

© А.В. Попков, Э.В. Бурлаков, 1999

Болт-спицефиксатор**А.В. Попков, Э.В. Бурлаков****Wire-fixation bolt****A.V. Popkov, E.V. Burlakov**

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

В статье приводятся аналитические расчеты усилий болта-спицефиксатора, необходимых для обеспечения натяжения спицы. Расчеты позволили авторам предложить рациональную форму болта и гайки, а также специального спиценатягивателя, обеспечивающего работу хирурга.

Ключевые слова: биомеханика, аппарат Илизарова, болт-спицефиксатор.

Analytical calculations of wire-fixation bolt forces, which are necessary for wire tensioning, are given in the work. The calculations have allowed the authors to propose a special wire-tensioner for a surgeon's work as well as a rational shape for bolt and nut.

Keywords: biomechanics, the Ilizarov apparatus, wire-fixation bolt.

Оперативное лечение большинства ортопедических заболеваний верхних и нижних конечностей в настоящее время осуществляется в условиях стабильного остеосинтеза аппаратом Илизарова. В основе метода чрескостного остеосинтеза по Илизарову лежит использование спиц диаметром 1,5-1,8 мм, с натяжением 110-130 кгс [1]. Стабильность остеосинтеза в первую очередь зависит от степени натяжения спиц и сохранения этого натяжения в течение всего периода лечения больного. Обеспечить эти условия обязаны спицефиксаторы, конструкция которых за последние 20-25 лет претерпела значительные изменения. В 70-е годы это были рамочные спицефиксаторы (сначала односторонние, а затем двусторонние), отрицательной стороной которых была громоздкость и невозможность их установки для фиксации дополнительных спиц, проведенных в процессе лечения больного. Им на смену пришли разборные ра-

мочные спицежазжмы, которые выпускаются до настоящего времени.

В последние годы наиболее популярны болт-спицефиксаторы (БС), которые малы по размерам, легко взаимозаменяются, технологически просты в изготовлении. При использовании данного спицефиксатора натяжение спицы выполняется как спиценатягивателем, так и наматыванием спицы вокруг головки болта одновременно с фиксацией спицы.

Цель данной работы: изучить условия натяжения спицы, рассчитать оптимальные режимы натяжения и конструктивные особенности болта-спицефиксатора.

Нами выполнены аналитические расчеты для количественной оценки возможностей БС удерживать спицу в натянутом состоянии. В расчетах использовали работы по теории сопротивления материалов, расчету деталей машин и материаловедению [2, 3].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Болт-спицефиксатор имеет специальный паз в основании головки, где располагается спица и зажимается между головкой болта и плоскостью опоры аппарата Илизарова (рис. 1). Фиксирующие возможности болта не беспредельны и ограничены прежде всего механическими характеристиками материала, из которого он сделан, геометрическими размерами, кроме того, при накручивании спицы вокруг головки болта имеют значение величина отклонения спицы и направление тяги спицы.

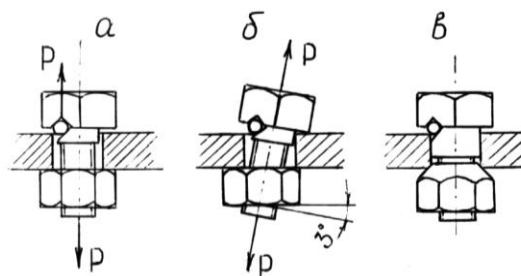


Рис. 1. Схема фиксации спицы в БС

Теория сопротивления материалов показывает, что общее напряжение, возникающее в БС, складывается из напряжения растяжения, напряжения кручения вследствие трения в резьбе и напряжения изгиба от эксцентричного его нагружения.

Фактически при фиксации спицы изгибающий момент, действующий на БС, от эксцентричной нагрузки перекашивает его в отверстии опоры, создавая противоупор изгибающей нагрузке, что позволяет пренебречь ею при выполнении дальнейших расчетов. При этом гайка, прижатая к опоре, перекашивается на стержне БС до 3-х градусов за счет зазоров в резьбовом соединении и смятия витков резьбы, снижая надежность и срок эксплуатации БС (рис. 1б).

Решение данной технической задачи лежит в формировании подголовника болта диаметром, близким к диаметру отверстия опоры, а высотой, близкой к толщине опоры, либо использовании специальной гайки с коническим торцом. Гайки такой формы или подголовник центрируют болт в отверстии, исключая перекош в резьбовом соединении, повышая его надежность и фиксирующие возможности (рис. 1в).

В условиях осевого нагружения БС при завинчивании гайки можно достигнуть усилия прижатия спицы к опоре

$$P = \frac{\sigma_{0,2} \cdot \pi d_1^2}{n \cdot 1,3 \cdot 4} = 438 \text{ кг} \quad (1),$$

где $\sigma_{0,2} = 45 \text{ кг/мм}^2$, предел текучести для стали 20Х13 при оптимальной термической обработке;

d_1 - внутренний диаметр резьбы, мм ($d_1 = 4,918 \text{ мм}$);

n - коэффициент запаса прочности ($n = 1,5$);

1,3 - коэффициент, учитывающий напряжение кручения в винте вследствие трения в резьбе.

При усилии прижатия спицы 438 кг БС способен зафиксировать спицу, натянутую с максимальной силой.

$$Q = 2,4 \cdot P \cdot f = 157 \text{ кг} \quad (2),$$

где f - коэффициент трения ($f = 0,15$);

2,4 - коэффициент, учитывающий поверхности трения клинового паза и опоры.

Клиническая практика показала, что возможно четыре варианта взаимного положения БС и спицы (рис. 2).

В первом случае (рис. 2а) спица зафиксирована без поворота головки болта и должна быть натянута с помощью спицнатягивателя. Момент, действующий на болт от силы натяжения спицы, направлен в сторону завинчивания болта.

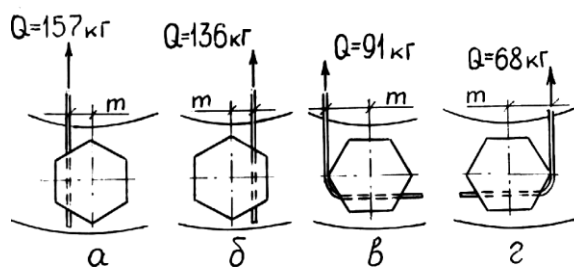


Рис. 2. Варианты взаимного положения БС и спицы при её натяжении

$$M_{зав.} = P \frac{d_2}{2} \left[\operatorname{tg}(\beta + \varphi_1) + f \frac{d_{cp}}{d_2} \right] = 550 \text{ кг} \cdot \text{мм} \quad (3),$$

где P - осевая нагрузка на болт, кг ($P = 438 \text{ кг}$);

d_2 - средний диаметр резьбы, мм ($d_2 = 5,350 \text{ мм}$);

β - угол подъема резьбы, град. ($\beta = 3^\circ 24'$);

φ_1 - приведенный угол трения, град. ($\varphi_1 = 9^\circ 50'$);

d_{cp} - средний диаметр опорной поверхности трения, мм ($d_{cp} = 8,4 \text{ мм}$).

Сила Q , способная повернуть болт в сторону его дополнительного завинчивания, действующая на плече $m = 3 \text{ мм}$ равна

$$Q = \frac{M_{зав.}}{m} = 183 \text{ кг} \quad (4)$$

А болт при допустимой его затяжке, создающей осевую силу прижатия спицы $P = 438 \text{ кг}$, способен зафиксировать спицу, натянутую с максимальной силой 157 кг.

Следовательно, в этом случае максимально возможная сила натяжения спицы 157 кг не вызовет поворот болта и ослабление её натяжения.

Во втором случае (рис. 2б) момент, действующий на болт от силы натяжения спицы, направлен в сторону отвинчивания болта и определяется по формуле:

$$M_{отв.} = P \frac{d_2}{2} \left[\operatorname{tg}(\varphi_1 - \beta) + f \frac{d_{cp}}{d_2} \right] = 408 \text{ кг} \cdot \text{мм} \quad (5)$$

Сила Q , способная повернуть болт в сторону его отвинчивания, действующая на плече $m = 3 \text{ мм}$, равна:

$$Q = \frac{M_{отв.}}{m} = 136 \text{ кг} \quad (6)$$

В данном случае допустимо максимальное натяжение спицы не более 136 кг.

В третьем случае (2в) спица зафиксирована с поворотом головки болта при её натяжении. Момент, действующий на болт от силы натяжения спицы, направлен в сторону завинчивания болта. Сила Q , способная повернуть болт в сторону его дополнительного завинчивания, действующая на плече $m = 6 \text{ мм}$

$$Q = \frac{M_{зав.}}{m} = 91 \text{ кг} \quad (7).$$

Следовательно, возможная сила натяжения спицы в данном случае не более 91 кг.

В четвертом случае (рис. 2г) спица зафикси-

рована с поворотом головки болта при её натяжении. Но момент, действующий на болт от силы натяжения спицы, направлен в сторону отвинчивания болта. Сила Q , способная повернуть болт в сторону его отвинчивания на плече $m = 6\text{ мм}$

$$Q = \frac{M_{\text{отв.}}}{m} = 68\text{ кг} \quad (8).$$

Следовательно, возможная сила натяжения спицы в данном случае не более 68 кг.

Расчеты выполнены при работе с болтом в пределах запаса прочности, но в этих условиях, как показывают формулы 7 и 8, натяжение спицы, необходимое клиницисту для сохранения стабильности остеосинтеза, неминуемо приводит к повороту головки болта и ослаблению натяжения спицы. Этот порочный круг можно преодолеть только при затягивании гайки на пределе текучести материала. В этом случае из формулы (1) исчезает коэффициент n и Q возрастает в 1,5 раза, т.е. до 136 и 102 кг соответственно.

Для проверки исключения возможности поворота болта совместно с гайкой при натяжении спицы выполнен расчет, исходя из равенства действующего момента на болт от натяжения спицы и момента сопротивления повороту от сил трения.

$$Q \cdot m = 2Pfd_{\text{ср.}}$$

$$Q = \frac{2Pfd_{\text{ср.}}}{m} = 184\text{ кг} \quad (9)$$

Таким образом, для поворота затянутого болта совместно с гайкой требуется сила тяги спицы 184 кг, которая не может превышать, как мы уже ранее выяснили, 157 кг.

В методических рекомендациях, выпущенных клиникой РНЦ «ВТО» им. академика Г.А. Илизарова, советуют при чрескостном остеосинтезе натягивать спицы до 110-130 кг. Это условие, как мы выяснили, требует довести осевую нагрузку на болт до уровня, близкого к максимально допустимому (438 кг). После этого натяжение спицы осуществляется поворотом головки болта и одновременного дотягивания гайки. Хирург работает двумя ключами одновременно (рис. 3). В момент поворота БС прикладывают к ключу усилие, равное

$$N = \frac{Q \cdot m}{l} = 18,8\text{ кг} \quad (10).$$

Таким образом, при натяжении спицы ассистент хирурга должен удерживать опору аппарата с силой почти 38 кг. Если из выполненных расчетов исключить принятый коэффициент запаса прочности ($n=1,5$), т.е. затягивать гайку до момента появления в стержне БС напряжения, равного пределу текучести, то расчетные данные силы Q натяжения спицы и усилия, прилагаемые к ключу, увеличатся в 1,5 раза.

Таким образом, при максимальной затяжке болта не имеет значение направление накручивания спицы, но необходимость работы хирурга на пределе текучести металла ведет к тому, что значительные усилия, прилагаемые к ключу, а следовательно, и к рукам вызывают быструю усталость, снижение чувствительности пальцев хирурга, а при многолетней интенсивной работе - и развитие дегенеративно-дистрофических изменений в суставах кистей рук.

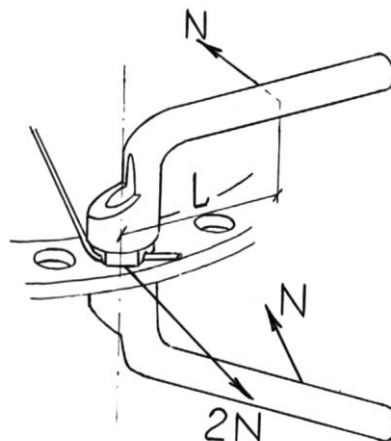


Рис. 3. Схема натяжения спицы двумя ключами

Для того, чтобы сохранить профессионализм хирурга и обеспечить максимальную силу натяжения спицы, надежность её фиксации, следует пользоваться специальными ключами (рис. 4), выпускаемыми опытным предприятием РНЦ «ВТО».

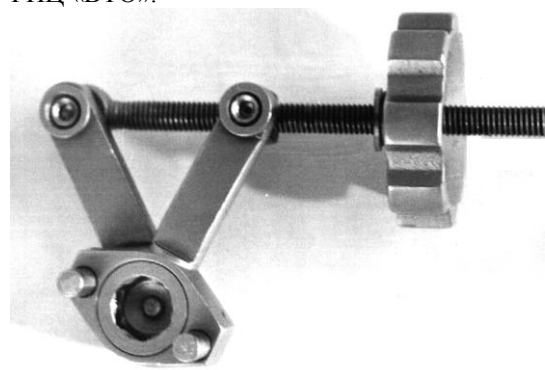


Рис. 4. Фото специального спиценатягивателя

При его использовании спица первоначально жестко фиксируется к опоре, а затем, с помощью рычага и усилия, развиваемого по резьбовой тяге, головка болта дополнительно поворачивается, натягивая спицу. При этом не требуется помощь ассистента хирурга, а натяжение спицы доводится до максимального без особых усилий.

Таким образом, наши исследования показали, что БС обеспечивает надежную фиксацию и оптимальное натяжение спицы независимо от направления её накручивания при условии соблюдения некоторых конструктивных особенностей (диаметр подголовника должен быть близок к диаметру отверстия опоры аппарата

Илизарова) или использования конической гайки. Для облегчения труда хирурга необходимо использовать специальный ключ, обеспечи-

вающий натяжение спицы одновременно с фиксацией БС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шевцов В.И., Попков А.В. Оперативное удлинение нижних конечностей. - М.: Медицина, 1998. - 198 с.
2. Детали машин в примерах и задачах. / Под общей редакцией С.М. Башеева. - Минск: Вышэйшая школа, 1970. - 488 с.
3. Материалы в машиностроении: Справочник. Т. 3. - М.: Машиностроение, 1968. - С.15.

Рукопись поступила 30.03.1999.

Вышли из печати



**Шевцов В.И., Макушин В.Д., Аранович А.М.,
Чегуров О.К.**

Хирургическое лечение врожденных аномалий развития берцовых костей

Курган, 1998 г. – 323 с., табл. 15, ил. 209, библиогр. назв. 201

Монография посвящена проблеме лечения детей с врождённой эктромелией берцовых костей. В книге обобщён опыт лечения больных с применением методик чрескостного остеосинтеза аппаратом Илизарова в различных его рациональных компоновках. Приведены основы биомеханического моделирования остеосинтеза при некоторых клинических ситуациях. Описываются уникальные, не имеющие аналогов в мировой медицине, тактико-технологические принципы реконструкции берцовых костей, повышающие опороспособность и функциональные возможности нижней конечности. Приведённые технические сведения помогут хирургу принимать оптимальные решения в реабилитации пациентов и подготовке конечности к рациональному протезированию. Анализ возможных технологических ошибок и связанных с ними лечебных осложнений имеет важное значение для практикующего врача.

Представленные в книге исследования дают возможность клиницисту представить тяжесть развивающихся при пороке вторичных функциональных и анатомических расстройств.

Приведённые результаты лечения по методикам Российского научного центра «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова дают возможность оценить их эффективность в сравнении с традиционными хирургическими подходами в решении данной проблемы.

Книга иллюстрирована схемами остеосинтеза, клиническими примерами, способствующими усвоению представленного материала.

Монография рассчитана на широкий круг хирургов, ортопедов и педиатров.

Цена - 70 руб.
