

© Группа авторов, 2000

***Теоретическое обоснование принципов управления
пространственным положением позвонков
аппаратом внешней фиксации***

В.И. Шевцов, П.И. Коваленко, А.Т. Худяев, Э.В. Бурлаков

***Theoretical substantiation of the principles of controlling spatial
position of vertebrae, using an external fixator***

V.I. Shevtsov, P.I. Kovalenko, A.T. Khudiayev, E.V. Burlakov

Государственное учреждение науки

Российский научный центр "Восстановительная травматология и ортопедия" им. академика Г. А. Илизарова, г. Курган
(генеральный директор — заслуженный деятель науки РФ, член-корреспондент РАМН, д.м.н., профессор В.И. Шевцов)

В статье дано теоретическое обоснование использования принципов управления пространственным положением позвонков в зависимости от конструктивных особенностей аппарата внешней фиксации. Приводится схема варианта конструкции аппарата, предполагаемого на основе проведенного силового анализа.

Ключевые слова: позвоночник, деформация, аппарат внешней фиксации.

Use of the principles of controlling spatial position of vertebrae depending on structural distinctions of an external fixator are substantiated in the work theoretically. A diagram is given concerning the fixator's design variant, supposed on the basis of the load-bearing analysis made.

Keywords: spine, deformity, external fixator.

ВВЕДЕНИЕ

Задача лечения заболеваний позвоночника, в частности, кифоза и сколиоза аппаратом внешней фиксации связана с исправлением оси позвоночного столба, а именно с управлением положением фиксируемых позвонков. Принятый метод фиксации с помощью двух стержней-шурупов, вводимых в тело позвонка через ножки дуги, и принципы управления положением позвонков определяют конструкцию аппарата. Недостаточная жесткость фиксирующих стержней-шурупов, закрепляемых консолью на внешней опоре, размер сечения нарезной части которых ограничен размерами сечения ножек дуг позвонков, требует понимания возникающих силовых ситуаций при работе с аппаратом и анализа используемых принципов управления положением позвонков.

Цель данной работы: изучить условия нагружения стержней-шурупов в аппарате для коррекции деформации позвоночника и дать техническое обоснование принципов управления положением позвонков.

Проанализированы схемы силовых воздействий на позвонки в зависимости от особенностей конструкции аппарата, принципов управления им и жесткости его связующего элемента с телом позвонка при лечении кифоза и сколиоза. Дана сравнительная оценка использования различных принципов управления аппаратом. При выполнении анализа и расчетов использованы работы по теоретической механике и теории сопротивления материалов [1, 2].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Фиксирующий стержень-шуруп при исправлении деформации позвоночника находится под действием сил, вызывающих его упругий изгиб.

Стремление стержня-шурупа распрямиться под действием сил упругой деформации создает силовое воздействие на позвонок. Направление сило-

го воздействия определяется формой упругой линии стержня-шурупа, зависящей от его жесткости и действующих изгибающих моментов.

При исправлении кифоза в зависимости от конструкции аппарата может быть использовано три принципа управления положением позвонков.

Первый принцип основан на базе аппарата с жестким закреплением стержней-шурупов на пластинчатой опоре (А.С. № 1448432 СССР, МКИ³ А61В17/60 Аппарат для лечения повреждений и заболеваний позвоночника / Г.А. Илизаров, А.М. Мархашов (СССР). - №3854923/28-14 заявлено 06.02.85г.) и на возможности их упругой деформации при плоскопараллельном сближении опор. Абсолютно жесткие стержни-шурупы вызовут сминание позвонков (рис. 1а).

Только стержни-шурупы с малым сопротивлением изгибу деформируясь (рис 1б), вызывают нежелательную компрессию между позвонками за счет упругой деформации их гладкой части и поворот позвонка в сторону исправления кифоза от упругой деформации нарезной части.

Второй принцип управления положением позвонков при исправлении кифоза предусматривает использование той же конструкции аппарата, но при этом перемещение опор в сторону их сближения осуществляется с одновременным поворотом путем неравномерного перемещения по резьбовым стержням, расположенным в разных параллельных плоскостях. В данном случае при абсолютно жестких стержнях-шурупах осуществляется поворот позвонка (рис. 1в), а при деформируемых стержнях-шурупах за счет упругого прогиба гладкой и нарезной их частей создаются дистракционные усилия и поворот позвонка (рис. 1г) с отставанием на угол упругой деформации нарезной части. Для управления положением опор требуется специальный геометрический расчет.

Третий принцип управления положением позвонков при исправлении кифоза заключается в шарнирном закреплении стержней-шурупов на опорах аппарата (заявка № 97101617/14, РФ, МПК⁷, А61В17/60. Корректирующее устройство для позвоночного столба / В.И. Шевцов (РФ), А.Т. Худяев (РФ), П.И. Коваленко (РФ). РНЦ "ВТО"

им. акад. Г.А. Илизарова (РФ); заявлено 31.01.97 г.) и самостоятельном повороте их при плоскопараллельном сближении опор. Силовые воздействия на позвонки в данном случае аналогичны описанным при втором принципе управления (рис. 1г). Но при этом упрощается управление аппаратом и исключается возможная исходная деформация стержней-шурупов, возникающая при их жестком закреплении на общую плоскость опоры, когда они введены в тело позвонка в разных плоскостях. Исходная деформация одного из стержней-шурупов вызывает неравномерность их силового воздействия на позвонок и нарушает возможность правильного управления положением позвонков.

Принцип управления положением позвонков при исправлении сколиоза заключается в создании дистракции на вогнутой стороне. При этом стержни-шурупы должны быть жестко закреплены на опоре. В конструкции аппарата с шарнирным присоединением срежней-шурупов к опоре их шарнирный поворот должен быть жестко зафиксирован. В данном случае нагружение стержней-шурупов осуществляется по схеме, приведенной на рис. 1б.

Предпочтительным является создание компрессии или дистракции путем поворота опоры (рис. 2а). В этом случае изгибающий момент, действующий на стержень-шуруп в месте его закрепления к опоре $M=4EJ/l$, (где $2EJ/l$ – погонная жесткость) в два раза больше момента ($M=2EJ/l$), действующего возле позвонка на нарезной части. Угол упругого изгиба нарезной части стержня-шурупа меньше на величину угла поворота опоры, чем при плоскопараллельном ее перемещении (рис. 2б). Следовательно, и меньше усилия, направленные на поворот позвонка. При этом усилия компрессии или дистракции в обоих случаях можно принять одинаковыми при равной величине прогиба h гладкой части стержня-шурупа. Однако создание компрессии одним стержнем-шурупом и дистракции другим путем их поворота при исправлении сколиоза возможно при соответствующей конструкции аппарата, обеспечивающей раздельный поворот стержней-шурупов на опоре.

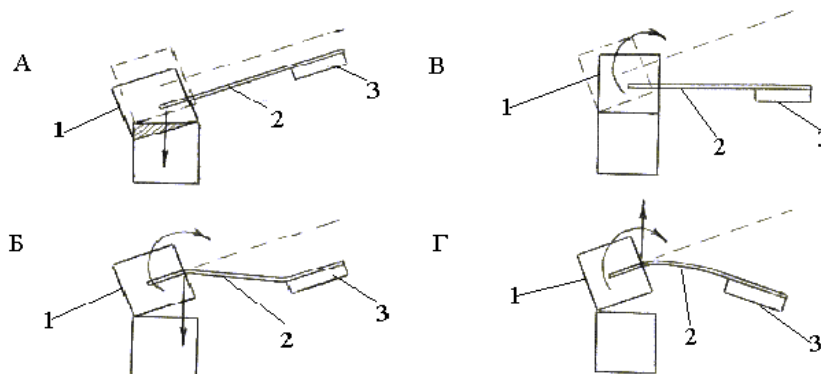


Рис. 1. Схемы нагружения позвоночника при различной жесткости стержней-шурупов: 1 - позвонок, 2 - стержень-шуруп, 3 – опора

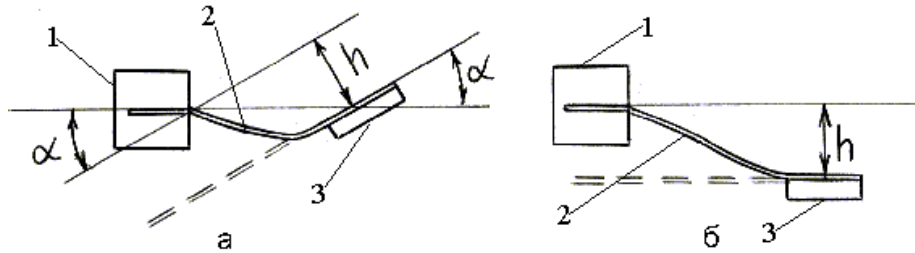


Рис. 2. Схемы деформации стержня – шурупа: 1 - позвонок; 2 - стержень-шуруп; 3 - опора

При наличии кифоза и сколиоза и их последовательном исправлении описанными принципами нарушаются достигнутые силовые воздействия на позвонки при исправлении одной из деформаций и переходе к исправлению другой деформации. Так как один из стержней-шурупов, закрепленных на опоре, меняет направление своего силового воздействия на позвонок, а другой – дополнительно нагружается. Может быть целесообразным в данном случае использование варианта нагружения одного из стержней-шурупов, закрепленных на опоре, по схеме, представленной на рис. 1б, а другого – по схеме, представленной на рис. 1г, при плоскопараллельном сближении опор, когда один из стержней связан с опорой шарнирно, а другой – жестко зафиксирован. В данном случае (рис. 3) силы, действующие на позвонок от упругой деформации нарезной и гладкой части стержня-шурупа, стремятся повернуть его в двух плоскостях.

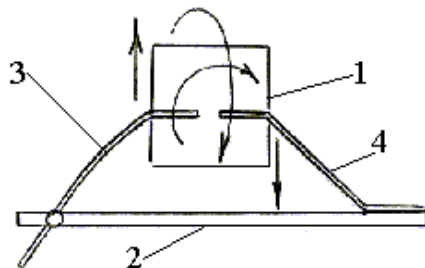


Рис. 3. Схема нагружения позвонка при комбинированной фиксации стержней-шурупов на опоре: 1 - позвонок; 2 - опора; 3 - стержень-шуруп, шарнирно закрепленный на опоре; 4 - стержень-шуруп, жестко закрепленный на опоре

Используемая методика исправления деформации позвоночника путем управления двумя блоками, фиксирующими по меньшей мере по два позвонка, позволяет снизить нагрузку на стержни-шурупы, распределив ее между всеми стержнями-шурупами блока (рис. 4а).

Дополнительное нагружение стержней-шурупов внутри одного из блоков приведет к перераспределению нагрузки между стержнями-шурупами и нарушению достигнутой силовой ситуации между блоками (рис. 4б).

Применение компоновки аппарата, состоящей из 4-х опор, но независимо связанных между собой попарно симметрично, относительно вершины деформации позвоночного столба (рис. 4в), позволит выполнять раздельное управление всеми фиксированными позвонками и оптимально распределить нагрузку между стержнями-шурупами.

Наиболее слабым звеном при нагружении аппарата являются стержни-шурупы, консольно закрепленные на опоре аппарата. Если принять сечение опоры аппарата и стержня-шурупа одинаковыми, т.е. опору изготавливать из стержня диаметром 6 мм, а длину консоли стержня-шурупа – равной длине пролета двухопорной балки, являющейся опорой аппарата, то согласно теории сопротивления материалов даже при наиболее худшем с точки зрения прогибов случае, когда балка нагружена посередине, прогиб консоли ($V=Pl^3/3EJ$) в 16 раз больше прогиба балки ($V=Pl^3/48EJ$), где P - нагрузка, l - длина консоли и пролета балки, EJ - жесткость.

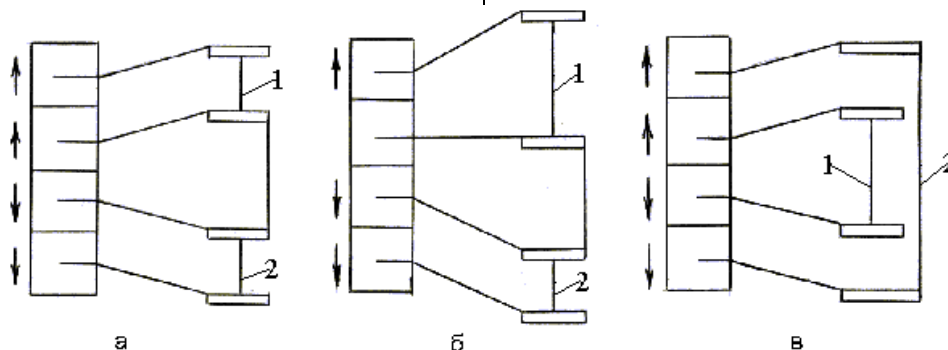


Рис. 4. Схемы соединения опор: 1 - первый блок; 2 - второй блок

На основе проведенного теоретического силового анализа может быть предложена схема аппарата (рис. 5) с отдельным управлением каждым стержнем-шурупом, симметричной попарной фиксацией позвонков относительно вершины деформации позвоночника, с простой и универсальной конструкцией опоры в виде круглого стержня. Данный аппарат обеспечивает как жесткое соединение стержней-шурупов с опорой, так и независимый друг от друга их поворот на опоре путем одинакового или различного перемещения опор по резьбовым стержням.

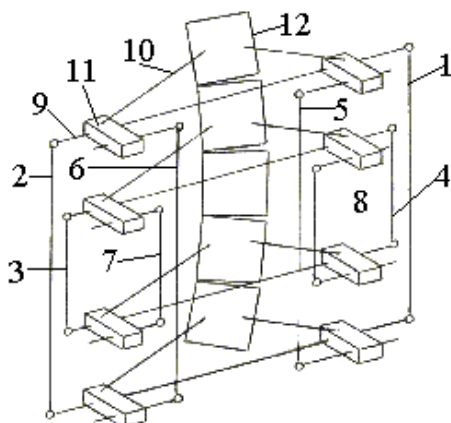


Рис. 5. Схема аппарата с отдельным управлением каждым стержнем-шурупом: 1, 2, 3, 4 - внешние стержни аппарата; 5, 6, 7, 8 - внутренние стержни аппарата; 9 - опора; 10 - стержень-шуруп; 11 - поворотная платформа; 12 - позвонок

Кроме того, сближение опор при исправлении кифоза выбирает запас расстояния между опорами. Для последующего исправления сколиоза нет места для перемещения опор. В данном случае отдельный наклон стержней-шурупов позволяет исправлять обе деформации позвоночника.

Например, при исправлении кифоза перемещение опор по внешним стержням аппарата должно отставать от перемещения по внутренним стержням. Используется схема нагружения, представленная на рис. 1г. При исправлении

сколиоза достаточно работать только внутренними стержнями, поворачивая стержни-шурупы на опоре в разные стороны. По стержням 5 и 8 осуществлять дистракцию, а по стержням 6 и 7 - компрессию.

В данном случае используется схема нагружения, представленная на рис. 2а.

При одновременном исправлении кифоза и сколиоза необходимо осуществлять одинаковое перемещение в направлении компрессии по всем напряженным стержням, а внутренним стержням только с выпуклой стороны искривленной оси позвоночника от сколиоза. Перемещение по внутренним стержням с другой стороны позвоночника выполнять с опережением. В данном случае используется схема нагружения, представленная на рис. 3.

Исправление кифоза и сколиоза может быть достигнуто так же путем дополнительного поперечного относительного перемещения в соответствующем направлении двух независимых блоков из двух опор, расположенных симметрично от вершины деформации позвоночника (рис. 6).

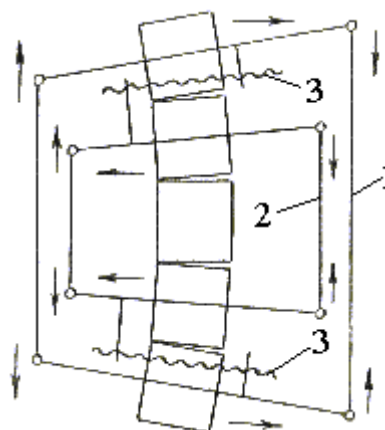


Рис. 6. Схема управления фиксирующими блоками: 1 - первый блок; 2 - второй блок; 3 - резьбовая тяга

ВЫВОДЫ

При коррекции деформации позвоночника аппаратом наружной фиксации следует учитывать изложенные рекомендации по управлению аппаратом, возможности использования различ-

ных принципов управления положением позвонков в зависимости от конструктивных особенностей аппарата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федосьев В.И. Сопротивление материалов. - М.: Наука. -1970.-344с.
2. Рыдник В.И. Краткий физико-технический справочник. - М.: Физматгиз. 1960. -Т.2. С. 209-211, С 221-222.

Рукопись поступила 30.06.2000.