

УДК 616.717.41-001.5-089.84

**СРАВНЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ
ОСТЕОСИНТЕЗА ПРИ ПЕРЕЛОМАХ ГОЛОВЧАТОГО
ВОЗВЫШЕНИЯ ПЛЕЧЕВОЙ КОСТИ МЕТОДОМ
МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

¹Королев С.Б., ¹Носов О.Б., ¹Кленин А.А., ²Вешуткин В.Д.

¹ФГБУ «Нижегородский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии»

Министерства здравоохранения Российской Федерации,

Нижний Новгород, e-mail: a-klenin@mail.ru;

²Нижегородский государственный технический университет

им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород

Проведен сравнительный анализ стабильности внутренней фиксации отломков при переломах головчатого возвышения плечевой кости методом математического моделирования. Расчеты прочности дистального отдела плечевой кости с переломом головчатого возвышения, а также сравнительный анализ прочности соединения костных отломков проводили различными способами остеосинтеза головчатого возвышения (osteosynthesis компрессирующим винтом, остеосинтез двумя перекрещивающимися спицами Киршнера, остеосинтез параллельно проведенными спицами Киршнера со стягивающей петлей). Сравнительный анализ математического моделирования рассмотренных способов остеосинтеза показал, что наименее стабильным является соединение костных отломков компрессирующим винтом, а наиболее стабильным – соединением костных отломков параллельно введенными спицами со стягивающей петлей. При переломе головчатого возвышения плечевой кости остеосинтез костных отломков параллельно введенными спицами со стягивающей петлей из рассмотренных способов является наиболее стабильным. Полученные результаты подтвердили преимущества предложенного способа внутренней фиксации.

Ключевые слова: головчатое возвышение плечевой кости, остеосинтез, математическое моделирование

**COMPARISON OF STABILITY OF VARIOUS METHODS OF OSTEOSYNTHESIS
OF CAPITELLUM HUMERI FRACTURES BY MATHEMATICAL MODELING**

¹Korolev S.B., ¹Nosov O.B., ¹Klenin A.A., ²Veshutkin V.D.

¹Nizhny Novgorod Research Institute of Traumatology and Orthopedics,

Nizhny Novgorod, e-mail: a-klenin@mail.ru;

²Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod

A comparative analysis of stability of internal fixation of fragments in capitellum humeri fractures was performed by method of mathematical modeling. The calculation of strength of distal humerus with capitellar fracture, as well as the comparative analysis of bone fragments joining strength were performed by means of various methods of capitellum osteosynthesis (compression screw osteosynthesis, osteosynthesis with two crossed Kirschner wires, osteosynthesis with parallel Kirschner wires and a tension band). The comparative analysis of mathematical models of the considered osteosynthesis methods demonstrated that the less stable is bone fragment joining by compression screw and the most stable is joining by parallel wires and a tension band. For capitellum humeri fractures osteosynthesis of bone fragments using parallel wires with a tension band is the most stable method among the analyzed ones. The obtained results confirmed the advantages of the proposed method of internal fixation.

Keywords: capitellum of humerus, osteosynthesis, mathematical modeling

Обеспечение стабильной фиксации при переломах головчатого возвышения плечевой кости до сих пор дискутируется. Дистальный отломок головчатого возвышения, как правило, имеет небольшие размеры, неоднороден, поэтому при оперативном вмешательстве сложно обеспечить устойчивую фиксацию отломков [1].

При оперативном лечении переломов головчатого возвышения плечевой кости активно используют спицы Киршнера [4], кортикальные винты [3], канюлированные винты [8]. Данные виды остеосинтеза применяют преимущественно при свежих переломах. В случае застарелых и неправильно сросшихся переломов нередко ограничиваются удалением отломка [5].

При остеосинтезе из-за малых размеров отломка и его внутрисуставного расположения во многих случаях, особенно при застарелых повреждениях, требуется использовать длительную иммобилизацию, что увеличивает сроки лечения и ухудшает функциональный результат [1].

Экспериментальные работы по проблеме стабильности остеосинтеза при переломах области локтевого сустава в основном касаются переломов локтевого отростка [6, 7, 10]. В отечественной и зарубежной литературе мы не встречали публикаций, в которых изучалась стабильность внутренней фиксации при переломах головчатого возвышения плечевой кости.

Цель работы – оценить стабильность различных способов внутренней фиксации при переломах головчатого возвышения плечевой кости методом математического моделирования.

Материалы и методы исследования

Для сравнительного анализа стабильности способов остеосинтеза при переломах головчатого возвышения плечевой кости использовали метод математического моделирования, который включал аналитический метод и метод конечных элементов.

Результаты исследования и их обсуждение

На основе анализа работ различных авторов [2, 9] была разработана биомеханическая модель локтевого сустава исходя из совокупности данных (рис. 1), что позволило определить реактивные усилия, действующие на сустав со стороны неповрежденной

кости в клинически наиболее значимом положении суставных концов.

Реактивные усилия, действующие на кость со стороны сустава как R_x и R_y в выбранной системе координат xOy . Для определения величин реакций и внешней силы P использовали известные исходные данные: F_1, F_2, F_3 – мышечные усилия ($F_1 = 3,3 \text{ кгс} = 32,4 \text{ Н}$; $F_2 = 13,3 \text{ кгс} = 130,5 \text{ Н}$; $F_3 = 11,25 \text{ кгс} = 110,4 \text{ Н}$); α_1, α_3 – углы наклона усилий по отношению к оси y ($\alpha_1 = 19^\circ$; $\alpha_3 = 68^\circ$); a_1, a_2, a_3 – расстояния от начала координат до точек приложения сил ($a_1 = 222 \text{ мм}$; $a_2 = 48 \text{ мм}$; $a_3 = 35 \text{ мм}$); a_p – расстояние до внешней силы P ($a_p = 169 \text{ мм}$); r – радиус сустава ($r = 10 \text{ мм}$). Из полученных выражений нашли численные значения сил: внешняя нагрузка $P = 61,3 \text{ Н}$; реактивное усилие R_y со стороны сустава в направлении y : $R_y = 182,0 \text{ Н}$.

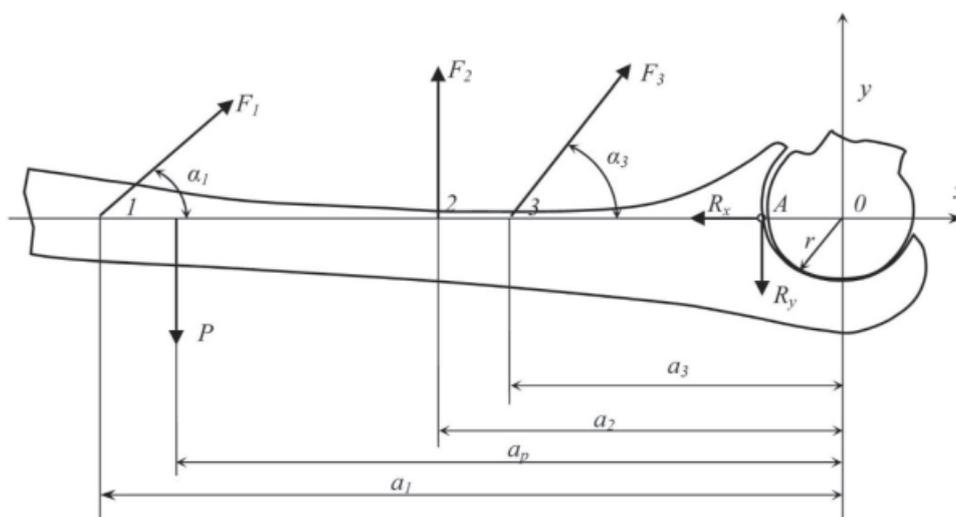


Рис. 1. Схема действующих усилий

Общее усилие на сустав R определили из геометрической суммы (рис. 2) по формуле

$$R = \sqrt{(R'_x)^2 + (R'_y)^2} = 195,7 \text{ Н.}$$

Поскольку направление результирующей реакции определяется углом β (рис. 2), мы определили его через тангенс.

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{R'_y}{R'_x} = \frac{182,0}{72,0} = 2,53;$$

$$\beta = 1,104 \text{ рад} = 62,8^\circ.$$

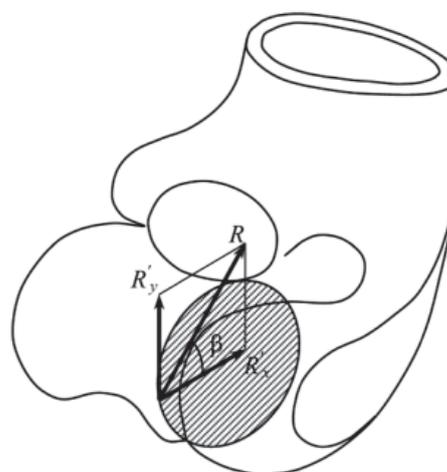


Рис. 2. Реактивные усилия, действующие на сустав

Расчеты прочности дистального отдела плечевой кости с переломом головчатого возвышения, а также сравнительный анализ прочности соединения костных отломков проводили различными способами остеосинтеза головчатого возвышения (остеосинтез компрессирующим винтом, остеосинтез двумя перекрещивающимися спицами Киршнера, остеосинтез параллельно проведенными

спицами Киршнера со стягивающей петлей).

При способе внутренней фиксации, когда в качестве металлофиксатора использовали компрессионный винт (рис. 3), нестабильность фиксации может произойти при смещении отломков, а также если сила трения будет меньше вертикальной реакции, и если произойдет разрушение кости в зоне резьбы винта либо под головкой винта.

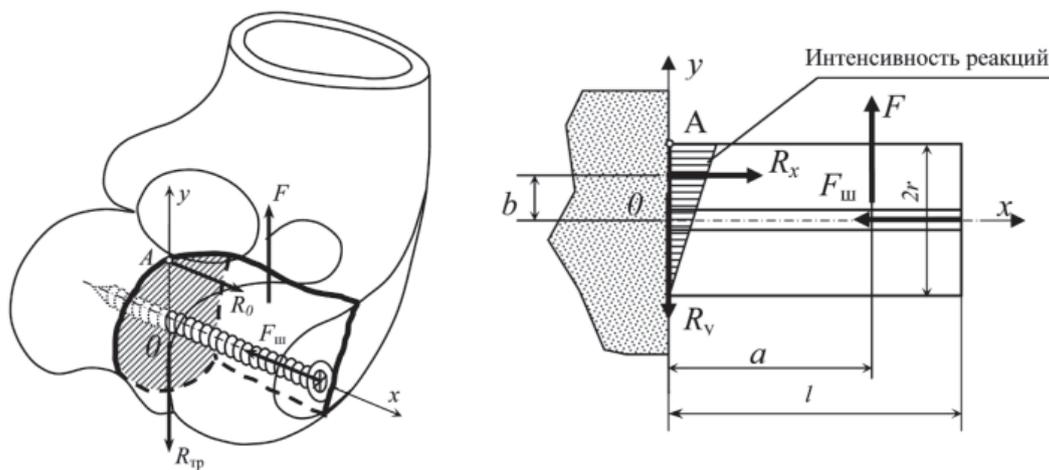


Рис. 3. Усилы, действующие на отломленную часть при соединении компенсирующим винтом (слева) и усилы, действующие на отломленную часть в плоскости xOy после затяжки шурупа (справа)

При моделировании способа внутренней фиксации костных отломков двумя перекрещивающимися

спицами использовали схему действующих сил, представленную на рис. 5.

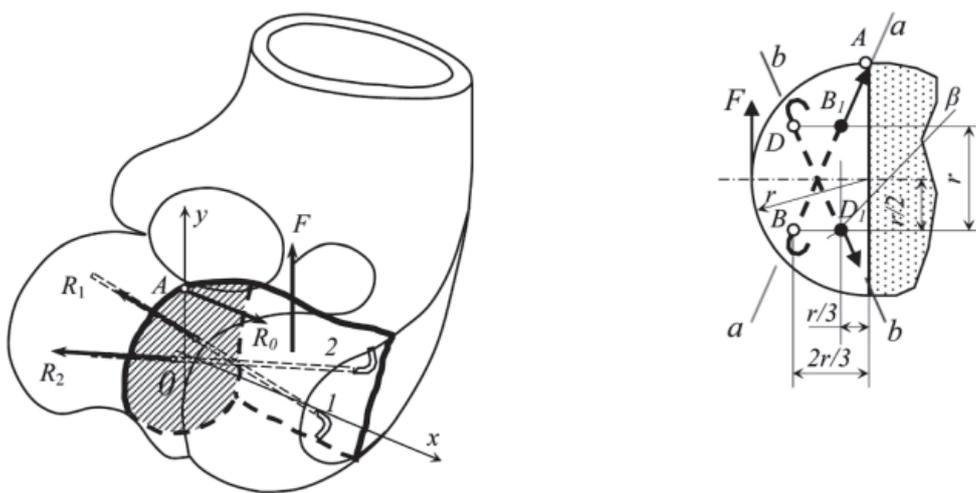


Рис. 4. Усилы, действующие на отломки при фиксации двумя перекрещивающимися спицами (слева) и схема действующих сил при фиксации двумя перекрещивающимися спицами (справа)

Проведены вертикальные плоскости через каждую из спиц. Плоскость $a-a$ включает в себя спицу 1 с точкой пересечения

поверхности контакта B_1 , а плоскость $b-b$ – спицу 2 с точкой пересечения поверхности контакта D_1 . Учитывали силы, действующие

в вертикальной плоскости $b-b$, силу трения спицы о кость $R_2 = R_{\text{тр}} = 67,9$ Н. В результате получили:

$$F \geq 2 \cdot 67,9 \frac{10}{20} \cos 18,4^\circ \cos 18,4^\circ = 61,1 \text{ Н.}$$

При моделировании внутренней фиксации спицами со стягивающей петлей использовали схему действующих сил на отломок, представленную на рис. 5, где F – мышечная сила; R_1, R_2 – усилия тре-

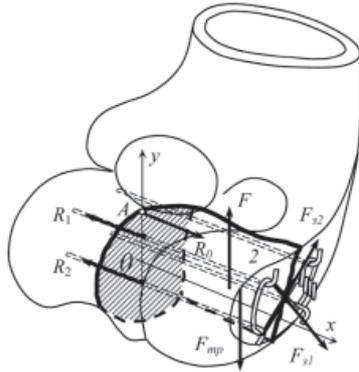


Рис. 5. Усилия, действующие на отломленную часть при соединении четырьмя параллельными спицами

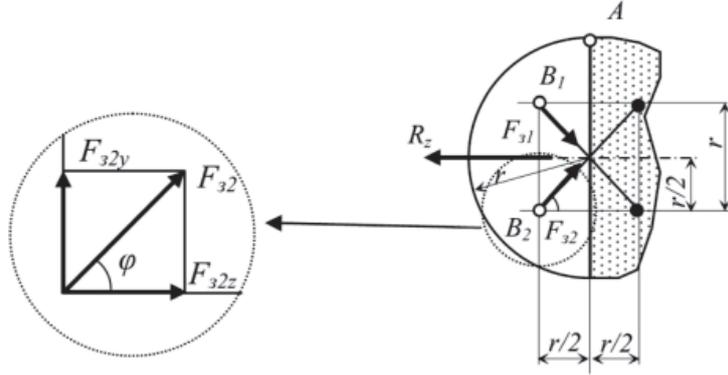


Рис. 6. Схема действующих сил при начальной затяжке петли в соединении параллельными спицами;

F_{31} – усилие затяжки проволоки на спице 1;
 F_{32} – усилие затяжки проволоки на спице 2

Численный расчет по формуле

$$F \geq f \sigma_m \frac{\pi d_n^2}{4} \frac{a_1}{a} \cos \varphi + 2R \frac{r}{a} + \sigma_m \frac{\pi d_n^2}{4} \frac{l}{a} \sin \varphi,$$

где принято $\sigma_m = 240$ Мпа; $R_1 = R_2 = R = 67,9$ Н; $d_n = 0,8$ мм дает значения:

$$F \geq 0,2 \cdot 240 \cdot 10^6 \frac{\pi \cdot 0,7^2 \cdot 10^{-6}}{4} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} + 2 \cdot 67,9 \cdot \frac{10}{20} +$$

$$+ 240 \cdot 10^6 \frac{\pi \cdot 0,7^2 \cdot 10^{-6}}{4} \cdot \frac{30}{20} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 213 \text{ Н.}$$

Заключение

Сравнительный анализ математического моделирования рассмотренных способов остеосинтеза показал, что наименее стабильным является соединение костных отломков компрессирующим винтом, а наиболее стабильным – соединение костных отломков параллельно введенными спицами со стягивающей петлей. При этом способе возникают наибольшие усилия, требующиеся для нарушения целостности соединения ($F = 101,85$ Н), а наименьшие – в случае соединения компрессирующим винтом ($F = 27,8$ Н). Следовательно, при переломе головчатого возвышения плечевой кости остеосинтез костных отломков параллельно

введенными спицами со стягивающей петлей из рассмотренных способов является наиболее стабильным.

введенными спицами со стягивающей петлей из рассмотренных способов является наиболее стабильным.

Список литературы

1. Жабин Г.И., Шахизи Ф., Федюнина С.Ю. Оскольчатые переломы мыщелка плеча у взрослых (классификация и показания к выбору фиксатора) // Травматология и ортопедия России. – 2003. – № 1. С. 38–41.
2. Зацюрский В.М., Аруин А.С., Селуянов В.Н. Биомеханика двигательного аппарата человека. – М.: Физкультура и спорт, 1981. – 142 с.
3. Казарезов М.В., Бауэр Н.В., Королева А.М. Травматология, ортопедия и восстановительная хирургия. – Новосибирск, 2004. – С. 132–137.
4. Мателенок Е.М., Михайлов С.Р. Способ напряженно-го остеосинтеза переломов дистального конца плечевой ко-

сти // Ортопедия, травматология и протезирование. – 2000. – № 1. – С. 45–48.

5. Оперативное лечение повреждений головки мыщелка плечевой кости (обзор литературы) / А.В. Богданов [и др.] // Травматология и ортопедия России. – 2006. – № 3 (41). – С. 82–87.

6. Biomechanical comparison of interfragmentary compression in transverse fractures of the olecranon / J. Wilson [et al.] // J. Bone Joint Surg. – 2011. – Vol. 93. – B, № 2. – P. 245–250.

7. Cyclic loading of olecranon fracture fixation constructs / D.T. Hutchinson [et al.] // J. Bone Joint Surg. – 2003. – Vol. 85-A. – P. 831–837.

8. Ertl J.P. Capitellar fracture // eMedicine. – 2004. – P. 8.

9. Haberkorn-Butendeich E. Die Kraft des Musculus triceps brachii: diss. Saarbrücken. – 1973. – P. 120.

10. Transverse fractures of the olecranon: a biomechanical comparison of three fixation techniques / H. Sadri [et al.] // Arch. Orthop. Trauma Surg. – 2011. – Vol. 131, № 1. – P. 131–138.

References

1. Zhabin G.I., Shahizi F., Fedjunina S.Ju. Travmatologija i ortopedija Rossii. 2003. no. 1. pp. 38–41.

2. Zaciorskij V.M., Aruin A.S., Selujanov V.N. Biomehanika dvigatel'nogo apparata cheloveka. M.: Fizkul'tura i sport, 1981. 142 p.

3. Kazarezov M.V., Baujer N.V., Koroleva A.M. Travmatologija, ortopedija i vosstanovitel'naja hirurgija. Novosibirsk, 2004. pp. 132–137.

4. Matelenok E.M., Mihajlov S.R. Ortopedija, travmatologija i protezirovanie. 2000. no. 1. pp. 45–48.

5. Bogdanov A.V. Travmatologija i ortopedija Rossii. 2006. no. 3 (41). pp. 82–87.

6. Biomechanical comparison of interfragmentary compression in transverse fractures of the olecranon. J. Wilson [et al.]. J. Bone Joint Surg. 2011. Vol. 93 B, no. 2. pp. 245–250.

7. Cyclic loading of olecranon fracture fixation constructs. D.T. Hutchinson [et al.]. J. Bone Joint Surg. 2003. Vol. 85-A. pp. 831–837.

8. Ertl J.P. Capitellar fracture. eMedicine. 2004. pp. 8.

9. Haberkorn-Butendeich E. Die Kraft des Musculus triceps brachii: diss. Saarbrücken, 1973. pp. 120.

10. Transverse fractures of the olecranon: a biomechanical comparison of three fixation techniques. H. Sadri [et al.]. Arch. Orthop. Trauma Surg. 2011. Vol. 131, no. 1. pp. 131–138.

Рецензенты:

Алейников А.В., д.м.н., профессор, руководитель Нижегородского регионального травматологического центра, ГБУЗ «Нижегородская областная клиническая больница имени Н.А. Семашко» г. Нижний Новгород;

Ежов И.Ю., д.м.н., заведующий отделением травматологии и ортопедии КБ № 4 ФГБУ «ПОМЦ ФМБА России», доцент кафедры хирургии ФПКВ Нижегородской государственной медицинской академии Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Нижний Новгород.

Работа поступила в редакцию 15.08.2013.