использует 2 отдельных аутооттрансплантата, помещаемых с обеих сторон от средней линии между дугами позвонков C1 и C2 и скрепляемых субламинарно проволокой под дугами C1 и C2 [7]. Данный метод обеспечивает большую вращательную стабильность и частоту костного блока по сравнению с техникой Gallie.

В начале 90-х годов прошлого столетия Dickman и соавт. описали технику Sonntag, модификацию техники Gallie, которая улучшала вращательную стабильность без проведения субламинарного витка под пластиной C2, как в технике Brooks—Jenkins. В технике Sonntag проволоку проводили субламинарно под дугой C1 в краниальном направлении, подвздошный аутоотрансплантат «Н-образной» формы помещали между нижним краем дуги C1 и верхним краем остистого отростка C2, петлю проволоки проводили над костным трансплантатом и закрепляли петлей вокруг остистого отростка C2. Два других свободных конца проволоки проводили под трансплантатом, удерживая его от смещения в позвоночный канал, а свободные концы затягивали и завязывали вокруг остистого отростка C2. После операции всем пациентам проводили гало-фиксацию в течение 3 мес и затем фиксацию жестким голодержателем в течение 2-3 мес. Dickman и соавт. сообщили о 97% свершившегося костного блока. В настоящее время данную технику обычно применяют с одним из видов винтовой стабилизации для получения трехточечной фиксации сегмента и создания костного блока.

Фиксация межпластинчатыми зажимами была предложена Tucker в 1975 г. Данный метод не получил широкого распространения среди хирургов. Межпластинчатые зажимы, в отличие от техники связывания, не требуют прохода под дугами. Их крепят за верхнюю поверхность дуги C1 и нижнюю поверхность дуги C2. Костные трансплантаты C2 могут быть помещены между дугами и удерживаться контракцией зажимами. Также, как и вышеописанные техники, метод эффективен в ограничении сгибательно-разгибательных движений, но не обеспечивает вращательную стабильность и не препятствует трансляции в сагиттальной плоскости. Также метод имеет технические неудобства, связанные с имплантацией системы и прилеганием крючковых элементов к пластине дуги C1 [9]. Также данные системы стабилизации в контексте использования при травме атланта не могут применяться у пациентов с переломом задних структур и у пациентов, которым требуется ламинэктомия для декомпрессии [48].

Винтовые техники являются следующим шагом в развитии атлантоаксиальной стабилизации и имеют преимущества перед лигатурными.

Задняя трансартикулярная фиксация позвонков C1 и C2

В 1992 г. В. Jeanneret и F. Magerl описали технику трансартикулярной винтовой фиксации позвонков C1 и C2 для лечения переломов зубовидного отростка, сопровождающихся нестабильностью [28]. Эта техника применима приправляемых вывихах позвонка C1. Также применение данной техники возможно у пациентов с переломами задних структур и у пациентов, которым показана декомпрессивная ламинэктомия. Данный вид фиксации полностью исключает

вращательное движение в атлантоаксиальных суставах и имеет один из самых минимальных показателей несращений, особенно при сочетании с ламинарной фиксацией [10, 13, 19, 27]. Прохождение винтов через 4 кортикальных слоя обеспечивает значительную стабильность. Неудобства включают сложность операции, риск повреждения позвоночной артерии, подязычного нерва и спинного мозга [8,10,13,14,30]. Чтобы избежать повреждения позвоночной артерии, необходимо до операции произвести тонкосрезовую КТ с многоплоскостными реконструкциями, а также выполнить КТ-ангиографию позвоночных артерий [4,19—21,47,48]. Это позволяет идентифицировать аномальное прохождение артерии и избежать установки винта с этой стороны [13,28]. Аномальное прохождение одной из вертебральных артерий встречается довольно часто (от 5 до 20% больных), двустороннее аномальное прохождение отмечается значительно реже [4]. Также техника связана с травматизацией мягких тканей при скелетировании задних структур позвонков C1 и C2 [29]. В 2012 г. группой авторов проведен мета-анализ использования задней трансартикулярной стабилизации позвонков C1—C2, включивший 45 исследований с общим количеством 2073 пациентов [13]. В результате получены результаты: 94,6% успешных костных сращений; 7,1% клинически значимых мальпозиций винтов и 3,1% повреждений позвоночной артерии.

Стабилизация позвонка C2 педикулярными винтами и позвонка C1 — винтами через боковые массы

В 1994 г. А. Goel и Laheri описали технику фиксации позвонков C1 и C2, используя винты, проведенные в боковые массы C1, и транспедикулярные винты в C2 с использованием пластины в качестве связующего элемента [20]. Они же предложили пересечение корешка C2 для улучшения доступа к боковой массе C1. В 2001 г. Harms и Melcher видоизменили технику, используя полиаксиальные винты с балками, что позволило избежать пересечения нервных корешков [26]. В 2001 г. М. Тап и соавт. описали возможность в ряде случаев проводить винты в латеральные массы через пластину дуги C1 (при толщине дуги C1 5 и более мм). Это существенно упрощает обнажение точки введения винтов в позвонок C1 [46].

Преимущество винтовых техник, в отличие от проволоочной фиксации, состоит в том, что нет необходимости в выравнивании анатомических взаимоотношений в сегменте C1—C2 перед установкой винтов, а также в том, что может быть выполнена ламинэктомия [14]. Биомеханические исследования показали большее усилие на вырывание у транспедикулярных винтов в сравнении с винтами, проведенными в C2 через *pars interarticularis* и трансламинарно [27,34, 38, 39,43].

Транспедикулярное проведение винта в C2 имеет меньший риск повреждения позвоночной артерии, дает возможность проведения нейро-

хирургической декомпрессии, позволяет создать рычаг для вправления дислокаций. Также обнажение атлантоаксиальных суставов во время процедуры позволяет провести их декортикацию и внедрение аутокостных фрагментов для создания спондилодеза [20, 21]. В 2007 г. Goel и соавт. предложили технику, объединяющую методы трансартикулярной фиксации с проведением винтов в боковые массы атланта.

Проведение винта в *pars interarticularis* позвонка C2 во многом похоже на трансартикулярную фиксацию позвонков C1 и C2, с тем отличием, что винт не проходит через атлантоаксиальный сустав. Проекция хода через истмический отдел аналогична, но длина винта значительно короче. Возможные осложнения такие же, как при трансартикулярной фиксации, но прочность таких винтов на вырывание ниже, чем при транспедикулярном проведении [28,34,39,43,48].

Трансламинарное проведение винта в позвонок C2

В 2004 г. Wright описал трансламинарное размещение винтов в позвонке C2 для стабилизации позвонков C1 и C2 с минимальным риском повреждения позвоночной артерии [49]. Эта техника была предложена как запасной вариант в случае неудачи транспедикулярного проведения винта в C2 и при высокоидущих аномальных позвоночных артериях. Биомеханический анализ в эксперименте на трупах показал, что двусторонняя трансламинарная фиксация превосходит фиксацию винтами в *pars interarticularis* по силе вкручивания и усилию на вырывание [34]. Потенциальные осложнения метода включают перфорацию пластины дуги с выходом винта в позвоночный канал с повреждением спинного мозга или возможной ликвореей.

Передняя трансартикулярная фиксация позвонков C1 и C2

Техника передней трансартикулярной фиксации была описана Barbour в 1971 г. Однако метод не получил значительного распространения. В 2005–2006 гг. метод был описан повторно и рассмотрены положительные стороны и выполнимость этой процедуры [32]. Достоинствами метода являются положение больного на спине, значительно меньшая травматичность в исполнении, так как отсутствует необходимость в диссекции паравerteбральных мышц, возможность выполнить артродез атлантоаксиальных суставов и прямой остеосинтез зубовидного отростка из одного доступа. Метод дает практически такую же стабильность, как и задняя трансартикулярная фиксация [6,32]. К недостаткам процедуры можно отнести необходимость использования двухплоскостного рентгенконтроля и сложность ангуляции инструментов у пациентов с высоким стоянием грудины [9]. В 2012 г. группа авторов предложили дополнять переднюю трансартику-

лярную фиксацию, выполненную из мини-инвазивного доступа, атлантоаксиальным спондилодезом под эндоскопическим контролем [29].

Заключение

Переломы атланта встречаются изолированно или в комбинации с переломами аксиса. Неврологические нарушения встречаются нечасто, в основном при сочетании с переломами аксиса или позвонков субаксиального отдела. Диагностика переломов атланта требует обязательного использования КТ и МРТ с многоплоскостными реконструкциями. Подходы к лечению переломов атланта основаны на целостности поперечной связки для изолированных повреждений и зависят от типа перелома C2 или субаксиальных позвонков при комбинации с другими повреждениями. Внешняя иммобилизация Halo-аппаратом является эффективным методом лечения изолированных переломов атланта, исключая пациентов с нестабильностью, выявляемой на рентгенограммах с выполнением функциональных проб, и пациентов с повреждениями поперечной связки I типа. Вопрос о необходимости и возможных преимуществах хирургической стабилизации переломов атланта по сравнению с лечением внешней иммобилизацией требует дальнейшего изучения.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Антонов Андрей Владимирович — заведующий отделением нейрохирургии ГБУЗ «Сахалинская областная клиническая больница». 693013, г. Южно-Сахалинск, Мира, 430. E-mail: aantonov02@gmail.com

Некрасов Михаил Алексеевич — к.м.н., врач 2-го нейрохирургического отделения, НИИ СП им. Н.В. Склифосовского. Адрес: 107045 г. Москва, Большая Сухаревская площадь, дом 3. E-mail: manekrasov@bk.ru

Гринь Андрей Анатольевич — д.м.н., ведущий научный сотрудник отделения неотложной нейрохирургии НИИ СП им. Н.В. Склифосовского, профессор кафедры нейрохирургии и нейрореанимации МГМСУ. 107045 г. Москва, Большая Сухаревская площадь, д. 3. E-mail: Aagreen@yandex.ru

Львов Иван Сергеевич — к.м.н., врач нейрохирургического отделения для лечения больных с сосудистыми заболеваниями головного мозга, НИИ СП им. Н.В. Склифосовского. 107045 г. Москва, Большая Сухаревская площадь, д. 3. E-mail: Speleolog@mail.ru

ЛИТЕРАТУРА/ REFERENCES

1. Grin', A. A. Povrezhdenie pozvonochnoj arterii pri travme shejnogo otdela pozvonochnika [Injury of the vertebral artery in the cervical spine trauma] / A. A. Grin', E. N. Gorohova. *Neirohirurgija* 2002;3:65–71. Russian (Гринь А.А., Горохова Е.Н. Повреждение позвоночной артерии при травме шейного отдела позвоночника. Нейрохирургия 2002; 3: 65–71).

2. Lucik A.A., Ratkin I.K., Nikitin M.N. Kraniovertebral'nye povrezhdenija i zabolovanija [Craniovertebral junction injuries and disease. Novosibirsk, 1998. 552 s. Russian (Луцик А.А., Раткин И.К., Никитин М.Н. Краниовертебральные повреждения и заболевания. Новосибирск, 1998. — 552 с.: ил).
3. Ramih Je.A. Povrezhdenija verhneshenogo otdela pozvonochnika: diagnostika, klassifikacii, osobennostilechenij a [Injuries of the upper cervical spine: diagnosis, classification, characteristics of treatment. *Spine surgery* 2004; 3: 8—19. Russian (Рамих Э.А. Повреждения верхнешейного отдела позвоночника: диагностика, классификации, особенности лечения. Хирургия позвоночника 2004;3: 8—19).
4. Abtahi A.M., Brodke D.S., Lawrence B.D. Vertebral Artery Anomalies at the Craniovertebral Junction: A Case Report and Review of the Literature. *Evid Based Spine Care J* 2014;5(2):121—126.
5. Ahmed R., Traynelis V.C., Menezes A.H. Fusions at the craniovertebral junction. *Childs Nerv Syst* 2008; 24(10):1209—1224.
6. Bambakidis N.C. Surgery of the craniovertebral junction, 2nd edition / Bambakidis N.C., Dickman C.A., Spetzler R.F., Sonntag V.K.H. — Thieme: New York, 2012. — P. 560.
7. Brooks A.L., Jenkins E.B. Atlanto-axial arthrodesis by the wedge compression method. *J Bone Joint Surg Am* 1978;60(3):279—284.
8. Cacciola F., Phalke U., Goel A. Vertebral artery in relationship to C1—C2 vertebrae: an anatomical study. *Neurol India* 2004;52(2):178—184.
9. Daniel S. Yanni, Noel I. Perin, Fixation of the Axis. *Neurosurgery* 2010; :66:147—152.
10. Dickman C.A., Greene K.A., Sonntag V.K.H. Injuries involving the transverse atlantal ligament: classification and treatment guidelines based upon experience with 39 injuries. *Neurosurgery* 1996; 38: 44—50.
11. Dickman C.A., Hadley M.N., Browner C., Sonntag V.K. Neurosurgical management of acute atlas-axis combination fractures: a review of 25 cases. *J Neurosurgery* 1989; 70: 45—49.
12. Dvorak M.F., Johnson M.G., Boyd M., Johnson G., Kwon B. K., Fisher C. G. Long-term health-related quality of life outcomes following Jefferson-type burst fractures of the atlas. *J Neurosurg Spine* 2005;2(4):411—417.
13. Elliott R.El., Tanweer O., Boah A., Morsi A., Ma T., Frempong-Boadu A., Smith M.L. Atlantoaxial fusion with transarticular screws: meta-analysis and review of the literature .*World Neurosurg* 2013; 80(5): 627—641.
14. Fiore A.J., Haid R.W., Rodts G.E., et al. Atlantal lateral mass screws for posterior spinal reconstruction: technical note and case series. *Neurosurg Focus* 2002;12(1):5.
15. Gallie W.E. Fractures and dislocations of the cervical spine. *Am J Surg* 1939; 46: 495—499.
16. Gebauer M., Goetzen N., Barvencik F., et al. Biomechanical analysis of atlas fractures: a study on 40 human atlas specimens. *Spine (Phila Pa 1976)* 2008;33(7): 766—770.
17. Gehweiler J., Duff D., Salutaris M., Miller M., Clark M. Fractures of the atlas vertebra. *Skeletal Radiol* 1976;23: 97—102.
18. Gleizes V., Jacquot F.P., Signoret F., Feron J.M. Combined injuries in the upper cervical spine: clinical and epidemiological data over a 14-year period. *Eur Spine J* 2000;9 (5):386—392.
19. Gluf W.M., Schmidt M.H., Apfelbaum R.I. Atlantoaxialtransarticular screw fixation: a review of surgical indications, fusion rate, complications, and lessons learned in 191 adult patients. *J Neurosurg Spine* 2005; 2(2):155—163.
20. Goel A., Desai K.I., Muzumdar D.P. Atlantoaxial fixation using plate and screw method: a report of 160 treated patients. *Neurosurgery* 2002;51(6):1351—1357.
21. Goel A., Kulkarni A.G., Sharma P. Reduction of fixed atlantoaxial dislocation in 24 cases: technical note. *J Neurosurg Spine* 2005;2(4):505—509.
22. Guiot B., Fessler R.G. Complex atlantoaxial fractures. *J Neurosurg* 1999;91(2 suppl):139—143.
23. Hadley M.N. Isolated fractures of the axis in adults. *J Neurosurgery. Suppl.* 2002;50:3:125—139.
24. Hadley M.N. Management of combination fractures of the atlas and axis in adults. *Neurosurgery* 2002;50:140—147.
25. Hadley M.N., Dickman C.A., Browner C.M., Sonntag V.K. Acute traumatic atlas fractures: management and long term outcome. *Neurosurgery* 1988;23(1):31—35.
26. Harms J., Melcher R.P. Posterior C1—C2 fusion with polyaxial screw and rod fixation. *Spine (Phila Pa 1976)* 2001;26(22):2467—2471.
27. Hdrtl R., Chamberlain R.H., Fifield M.S., Chou D., Sonntag V.K., Crawford N.R. Biomechanical comparison of two new atlantoaxial fixation techniques with C1—2 transarticular screw-graft fixation. *J Neurosurg Spine* 2006; 5(4):336—342.
28. Jeanneret B., Magerl F. Primary posterior fusion C1/2 in odontoid fractures: indications, technique, and results of transarticular screw fixation. *J Spinal Disord* 1992;5(4):464—475.
29. Jian Wang, Yue Zhou, ZhengFeng Zhang, Chang Qing Li, Wen JieZheng, and Yuan Zhang. Minimally invasive anterior transarticular screw fixation and microendoscopic bone graft for atlantoaxial instability. *Eur Spine J* 2012; 21(8):1568—1574.
30. Kackar U.K., Chang S.W., Theodore N., Sonntag V.K. Atlas Fractures. *Neurosurgery* 2010; 66 (3 Suppl):60—70.
31. Kesterson L., Benzel E.C., Orrison W., Coleman J. Evaluation and treatment of atlas burst fractures (Jefferson fractures). *J Neurosurgery* 1991;75:213—220.
32. Koller H., Kammermeier V., Ulbricht D., et al. Anterior retropharyngeal fixation C1—2 for stabilization of atlantoaxial instabilities: study of feasibility, technical description and preliminary results. *Eur Spine J* 2006; 15(9):1326—1338.
33. Landells C.D., Van Peteghem P.K. Fractures of the atlas: classification, treatment and morbidity. *Spine* 1988; 13: 450—452.
34. Lehman R.A. Jr, Dmitriev A.E., Helgeson M.D., Sasso R.C., Kuklo T.R., Riew K.D. Salvage of C2 pedicle and pars screws using the intralaminar technique: a biomechanical analysis. *Spine* 2008; 33(9):960—965.
35. Levine A.M., Edwards C.C. Fractures of the atlas. *J Bone Joint Surg Am* 1991; 73A:80—691.
36. Magerl F., Seemann P.S. Stable posterior fusion of the atlas and axis by transarticular screw fixation. *Cervical Spine* 1987; 1: 217—221.
37. Martin M.D., Bruner H.J., Maiman J.D. Anatomic and Biomechanical Considerations of the Craniovertebral Junction. *Neurosurgery* 2010; 66:2—6.
38. Menendez J.A., Wright N.M. Techniques of posterior C1—C2 stabilization. *Neurosurgery* 2007;60:103—111.
39. Mummaneni P.V., Haid R.W. Atlantoaxial fixation: overview of all techniques. *Neurol India* 2005;53(4):408—415.
40. Oda T., Panjabi M.M., Crisco J.J., Oxland T.R., Katz L., Nolte L.P. Experimental study of atlas injuries: part II — relevance to clinical diagnosis and treatment. *Spine. Suppl.* 1991; 16 (10):466—673.
41. Panjabi M.M., Oda T., Crisco J.J., Oxland T.R., Katz L., Nolte L.P. Experimental study of atlas injuries: part I — biomechanical analysis of their mechanisms and fracture patterns. *Spine. Suppl.* 1991;16 (10): 460—465.
42. Panjabi M.M., Oxland T.R., Parks E.H. Quantitative anatomy of cervical spine ligaments. Part I. Upper cervical spine. *J Spinal Disord* 1991; 4:270—276.
43. Richter M., Schmidt R., Claes L., Puhl W., Wilke H.J. Posterior atlantoaxial fixation: biomechanical in vitro comparison of six different techniques. *Spine* 2002;27(16):1724—1732.
44. Segal L.S., Grimm J.O., Stauffer E.S. Non-union of fractures of the atlas. *J Bone Joint Surg Am* 1987; 69A:1423—1434.
45. Skuld G. Fractures of the neural arch and odontoid process of the axis: a study of their causation. *Z Rechtsmed* 1978;82(2):89—103.
46. Tan M., Wang H., Wang Y., et al. Morphometric evaluation of screw fixation in atlas via posterior arch and lateral mass. *Spine* 2003;28(9):888—895.
47. Tessitore E., Momjian A., Payer M. Posterior reduction and fixation of an unstable Jefferson fracture with C1 lateral mass screws, C2 isthmus screws, and crosslink fixation: technical case report. *Neurosurgery* 2008;63(1 Suppl 1):100—101.
48. Vender J.R., Rekito A.J., Harrison S.J., McDonnell D.E. The evolution of posterior cervical and occipitocervical fusion and instrumentation. *Neurosurg Focus* 2004;16(1):9.
49. Wright N.M. Translaminar rigid screw fixation of the axis. Technical note. *J Neurosurg Spine* 2005;3(5):409—414.