

Слынько Е.И., Нехлопочин А.С.

Институт нейрохирургии им. акад. А.П. Ромоданова НАМН Украины, г. Киев, Украина

Оптимизация хирургической коррекции сагиттального контура позвоночно-двигательного сегмента при выполнении вентрального субаксиального цервикоспондилодеза

Резюме. Актуальность. Наиболее распространенной системой стабилизации при выполнении вентральных декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств на субаксиальном уровне шейного отдела позвоночника является комбинация вертикального цилиндрического сетчатого импланта и вентральной пластины. Несмотря на значительный клинический опыт применения, в настоящее время отсутствует единое мнение касательно оптимальной коррекции высоты оперированного позвоночно-двигательного сегмента и формирования определенного сегментарного профиля в зоне хирургического вмешательства.

Цель: улучшить показатели состояния сагиттального кифоза оперированного сегмента в отдаленном послеоперационном периоде у пациентов, перенесших вентральный субаксиальный цервикоспондилодез.

Материалы и методы. Выполнены ретроспективная оценка и спондилограмметрический анализ состояния сагиттального кифоза у 151 пациента, перенесших вентральный бисегментарный субаксиальный цервикоспондилодез в связи с травматическим повреждением. Произведен статистический анализ и определена зависимость финальных результатов от степени проведенной интраоперационной коррекции. Верифицированы диапазоны интраоперационных значений сагиттального кифоза оперированного позвоночно-двигательного сегмента, формирующие различные биомеханические ответы шейного отдела позвоночника в отдаленном послеоперационном периоде. **Результаты.** Методом нелинейного регрессионного анализа определена зависимость финальных от исходных показателей состояния сегментарного кифоза оперированного сегмента. Кластерный анализ выявил следующие диапазоны интраоперационных значений сегментарного кифоза: $< -6,15^\circ$; $-6,15^\circ \dots -3,10^\circ$; $> -3,10^\circ$, которые определяют различную динамику послеоперационных изменений. **Выводы.** Интраоперационная коррекция с формированием кифоза в диапазоне $-6,15^\circ \dots -3,10^\circ$ является оптимальной для сохранения физиологической кривизны оперированного сегмента в отдаленном послеоперационном периоде.

Ключевые слова: цервикоспондилодез; вертикальный цилиндрический сетчатый имплант; сегментарный кифоз; нелинейный регрессионный анализ; кластерный анализ

Введение

Вентральные декомпрессивно-стабилизирующие вмешательства являются наиболее распространенным методом хирургической коррекции травматических повреждений шейного отдела позвоночника (ШОП) на субаксиальном уровне, сопровождающихся компрессией невральных структур [23, 24]. Это связано с тем, что в более чем 90 % случаев сдавление спинного мозга, его оболочек и корешков происходит за счет де-

формации передних отделов позвоночного канала [1, 3, 4]. Наибольшая подверженность травматическим повреждениям передней и средней опорных колонн объясняется особенностями анатомо-физиологических характеристик, кинематики и биомеханики позвоночно-двигательного сегмента (ПДС), поскольку около 90 % контактной площади между смежными позвонками приходится на их тела, которые несут до 80 % нагрузки позвоночного двигательного сегмента [26].

Хирургическая коррекция предусматривает устранение сдавления спинного мозга путем частичного или полного удаления компремированного тела позвонка, заполнение образовавшегося костного дефекта аутокостью или ее заменителями с целью создания условий для формирования костного сращения позвонков, смежных с резецированным, восстановление шейного сагиттального профиля и стабилизацию оперируемого сегмента [2, 9].

Первично разработанный передний спондилодез аутокостью в течение значительного периода времени применялся как наиболее распространенный способ хирургического лечения, а золотым стандартом считалось использование кортикально-губчатых костных аутоотрансплантатов из крыла подвздошной кости [16, 22]. Между тем межтеловой спондилодез только аутокостью не всегда является достаточно эффективным. Так, по данным ряда исследований, в 29–68 % случаев отмечается смещение трансплантата; потеря коррекции сагиттального контура оперированного сегмента за счет функциональной перестройки трансплантатов составляет 5–10 %; консолидация не наступает у 33 % больных; кифоз в позднем периоде травмы наблюдается в 38–64 % случаев [10]. Предложенное позднее комбинированное использование аутоотрансплантата и вентральной пластины не позволило в полной мере избежать вышеописанных осложнений [17].

Последние несколько десятилетий в качестве телозамещающей конструкции широко применяется вертикальный цилиндрический сетчатый имплантат (ВЦСИ) [14]. Анализ данных литературы демонстрирует высокую клиническую эффективность комбинированного применения ВЦСИ и вентральной ригидной пластины (РП) [27]. В то же время ряд авторов сообщает о достаточно высокой частоте неудовлетворительных результатов, проявляющихся пролабированием ВЦСИ в тела позвонков (7,04–23,8 %), выкручиванием и миграцией винтов (1,1–8,0 %), смещением ВЦСИ и РП (9,8–30,4 %), фрагментацией имплантированных систем с потерей интраоперационной коррекции и нарастанием неврологических расстройств [6, 13].

Несмотря на достаточно противоречивую оценку, в настоящее время комбинированное использование ВЦСИ и вентральной ригидной пластины *de facto* является стандартом декомпрессивно-стабилизирующих хирургических вмешательств на субаксиальном уровне ШОП [25]. При этом технические вопросы хирургической коррекции освещены достаточно скудно. В настоящее время отсутствует единое мнение касательно оптимальной коррекции высоты оперированного ПДС и формирования определенного сегментарного профиля ШОП в зоне хирургического вмешательства [21]. Субъективный подход к данному вопросу зачастую приводит к неудовлетворительным результатам и потере достигнутой коррекции в отдаленном послеоперационном периоде [5].

Цель: улучшить показатели состояния сагиттального кифоза оперированного сегмента в отдаленном послеоперационном периоде у пациентов, перенесших

вентральный субаксиальный цервикоспондилодез с применением комбинации ВЦСИ и вентральной ригидной пластины.

Материалы и методы

Реализация поставленной цели достигалась последовательным выполнением следующих задач:

1. Ретроспективная оценка и спондилограмметрический анализ состояния сагиттального кифоза оперированного ПДС непосредственно после выполнения корпородеза и через 1 год.

2. Статистический анализ и выявление зависимости финальных результатов от степени проведенной интраоперационной коррекции.

3. Определение диапазонов интраоперационных значений сагиттального кифоза оперированного ПДС, формирующих различные биомеханические ответы ШОП в отдаленном послеоперационном периоде.

Анализ клинических случаев. Проведен ретроспективный анализ результатов хирургического лечения травматического повреждения ШОП у пациентов, находившихся в отделении патологии спинного мозга и позвоночника Института нейрохирургии им. А.П. Родоманова НАМН Украины в период с 2006 по 2016 г. Условиями включения в выборку служили:

- Наличие травматического повреждения шейного отдела позвоночника на субаксиальном (С3–С7) уровне, требующего декомпрессивно-стабилизирующего хирургического вмешательства.

- Выполненное оперативное лечение в объеме резекции тела компремированного позвонка и бисегментарного корпородеза с применением вертикального цилиндрического сетчатого импланта типа Mesh и ригидной вентральной пластины.

- Наличие в архиве клиники интраоперационных спондилограмм (произведенных после установки системы до ушивания раны) и контрольных рентгенограмм, выполненных в сроке 12–14 месяцев с момента хирургического вмешательства.

Всего отобран 151 клинический случай, которые соответствуют вышеуказанным параметрам.

Техника хирургического вмешательства. В положении на спине с легкой экстензией ШОП выполнялся вентролатеральный доступ по методу Смитт — Робинсона. После смещения сосудисто-нервного пучка латерально и пищевода медиально тупо выделялась вентральная поверхность тел позвонков, компремированных, а также выше- и нижележащих. После рентгенологической верификации уровня производилась резекция тела поврежденного позвонка с применением высокоскоростного остеотома, при этом крупные костные фрагменты извлекались конхотомом и сохранялись. После выполнения адекватной декомпрессии в случае необходимости ревизии эпидурального пространства вскрывалась и резецировалась задняя продольная связка. Замыкательные поверхности тел позвонков, смежных с резецированным, полностью очищались от остатков межпозвонковых дисков. На фоне осевой тракции в костный дефект устанавли-

вался предварительно заполненный костными фрагментами Mesh. При этом вертикальный размер конструкции формировался таким образом, чтобы создать умеренный лордоз в оперированном сегменте. После выполнения рентгенологического контроля и оценки адекватности сформированного сегментарного контура устанавливалась вентральная ригидная пластина, которая фиксировалась к телам позвонков, смежным с резецированным монокортикальными винтами, по два в каждое тело. Выполнялась финальная спондилография в боковой проекции, которая и служила предметом дальнейшего анализа. После контроля гемостаза рана ушивалась послойно наглухо, не дренировалась. В послеоперационном периоде шейный отдел фиксировался жестким головодержателем типа «Филадельфия». Послеоперационная длительность пребывания пациентов в стационаре составила 5–31 день, в зависимости от выраженности неврологических расстройств и степени тяжести соматического статуса. При выписке всем пациентам был рекомендован контрольный осмотр через 2–3 и 12 месяцев.

Техника спондилограмметрии. Рентгенограмметрическая оценка состояния оперированного ПДС выполнялась на основании показателя сегментарного кифоза (SK). Измерение осуществлялось двумя методами:

— Классическим методом измерения состояния сагитального контура является определение угла Кобба (УК) [19]. В нашем исследовании измерение УК выполнялось между контрлатеральными замыкательными пластинами позвонков, смежных с резецированным. При этом положительные значения полученного УК соответствовали кифотической деформации анализируемого ПДС, а отрицательные — лордозу. Необходимо отметить, что применительно к ШОП техника оценки УК имеет достаточно высокую погрешность, что связано со значительной анатомической изменчивостью замыкательных пластин шейных позвонков и степенью выраженности спондилеза. Это в определенной степени затрудняет проведение линии параллельно замыкательной пластине тела позвонка.

— В качестве альтернативного способа изменения применялся метод задних касательных (posterior tangent method), предполагающий проведение линий параллельно задней поверхности тел позвонков [12]. Применительно к ШОП методика является анатомически более обоснованной, однако требует для анализа спондилограмм более высокого качества.

С целью получения более объективных данных и уменьшения погрешности в работе анализировались значения, рассчитанные как среднее показателя SK, определенного разными методами. Обработка рентгенограмм выполнялась с применением программного продукта RadiAnt DICOM Viewer 4.2.1 demo version, позволяющего проводить измерения с точностью до $0,1^\circ$. Для каждого клинического случая определялось как интраоперационное значение сегментарного кифоза (SK_{int}), так и показатель контрольных рентгенограмм (SK_{fin}).

Статистический анализ. С целью реализации поставленной задачи нами была определена зависимость финальных показателей SK от значений интраоперационно достигнутой коррекции при выполнении вентрального декомпрессивно-стабилизирующего вмешательства. На основании анализа рентгенограмм рассчитано: $SK_{fin} = f(SK_{int})$.

С учетом специфики распределения анализируемых показателей с целью выявления математической зависимости применялся нелинейный регрессионный анализ способом наименьших квадратов. В качестве метода оптимизации использовался алгоритм Левенберга — Марквардта. Оценка пригодности модели осуществлялась путем вычисления коэффициента детерминации R^2 . С целью исключения излишних параметров модели анализировалась корреляционная матрица. Статистическая значимость рассчитанных коэффициентов модели оценивалась с использованием критерия согласования χ^2 . Анализ остатков выполнялся путем оценки нормальности распределения с применением критерия Колмогорова — Смирнова, а также анализа нормально-го и полунормального графиков.

Кластерный анализ выполнялся методом К-средних. Статистическая достоверность оценивалась на основании анализа сумм квадратов отклонений между центрами кластеров и сумм квадратов отклонений объектов от центра кластера.

Расчеты проведены с применением статистико-аналитического пакета Statistica 10.

Результаты

Полученные данные спондилограмметрических измерений представлены на рис. 1. При этом согласно вышеописанной методике анализировались средние показатели. При применении различных методов определения SK максимальная разница составила $1,2^\circ$, среднее значение разницы по модулю для всех клинических случаев — $0,284 \pm 0,046^\circ$, что свидетельствует о высокой сопоставимости результатов (корреляция $r = 0,97$).

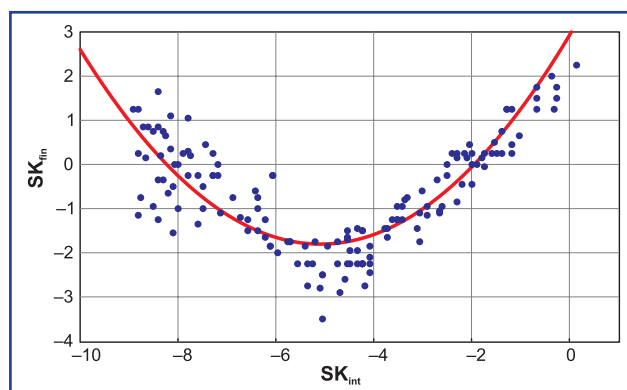


Рисунок 1. Зависимость показателей сагитального кифоза оперированного сегмента в отдаленном послеоперационном периоде от значений интраоперационной коррекции, а также прогностическая $SK_{fin} = f(SK_{int})$

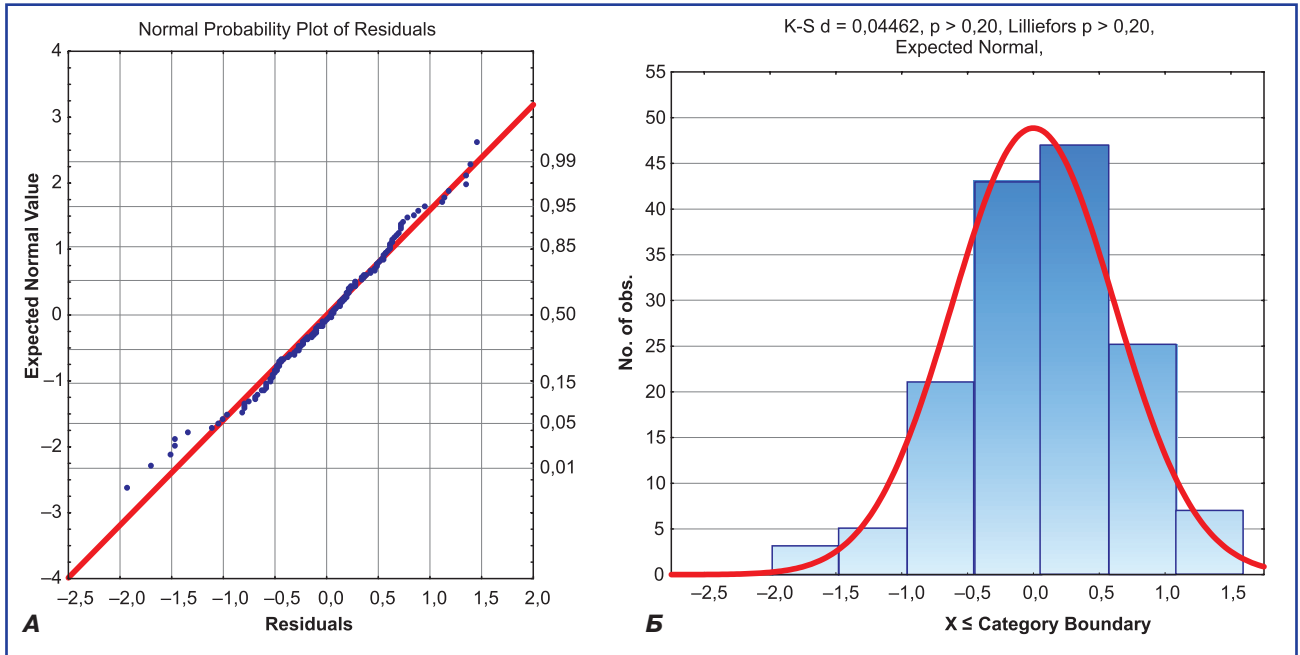


Рисунок 2. Оценка остатков. Нормальный график вероятности (А) и характеристика распределения (Б)

Визуальный анализ характера распределения позволяет предположить, что оптимальной функцией с наименьшим количеством коэффициентов является парабола ($y = ax^2 + bx + c$). При проведении соответствующих расчетов предположение подтверждается достаточно высоким значением коэффициента детерминации ($R^2 = 0,8914$). Параметры модели определены на третьей итерации.

В результате выявлена закономерность, максимально эффективно описывающая характер зависимости анализируемых показателей:

$$SK_{fin} = 0,182626 \cdot SK_{int}^2 + 1,85793 \cdot SK_{int} + 2,92143.$$

Анализ корреляционной матрицы достаточно убедительно демонстрирует отсутствие излишних составляющих приведенной формулы. Обращает на

себя внимание достаточно высокое значение корреляции a и b коэффициентов модели, что закономерно объясняется достаточно узким диапазоном исходных значений.

Результаты анализа остатков (рис. 2) также свидетельствуют в пользу адекватности полученной модели.

В табл. 2 приведены результаты статистической достоверности полученных параметров модели распределения.

Таким образом, проведенная оценка демонстрирует достаточно высокую репрезентативность и прогностическую эффективность полученной зависимости.

Следующим этапом анализа была оценка характера отклонения реальных показателей от прогнозируемых значений. Визуальная оценка графика распределения (рис. 1) позволяет условно выделить 3 диапазона SK_{int} ,



Рисунок 3. Результаты кластерного анализа. Распределение значений каждого кластера

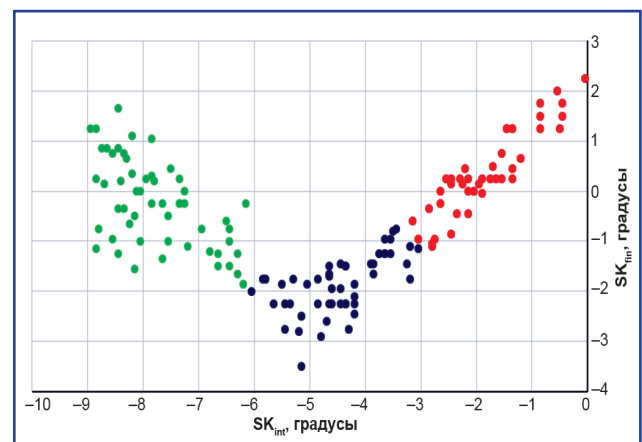


Рисунок 4. Распределение клинических случаев по группам, определенным методом кластерного анализа

цилиндрических имплантов. Первый клинический опыт применения ВЦСИ без дополнительной фиксации не увенчался значимым успехом ввиду крайне высокой частоты пролабирования конструкции в тела позвонков, смежных с резецированным. Комбинация ВЦСИ и ригидной вентральной пластины продемонстрировала достаточно высокую клиническую эффективность.

Анализ данных литературы позволяет выявить значительное количество работ, посвященных оценке эффективности указанной комбинации. Авторы рассматривают как биомеханические, так и клинические и рентгенологические аспекты. При этом результаты крайне вариабельны. Ряд исследователей демонстрирует 100% эффективность и безопасность рассматриваемого метода стабилизации, другие указывают на частоту неудовлетворительных результатов до 30 %.

Подобная диссоциация результатов, по всей видимости, обусловлена рядом факторов.

Во-первых, до настоящего времени не разработаны достаточно четкие критерии, которые бы позволили оценивать эффективность проведенного хирургического вмешательства. Известно, что клиническая симптоматика зачастую не соответствует рентгенологической картине. Так, прогрессирующая кифотическая деформация в послеоперационном периоде может достаточно долго не сопровождаться неврологическими расстройствами. В то же время эффективный спондилодез с сохранением сагиттального контура и оптимизированным распределением нагрузки на ШОП при грубой травме СМ может не приводить к явному регрессу неврологических расстройств.

Рассматривая состояние СК оперированного сегмента как критерий эффективности спондилодеза, на котором сделан акцент в настоящей работе, следует отметить, что трактовка результатов разными авторами весьма неоднозначна. Так, K. Narotam и соавт. на основании 4-летнего ретроспективного исследования оценивают потерю коррекции до 4° как отличную, а 5–9° — как хорошую [20]. В то же время ряд авторов допускает нарастание кифотической деформации до 10° в сравнении с интраоперационными показателями [8]. В других публикациях можно встретить достаточно аргументированные утверждения относительно того, что столь выраженная потеря коррекции при травматическом поражении ШОП зачастую вызывает достаточно значимые локальные ликвородинамические и сосудистые расстройства. Кроме того, нарушение конгруэнтности в фасеточных суставах в комплексе с поражением связочного аппарата заднего опорного комплекса может приводить к одно- либо двусторонним вывихам, обуславливающим достаточно высокий риск развития компрессионно-дисциркуляторного симптомокомплекса поражения нервных структур на уровне оперированного сегмента [18].

Во-вторых, абсолютное большинство публикаций, посвященных сочетанному применению ВЦСИ и вентральной пластины, оценивает результат выпол-

ненного хирургического вмешательства, а не результат лечения определенной патологии. Так, в выборке клинических случаев приведенных исследований зачастую присутствуют пострадавшие с травматическим повреждением позвоночника и пациенты с компрессионной миелопатией на фоне дегенеративных изменений позвоночника. Подобный подход, очевидно, не позволяет в полной мере объективно проводить сравнительный биомеханический анализ произведенного спондилодеза. Известно, что декомпрессивно-стабилизирующее вмешательство, выполненное в связи с изолированным травматическим повреждением переднего опорного комплекса ШОП, биомеханически не равноценно аналогичной хирургической манипуляции, произведенной при лечении шейной миелопатии. Так, например, отсутствие травматических повреждений лигаментозного аппарата заднего опорного комплекса, верифицированное применением МР- и СК-томографии, не дает абсолютной гарантии интактности указанных структур и не исключает перерастяжения связочно-капсульного аппарата заинтересованного ПДС.

При анализе результатов поиска в National Center for Biotechnology Information по ключевым словам cervical mesh cage за 5 последних лет характерным является то, что подавляющее большинство публикаций посвящено применению анализируемой комбинации при шейной миелопатии. При лечении же травматических повреждений большинство авторов отдают предпочтение 360° фиксации. Наряду с этим, однако, отмечается некоторая тенденция к минимизации хирургического воздействия [7]. Так, ряд работ убедительно демонстрирует эффективность изолированного вентрального спондилодеза даже при значимых повреждениях передних и задних опорных структур субаксиального отдела ШОП [15]. Эти данные в полной мере коррелируют с результатами наших исследований. Проведенный ретроспективный анализ достаточно убедительно демонстрирует высокую клиническую эффективность описанного метода хирургического лечения при условии технической адекватности исполнения с последующими клинически и биомеханически аргументированными этапами реабилитации. Такой подход, бесспорно, позволяет уменьшить как экономическую нагрузку, так и хирургическую травму, снизив риск послеоперационных осложнений и негативных ятрогенных последствий.

Третьим и, очевидно, наиболее значимым фактором является отсутствие единого подхода к технике выполнения хирургического вмешательства. Фактически при рассмотрении корпорозеда с применением ВЦСИ определяются два разных подхода, оказывающие влияние на финальные результаты [20]. Ряд хирургов при установке системы рекомендуют выполнять частичную резекцию замыкательных пластин тел позвонков, что на фоне спондилеза значительно повышает конгруэнтность с торцевой поверхностью имплантируемой конструкции. Однако за счет удаления кортикального слоя данный подход требует использования накладок

(end caps) с целью увеличения опорной поверхности импланта и профилактики пролабирования системы в тело позвонка [11].

Другим подходом является максимальное сохранение кортикального слоя замыкательных пластин, что, в свою очередь, позволяет исключить использование дополнительных элементов конструкции. В нашей работе мы применяли именно эту модификацию хирургического вмешательства, которую по ряду причин рассматривали как более целесообразную. Так, прорезывание зубцов конструкции в кортикальный слой замыкательной пластины и своеобразная адаптация в системе «имплант — кость» создают дополнительную стабилизацию и препятствуют дислокации конструкции. Использование торцевых накладок неизбежно уменьшает площадь контакта наполнителя конструкции с костной тканью и в определенной степени препятствует формированию костного блока. Таким образом, ВЦСИ, который фактически является клеткой для наполнителя, предназначенного для консолидации с телами позвонков, превращается в межтеловую распорку. Учитывая, что в долгосрочной перспективе именно формирование истинного спондилодеза, то есть костного сращения, является оптимальным и наиболее стабильным исходом хирургического вмешательства, применение торцевых накладок представляется нецелесообразным.

Приведенные данные демонстрируют причины возникновения широкого спектра финальных результатов аналогичных хирургических вмешательств, приведенных в литературе. Полученные нами данные отчасти согласуются с некоторыми из них. При этом следует отметить, что в основу приведенной работы легла концепция максимального возможного сохранения физиологической кривизны ШОП, что является, безусловно, оправданным даже в тех случаях, когда отклонение от желаемых значений СК не несет видимых негативных клинических последствий в пределах анализируемых сроков наблюдения.

Выводы

Проведенный анализ данных убедительно демонстрирует наличие взаимосвязи между значениями СК, достигнутыми во время операции, и показателями отдаленного послеоперационного периода. Интраоперационная коррекция с формированием СК в диапазоне $-6,15^\circ \dots -3,10^\circ$ является оптимальной для сохранения физиологической кривизны оперированного сегмента в отдаленном послеоперационном периоде.

Приведенный метод статистической обработки позволяет объективизировать параметры, которые зачастую определяются хирургами эмпирическим путем, и может быть использован для дальнейшего изучения клинико-биомеханических особенностей оперированного позвоночника.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии какого-либо конфликта интересов при подготовке данной статьи.

Список литературы

1. Барыш А.Е. Ошибки и осложнения при использовании заполненных аутокостью цилиндрических имплантатов в хирургии шейного отдела позвоночника [Текст] / А.Е. Барыш, Р.И. Бузницкий // *Ортопедия, травматология и протезирование*. — 2011. — № 4. — С. 29-33.
2. Нехлопочин А.С. Телозамещающие эндопротезы для переднего спондилодеза: обзор литературы [Текст] / А.С. Нехлопочин // *Хирургия позвоночника*. — 2015. — Т. 12, № 2. — С. 20-24.
3. Рамих Э.А. Эволюция хирургии поврежденных позвоночника в комплексе восстановительного лечения [Текст] / Э.А. Рамих // *Хирургия позвоночника*. — 2004. — № 1. — С. 85-92.
4. Aebi M. Surgical treatment of upper, middle and lower cervical injuries and non-unions by anterior procedures [Text] / M. Aebi // *Eur. Spine J.* — 2010. — Vol. 19, Suppl. 1. — P. 33-39.
5. Andaluz N. Long-term follow-up of cervical radiographic sagittal spinal alignment after 1- and 2-level cervical corpectomy for the treatment of spondylosis of the subaxial cervical spine causing radiculomyelopathy or myelopathy: a retrospective study [Text] / N. Andaluz, M. Zuccarello, C. Kuntz // *J. Neurosurg. Spine*. — 2012. — Vol. 16, № 1. — P. 2-7.
6. Anterior cervical locking plate-related complications; prevention and treatment recommendations [Text] / X. Ning, Y. Wen, Y. Xiao-Jian et al. // *Int. Orthop.* — 2008. — Vol. 32, № 5. — P. 649-655.
7. Anterior Surgical Fixation for Cervical Spine Flexion-Distractor Injuries [Text] / A. Jack, G. Hardy-St-Pierre, M. Wilson et al. // *World Neurosurg.* — 2017. — Vol. 101. — P. 365-371.
8. Assessing the amount of distraction needed for expandable anterior column cages in the cervical spine [Text] / M. Sewell, L. Rothera, O. Stokes et al. // *Ann. R. Coll. Surg. Engl.* — 2017. — Vol. 99, № 8. — P. 659-660.
9. Biomechanical testing of anterior cervical spine implants: evaluation of changes in strength characteristics and metal fatigue resulting from minimal bending and cyclic loading [Text] / S.-B. Kim, K.-H. Bak, J.-H. Cheong et al. // *J. Korean Neurosurg. Soc.* — 2005. — Vol. 37, № 3. — P. 217-222.
10. Cervical corpectomy: complications and outcomes [Text] / M. Boakye, C.G. Patil, C. Ho, S.P. Lad // *Neurosurgery*. — 2008. — Vol. 63, № 4 (Suppl. 2). — P. 295-302.
11. Cheung J.P.Y. Complications of Anterior and Posterior Cervical Spine Surgery [Text] / J.P.Y. Cheung, K.D.-K. Luk // *Asian Spine J.* — 2016. — Vol. 10, № 2. — P. 385-400.
12. Cobb method or Harrison posterior tangent method: which to choose for lateral cervical radiographic analysis [Text] / D.E. Harrison, D.D. Harrison, R. Cailliet et al. // *Spine (Phila. Pa. 1976)*. — 2000. — Vol. 25, № 16. — P. 2072-2078.
13. Daubs M.D. Early failures following cervical corpectomy reconstruction with titanium mesh cages and anterior plating [Text] / M.D. Daubs // *Spine (Phila. Pa. 1976)*. — 2005. — Vol. 30, № 12. — P. 1402-1406.
14. Dorai Z. Titanium cage reconstruction after cervical corpectomy [Text] / Z. Dorai, H. Morgan, C. Coimbra // *J. Neurosurg.* — 2003. — Vol. 99. — P. 3-7.
15. Feuchtbaum E. Subaxial cervical spine trauma [Text] / E. Feuchtbaum, J. Buchowski, L. Zebala // *Curr. Rev. Musculoskelet. Med.* — 2016. — Vol. 9, № 4. — P. 496-504.

16. Finkemeier C.G. Bone-grafting and bone-graft substitutes [Text] / C.G. Finkemeier // *J. Bone Joint Surg. Am.* — 2002. — Vol. 84—A, № 3. — P. 454-464.
17. History of instrumentation for stabilization of the subaxial cervical spine [Text] / I. Omeis, J.A. DeMattia, V.H. Hillard et al. // *Neurosurg. Focus.* — 2004. — Vol. 16, № 1 — P. 1-6.
18. Incidence and risk factors of poor clinical outcomes in patients with cervical kyphosis after cervical surgery for spinal cord injury [Text] / Y. Zhang, J. Li, Y. Li, Y. Shen // *Ther. Clin. Risk Manag.* — 2017. — Vol. 13. — P. 1563-1568.
19. Measurement variability in the assessment of sagittal alignment of the cervical spine: a comparison of the gore and Cobb methods [Text] / J.S. Silber, J.S. Lipetz, V.M. Hayes, B.S. Lonner // *J. Spinal Disord. Tech.* — 2004. — Vol. 17, № 4. — P. 301-305.
20. Narotam P.K. Titanium mesh cages for cervical spine stabilization after corpectomy: a clinical and radiological study [Text] / P.K. Narotam, S.M. Pauley, G.J. McGinn // *J. Neurosurg.* — 2003. — Vol. 99. — P. 172-180.
21. Prognostic Value of Lordosis Decrease in Radiographic Adjacent Segment Pathology After Anterior Cervical Corpectomy and Fusion [Electronic Resource] / Y. Liu, N. Li, W. Wei et al. // *Sci. Rep.* — 2017. — Vol. 7, № 1. — P. 14414. doi: 10.1038/s41598-017-14300-4. URL: <http://www.nature.com/articles/s41598-017-14300-4>.
22. Robertson P.A. Natural history of posterior iliac crest bone graft donation for spinal surgery: a prospective analysis of morbidity [Text] / P.A. Robertson, A.C. Wray // *Spine (Phila. Pa. 1976)*. — 2001. — Vol. 26, № 13. — P. 1473-1476.
23. Spine Trauma — What Are the Current Controversies? [Text] / C. Oner, S. Rajasekaran, J.R. Chapman et al. // *J. Orthop. Trauma.* — 2017. — Vol. 31. — P. 1-6.
24. Subaxial cervical spine trauma [Text] / B.K. Kwon, A.R. Vaccaro, J.N. Grauer et al. // *J. Am. Acad. Orthop. Surg.* — 2006. — Vol. 14, № 2. — P. 78-89.
25. Thalgott J.S. Single stage anterior cervical reconstruction with titanium mesh cages, local bone graft, and anterior plating [Text] / J.S. Thalgott, C. Xiongsheng, J.M. Giuffre // *Spine J.* — 2003. — Vol. 3. — P. 294-300.
26. Ugokwe K.T. Biomechanics of the spine [Text] / K.T. Ugokwe, J.J. Lu, E.C. Benzel // *Spinal Deformity: A Guide to Surgical Planning and Management* / Ed. by P.V. Mummaneni, L. Lenke, R. Haid. — Taylor & Francis, 2008. — P. 3-49.
27. Zaveri G. Management of Sub-axial Cervical Spine Injuries [Text] / G. Zaveri, G. Das // *Indian J. Orthop.* — 2017. — Vol. 51, № 6. — P. 633-652.

Получено 27.04.2018 ■

Слинько Є.І., Нехлопочин О.С.

Інститут нейрохірургії ім. акад. А.П. Ромоданова НАМН України, м. Київ, Україна

Оптимізація хірургічної корекції сагітального контуру хребетно-рухового сегмента при виконанні вентрального субаксіального цервікоспондилодезу

Резюме. Актуальність. Найбільш поширеною системою стабілізації при виконанні вентральних декомпресивно-стабілізуючих втручань на субаксіальному рівні шийного відділу хребта є комбінація вертикального циліндричного сітчастого імпланту та вентральної пластини. Незважаючи на значний клінічний досвід застосування, на сьогодні відсутня єдина думка щодо оптимальної корекції висоти оперованого хребетно-рухового сегмента і формування певного сегментарного профілю в зоні хірургічного втручання. **Мета:** поліпшити показники стану сагітального кифозу оперованого сегмента у віддаленому післяопераційному періоді в пацієнтів, які перенесли вентральний субаксіальний цервікоспондилодез. **Матеріали та методи.** Виконано ретроспективну оцінку і спондилограмметричний аналіз стану сагітального кифозу в 151 пацієнта, які перенесли вентральний бісегментарний субаксіальний цервікоспондилодез у зв'язку з травматичним пошкодженням. Проведено статистичний аналіз і визначено залежність фінальних результатів

від ступеня інтраопераційної корекції. Верифіковано діапазони інтраопераційних значень сагітального кифозу оперованого хребетно-рухового сегмента, що формують різні біомеханічні відповіді шийного відділу хребта у віддаленому післяопераційному періоді. **Результати.** Методом нелінійного регресійного аналізу визначено залежність фінальних від вихідних показників стану сегментарного кифозу оперованого сегмента. Кластерний аналіз виявив такі діапазони інтраопераційних значень сегментарного кифозу: $< -6,15^\circ$; $-6,15^\circ \dots -3,10^\circ$; $> -3,10^\circ$, що визначають різну динаміку післяопераційних змін. **Висновки.** Інтраопераційна корекція з формуванням кифозу в діапазоні $-6,15^\circ \dots -3,10^\circ$ є оптимальною для збереження фізіологічної кривизни оперованого сегмента в віддаленому післяопераційному періоді.

Ключові слова: цервікоспондилодез; вертикальний циліндричний сітчастий імплант; сегментарний кифоз; нелінійний регресійний аналіз; кластерний аналіз

E.I. Slynko, A.S. Nekhlopochin

State Institution "Romodanov Neurosurgery Institute of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine

Optimization of surgical correction of spinal motion segment sagittal contour when performing anterior subaxial cervical fusion

Abstract. Background. Vertical cylindrical mesh implant and anterior rigid plate is the most common combination for performing subaxial cervical spine anterior decompression and fusion surgery. Despite the considerable clinical experience, there is currently no consensus on optimal correction of the height of the operated spinal motion segment and the formation of a certain segmental profile in the surgical intervention zone. The purpose was to improve the state of sagittal kyphosis of the operated segment in the long-term postoperative period in patients who underwent anterior subaxial cervical fusion. **Materials and methods.** We performed retrospective evaluation and X-ray analysis of sagittal kyphosis in 151 patients after anterior bisegmental subaxial cervical fusion due to traumatic injury. A statistical analysis was carried out, and the dependence of the final results on the degree of intraoperative correc-

tion was determined. We verified the ranges of intraoperative values of spinal motion segment sagittal contour forming various biomechanical responses of the cervical spine in the long-term postoperative period. **Results.** The dependence of the final state of segmental kyphosis of the operated segment was determined by the method of nonlinear regression analysis. Cluster analysis revealed the following ranges of intraoperative values of segmental kyphosis: $< -6.15^\circ$; $-6.15^\circ \dots -3.10^\circ$; $> -3.10^\circ$, which determine different dynamics of postoperative changes. **Conclusions.** Correction of kyphosis in the range of $-6.15^\circ \dots -3.10^\circ$ is optimal for maintaining the physiological curvature of the operated segment in the long-term postoperative period.

Keywords: cervical fusion; vertical cylindrical mesh implant; segmental kyphosis; nonlinear regression analysis; cluster analysis