

УДК: 616.728.3-089.87

Фаткуллин Н.В., Жигаев Г.Ф., Краснояров Г.А., Архипов С.В.

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ДУГООБРАЗНЫХ КОСТНЫХ ТОННЕЛЕЙ ПРИ ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИИ КРЕСТООБРАЗНЫХ СВЯЗОК КОЛЕННОГО СУСТАВА

ГОУ ВПО Бурятский государственный университет, г. Улан-Удэ.

Введение. Коленный сустав занимает первое место по частоте повреждений связочного аппарата и составляет 50% от всех травм суставов. Повреждение крестообразных связок коленного сустава характерно для лиц активного трудоспособного возраста. Соотношение повреждений передней крестообразной связки к повреждениям задней составляет 2:1, что приводит к нестабильности коленного сустава. Нестабильность сустава - это невозможность его нормального функционирования вследствие потери способности замыкания в период опоры без дополнительных внешних и компенсаторных приспособлений (3,4).

К настоящему моменту имеется множество публикаций, отражающих опыт реконструкции связочного аппарата коленного сустава эндопротезами. Изучены ближайшие и отдаленные результаты оперативных вмешательств (7,8). Вместе с тем, отсутствует единое мнение в отношении выбора диаметра, направления тоннеля, в котором располагают эндопротез, с целью соблюдения изометрической расположения эндопротезов в костных тоннелях и его максимальной функциональности.

При внутрисуставных способах эндопротезирования крестообразных связок в дистальном метаэпифизе бедренной и проксимальном метаэпифизе большеберцовой костей формируются только прямые костные тоннели.

Несмотря на изометрическое расположение эндопротеза в полости сустава, ось внутрисуставной части эндопротеза не совпадает с осью тоннеля, расположенные в них части эндопротеза образуют углы с внутрисуставной частью, и в момент наибольшей нагрузки на эндопротез он оказывает избыточное давление на стенку тоннеля. Там же имеются потенциально критические места, где может произойти разрушение эндопротеза. В дальнейшем это приводит к резорбции тибионального и феморального костных тоннелей у выхода эндопротеза из костного тоннеля в полость сустава. В глубине тоннелей, они при-

обретают эллипсовидную форму с ориентацией длинной оси эллипса в сагittalной плоскости и по длине костный канал приобретает форму усеченного конуса обращенным основанием к полости сустава, этот феномен получил название "эффект стеклоочистителя". (1,2, 5,6).

Целью нашего исследования явилось изучение распределения давления эндопротеза крестообразных связок коленного сустава на стенку костного тоннеля при прямой и дугообразной форме костного тоннеля.

Крестообразные связки стремятся удерживать продольную ось голени в одной плоскости с осью ее вращения в коленном суставе. При движении голени, на проксимальную часть большеберцовой кости действуют силы, стремящиеся сместить ее как назад, так и вперед в зависимости от того, какая группа мышц активна, но фиксация крестообразными связками к бедренной кости позволяет находиться голени в равновесном состоянии, и перемещение ее впереди и кзади относительно бедра невозможно.

Схематично распределение давления эндопротеза на стенки внутрикостного тоннеля при прямых тоннелях рассмотрено в одной плоскости, применяя аксиомы статики, распределенных сил, реакции связи (Рис. 1).

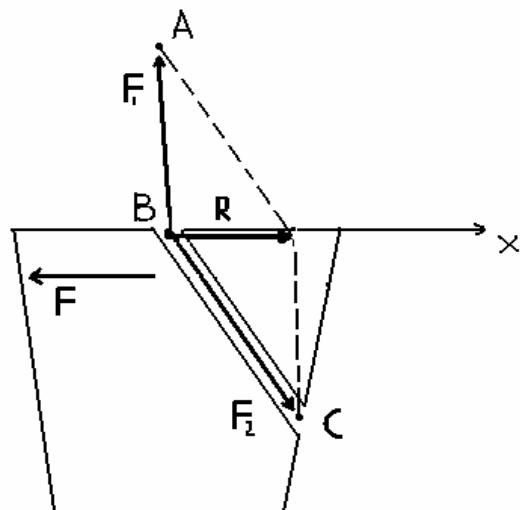


Рис. 1. Распределения нагрузки на стенки прямого внутрикостного тоннеля (схема).

А - точка закрепления, место выхода эндопротеза из бедренного костного тоннеля в полость сустава

С - точка закрепления, место фиксации эндопротеза в тибиональном костном тоннеле

F - сила, стремящаяся сместить проксимальную часть голени кзади

F1, F2 - сила натяжения, действующая на нить

R - равнодействующая сила

B - точка выхода нити (эндопротеза) из тоннеля

X - ось (тибиональное плато)

Эндопротез - это **нить**, считающаяся гибкой и нерастяжимой. Реакция последней на тело направлена по касательной к нити в точке ее закрепления. Так, точками закрепления (**A** и **C**) будем считать место фиксации эндопротеза в тибиальном костном тоннеле и место выхода эндопротеза в полость коленного сустава из бедренного костного тоннеля.

Взаимодействие сил, находящихся в равновесии, $\mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2$

Согласно правила параллелограмма сил, две силы, приложенные к твердому телу в одной точке, имеют равнодействующую силу, приложенную в той же точке, и изображаемую диагональю параллелограмма, построенного на этих силах, как на сторонах. Сила **R** эквивалентна системе двух сил **F₁** и **F₂**, вектор **R** равен геометрической сумме векторов **F₁** и **F₂**, т.е. $\mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 = \mathbf{R}$.

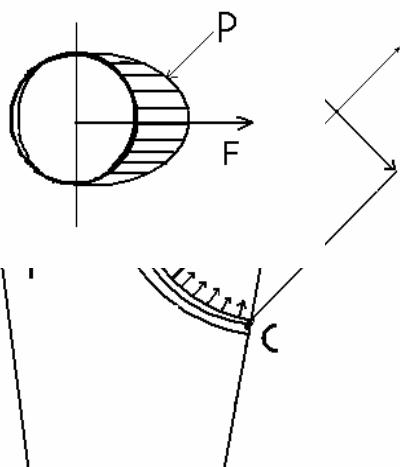
Равнодействующая сила **R** направлена от точки **B** по оси **X**. Все давление нити на стенку костного тоннеля сосредоточено в точке **B**.

И выражается уравнением: $\mathbf{P} = \mathbf{R} / \mathbf{S}\mathbf{B}$,

где **P** - давление нити на стенку костного тоннеля

R - равнодействующая сила

S_B - площадь, передней части костного тоннеля в точке **B**



Лярна хорда и проходит через ее середину. Расчитывается по формуле: $\mathbf{R} = \mathbf{q} \times \mathbf{h}$,

где **q** - сила, приходящаяся на единицу длины, единица измерения ньютон на метр (Н/м)

$$\mathbf{q} = \mathbf{F}_1 / \mathbf{LBC},$$

LBC - длина полуокружности между точками **B** и **C**.

Все давление нити на стенку костного тоннеля равномерно распределено.

И выражается уравнением: $\mathbf{P} = \mathbf{R} / \mathbf{SBC}$,

Рис. 2. Распределения нагрузки на стенки дугообразного внутрикостного тоннеля (схема).

A - точка закрепления, место выхода эндопротеза из бедренного костного тоннеля в полость сустава

C - точка закрепления, место фиксации эндопротеза в тибиальном костном тоннеле

F - сила, стремящаяся сместить проксимальную часть голени кзади

F₁ - сила натяжения, действующая на нить

R - равнодействующая сила

B - точка выхода нити (эндопротеза) из тоннеля

h - длина хорды стягивающей дугу **BC**

O - центр дуги

r - радиус окружности

где **P** - давление нити на переднюю стенку костного тоннеля по дуге **BC**

R - равнодействующая сила

SBC - площадь передней части костного тоннеля, взята равной половине площади цилиндра (Рис. 3) имеющего высоту равную длине хорды - **h**, и заданный диаметр.

Рис. 3. Схема распределения давления эндопротеза на стенку внутрикостного тоннеля, при поперечном сечении: где **P** - эпюры распределения давления эндопротеза на стенку тоннеля по 1/2 длины окружности в направлении действия силы **F**.

Проведем численный эксперимент и сравним давление эндопротеза при прямом и дугообразном костных тоннелях на стенку.

Для прямого костного тоннеля: $P_1 = R / S_B$,
где P_1 - давление в точке **B**

R - равнодействующая сила 50Н

S_B - площадь передней части костного тоннеля в точке **B** и взята равной половине площади цилиндра имеющего высоту цилиндра в точке **B** **1 мм** диаметр **8 мм**.

$$S_B = 2\pi \times 4 \times 1/2 = 25,13/2 = 12,56 \text{ мм}^2 = 0,0000125 \text{ м}^2$$

$$\text{Тогда, } P_1 = 50\text{Н}/0,0000125 \text{ м}^2 = 4\ 000\ 000 \text{ Па}$$

Для дугообразного костного тоннеля:

P₂ = R / S_{BC},

где **P₂** - давление нити на переднюю стенку костного тоннеля по дуге **BC**

R - равнодействующая сила 50Н

S_{BC} - площадь передней части костного тоннеля и взята равной половине площади цилиндра имеющего высоту **h 40 мм**, диаметр **8 мм**.

$$S_{BC} = 2\pi \times 4 \times 40/2 = 1005/2 = 502,3 \text{ мм}^2 = 0,0005023 \text{ м}^2$$

$$\text{Тогда, } P_2 = 50\text{Н}/0,0005023 \text{ м}^2 = 99542 \text{ Па}$$

Сравним **P₁** и **P₂**

$$P_1 / P_2 = 4000000 \text{ Па} / 99542 \text{ Па} = 40,1$$

Таким образом, при воздействии на эндопротез одной и той же силы, давление, оказываемое эндопротезом на переднюю стенку костного тоннеля при его дугообразной форме в 40 раз меньше давления на переднюю стенку прямого костного тоннеля в месте выхода эндопротеза в полость сустава.

Математическая модель распределения давления эндопротеза на стенки внутренкостного тоннеля при прямых костных тоннелях показала, что резорбция костной ткани в тоннелях возникает согласно правила параллелограмма сил и в местах выхода эндопротеза из костных тоннелей в полость сустава развивается значительное давление на костную ткань, которое сосредоточено в одной точке, приводящее к ее постепенному разрушению.

Построенная математическая модель распределения давления эндопротеза на стенку дугообразного костного тоннеля демонстрирует, что давление, оказываемое эндопротезом на стенку костного тоннеля, равномерно распределено по всей длине дугообразного тоннеля, что приводит к значительному уменьшению давления на костную ткань. Произведенные числовые сравнительные расчеты убеждают, что дугообразные костные тоннели при эндопротезировании крестообразных связок являются оптимальными.

Заключение. Применение дугообразных костных тоннелей при эндопротезировании крестообразных связок, является более предпочтительными в связи с меньшим риском развития осложнений, связанных с механическим воздействием эндопротеза на костную ткань.

ЛИТЕРАТУРА

- Богуцкая Е.В. Отдаленные результаты пластического восстановления крестообразных связок коленного сустава лавсаном: Автореф. дис. канд. мед. наук.- М., 1975. -20 с.
- Дубров В.Э. Хирургическая коррекция крестообразных и коллатеральных связок коленного сустава в остром периоде травмы (клинико-экспериментальное исследование). Дисс. ...д-ра мед. наук - Москва, 2003.
- Лазишвили Г.Д. Оперативное лечение свежих повреждений связочного аппарата коленного сустава: Автореф. дис. канд. мед. наук.- М., 1992.- 24с.
- Малыгина М.А. Эндопротезирование крестообразных связок коленного сустава: Автореф. дисс. ...д-ра мед. наук.- М., 2002.- 47 с.
- Миан Амджад Али Хирургическое лечение застарелых сочетанных повреждений коленного сустава: Автореф. дис. ...канд. мед. наук.- М., 1996.- 18с.
- Gloousman R., Shields C., Kerlan R. Gore-Tex prosthetic ligament in ACL deficient knees // Am. J. Sports Med.- 1988.- Vol. 16, N 4.- P.321-326.