

А. И. Бодня¹, Ю. Н. Сви́нарев², А. И. Попов³, А. А. Харламов³

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЧРЕСКСТОТНОГО И НАКОСТНОГО ОСТЕОСИНТЕЗА КОСТЕЙ ПРЕДПЛЕЧЬЯ

¹Одесский национальный медицинский университет, Украина

²Одесский национальный политехнический университет, Украина

³Городская клиническая больница № 11, Одесса, Украина

Summary. Bodnya A. I., Svinarev U. N., Popov A. I., Kharlamov A. A. **COMPARATIVE ANALYSIS OF STRESS-STRAIN STATE OF PLATE AND TRANSOSSEOUS OSTEOSYNTHESIS OF BONES OF THE FOREARM.** Conducted experimental and theoretical researches on comparative stress-strain state in the spatial structures for transosseous osteosynthesis plate and the bone of the forearm. Static calculations were performed using software ANSYS, the mathematical basis is the terminal elements method. Mathematical modelling and stiffness research of models of transosseous osteosynthesis plates showed that the stiffness of developed device exceeds by 1.79-4.43 times models of existing bone plates.

Key words: forearm, apparatus, plates, experiment

Реферат. Бодня А. И., Сви́нарев Ю. Н., Попов А. И., Харламов А. А. **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЧРЕСКСТОТНОГО И НАКОСТНОГО ОСТЕОСИНТЕЗА КОСТЕЙ ПРЕДПЛЕЧЬЯ.** Проведены экспериментально-теоретические исследования по сравнительному определению напряжённно-деформированного состояния в пространственных конструкциях для чрескостного и накостного остеосинтеза костей предплечья. Статические расчёты выполнены с помощью программного комплекса ANSYS, математической основой которого является метод конечных элементов. Математическое моделирование и исследование жёсткости моделей чрескостного и накостного остеосинтеза показали, что жёсткость модели разработанного устройства превышает в 1,79-4,43 раза модели накостных пластин.

Ключевые слова: предплечье, аппарат, пластины, эксперимент

Реферат. Бодня О. І., Сви́нарьов Ю. М., Попов О. І., Харламов О. А. **ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЧЕРЕЗКІСТКОВОГО ТА НАКІСТКОВОГО ОСТЕОСИНТЕЗУ КІСТОК ПЕРЕДПЛІЧЧЯ.** Проведені експериментально-теоретичні дослідження з порівняльного визначення напружено-деформованого стану у просторових конструкціях для черезкісткового та накісткового остеосинтезу кісток передпліччя. Статичні розрахунки виконано за допомогою програмного комплексу ANSYS, математичною основою якого є метод кінцевих елементів. Математичне моделювання та дослідження жорсткості моделей черезкісткового та накісткового остеосинтезу показали, що жорсткість моделі розробленого пристрою перевищує 1,79-4,43 рази моделі накістних пластин.

Ключові слова: передпліччя, апарат, пластини, експеримент

Введение. Тактика лечения диафизарных переломов костей предплечья, применяемая в отечественной травматологии и за рубежом, значительно отличается, поскольку существуют разногласия в оценке эффективности применяемых методов оперативного лечения [1, 4]. Бесспорное преимущество погружного остеосинтеза заключается в открытой репозиции и внутренней фиксации костей предплечья. Открытая репозиция – довольно травматичное вмешательство, где для фиксации диафизарных переломов костей предплечья применяют различные виды пластин, многообразие конструкций которых свидетельствует как об их достоинствах, так и о недостатках [8]. Накостный остеосинтез в системе «металл-кость» с точки зрения механики представляет собой весьма далёкий от совершенства способ соединения фрагментов кости, так как действующие силы сжатия приложены эксцентрично [6]. Сравнительных данных исследований стабильности, касающейся способности оказывать сопротивление деформациям при чрескостном и наkostном остеосинтезе костей предплечья, в доступной литературе мы не нашли.

Цель работы: произвести на основе компьютерного моделирования сравнительную оценку жёсткости фиксации отломков при изолированных переломах локтевой и лучевой костей, а также повреждении обеих костей предплечья на разных уровнях в разработанном нами устройстве стержневого типа и различных наkostных пластин.

Материал и методы исследования

В соответствии с поставленными задачами нами разработано и внедрено в клиническую практику устройство стержневого типа, которое принадлежит к одноплоскостным внешним фиксаторам, собранных на основе стандартных деталей аппарата Илизарова и «Остеомеханик» [3].

Для сравнения показателей стабильности использовали различные конструкции пластин, которые применяют при наkostном остеосинтезе диафизарных переломов костей предплечья (рис. 1).



Рис. 1 Объекты исследования:

- а) реконструктивная пластина – №1; б) пластина АО – №2;
- в) пластина Полякова В.А. – №3; г) желобоватая пластина – №4

Среди весьма разнообразных видов методик экспериментальных исследований мы применили натурную модель и математическое моделирование. Математические расчёты выполнены в соответствии с международным стандартом (ISO) лицензированным программным комплексом ANSYS [7], применительно к предложенному нами устройству стержневого типа и наkostных пластин для сравнительного определения жёсткости фиксации костей предплечья.

Математическое моделирование основано на использовании метода конечных элементов (МКЭ) в расчётах прочности, жёсткости и устойчивости конструкций из разнородных материалов с существенно различными физико-механическими свойствами. С точки зрения сопротивления материалов составляющие элементы способов фиксации представляют собой пространственные стержневые системы, для которых преимущественным видом деформации является изгиб и кручение. Показателем стабильности остеосинтеза костей предплечья является коэффициент жёсткости линейных и угловых перемещений, который чем выше, тем стабильнее система. Расчёты жёсткости

фиксации отломков костей предплечья различными конструкциями проводили при определённых условиях:

- рассматриваемую модель предплечья в проксимальной её части считали неподвижной (жёсткое защемление);

- дистальная часть модели предплечья при повреждении на разных уровнях нагружалась внешней пространственной системой единичных сил и моментов в трёх ортогональных плоскостях.

На рис. 2 приведены граничные условия, которые обеспечивают достаточную точность решения поставленной задачи.

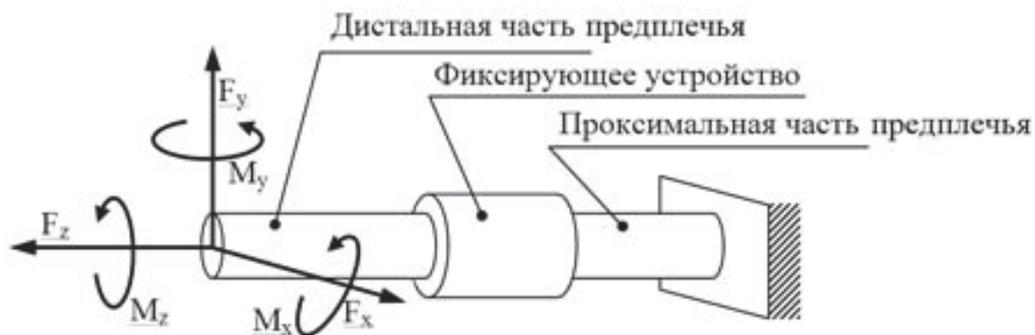


Рис. 2 Схема внешней пространственной системы единичных сил и моментов на модели предплечья

В результате расчётов определялись линейные и угловые перемещения дистальной части модели предплечья относительно своего равновесного положения, величина которых характеризует жёсткость конструкции. Соотношение величины эквивалентных перемещений дистальной части модели предплечья в различных конструкциях показывает соотношение жёсткостей фиксации отломков костей предплечья этими конструкциями.

В обоих случаях условия закрепления были таковы, что они предотвращали движение конструкции, но не влияли на деформации. Геометрические и механические характеристики исследуемых аппаратов определялись по известным зависимостям механики деформируемого твердого тела, экспериментальным данным и справочным материалам [2, 5].

Изгибную жёсткость конструктивных элементов вычисляли как произведение модуля Юнга (модуль упругости второго рода) E (МПа) и момента инерции поперечного сечения элемента I (мм²). Таким образом, модуль упругости кости человека принимали равным за $E_k = 2 \cdot 10^4$ МПа; модуль упругости стали: $E_{cm} = 2,1 \cdot 10^5$ МПа; модуль упругости титана: $E_m = 1,2 \cdot 10^5$ МПа.

Следует отметить, результаты расчётов показали, что относительная жёсткость исследуемых конструкций не зависела от уровня перелома, поэтому в дальнейшем при сравнении конструкций мы приводим полученные данные исследований на уровне средней трети костей предплечья.

При рассмотрении стержневого аппарата внешней фиксации костей предплечья (рис. 3), с целью предотвращения изменения пространственного положения костей, к её проксимальному торцевому сечению накладывались ограничения как осевых смещений в направлениях осей X , Y , Z , так и углов поворотов φ_x , φ_y , φ_z вокруг этих осей.

Для сравнения показателей жёсткости при накомстом остеосинтезе костей предплечья нами проведен численный анализ напряжённого и деформируемого состояния (НДС) четырёх моделей конструкций. В качестве примера приводим полученные данные расчётов жёсткости фиксации различными пластинами лучевой кости при переломе на уровне средней трети. Расчёт проводили с помощью МКЭ, компьютерное моделирование выполняли с применением лицензионных CAD/CAE систем (рис. 4)

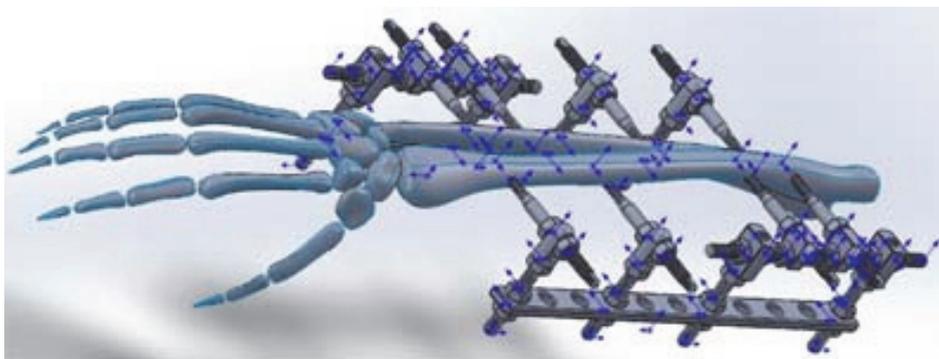


Рис. 3 Общая модель стержневого аппарата внешней фиксации

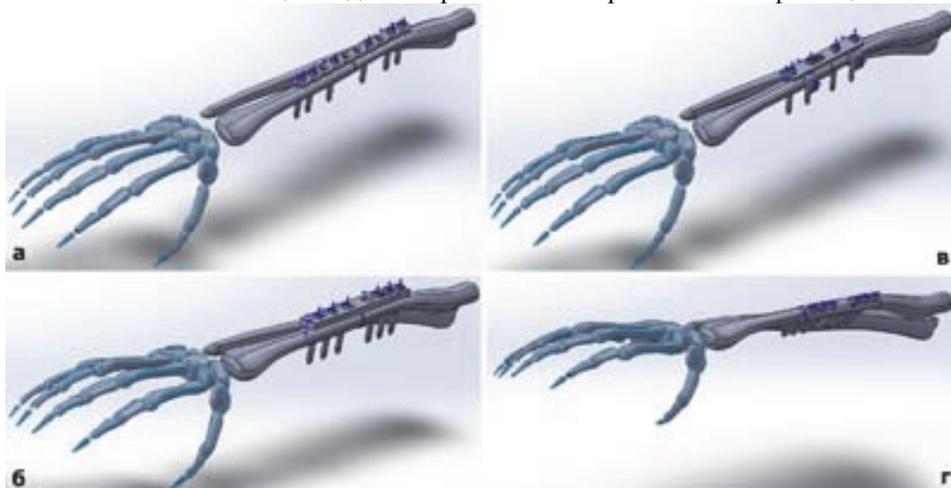


Рис. 4 Компьютерные модели объектов исследования:

- а) модель пластины № 1 – L120 мм; б) модель пластины № 2 – L100 мм;
- в) модель пластины № 3 – L90 мм; г) модель пластины № 4 – L100 мм

Соотношение величины эквивалентных перемещений дистальной части модели предплечья в различных конструкциях показывает соотношение жёсткостей фиксации отломков костей предплечья этими конструкциями.

Результаты и их обсуждение. В результате расчётов определялись линейные и угловые перемещения дистальной части модели предплечья относительно своего равновесного положения, величина которых характеризует жёсткость конструкции. Показатели НДС для каждой из моделей пластин и стержневого аппарата представлены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительные результаты численного анализа

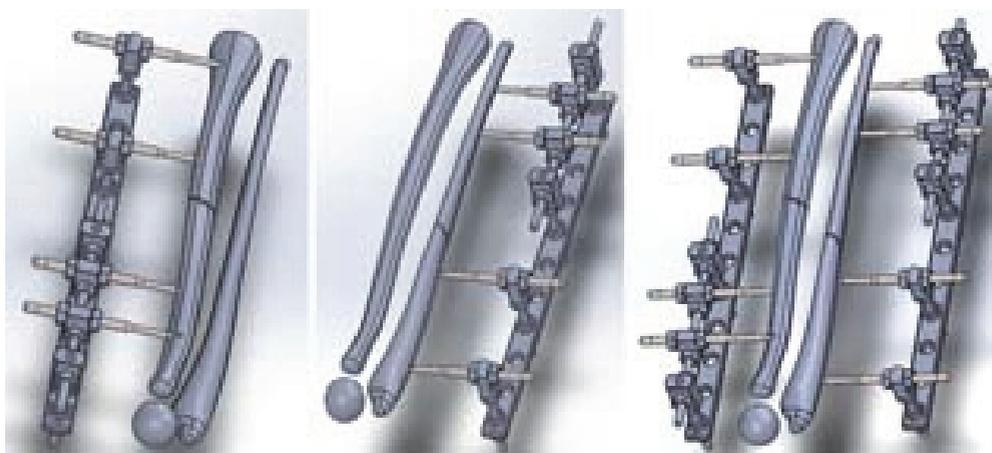
Объект исследования	Численное значение деформации (мм)
Стержневой фиксатор	$\Delta_{c.ф.} = 0,0267$
Модель пластины № 1	$\Delta_{№1} = 0,1183$
Модель пластины № 2	$\Delta_{№2} = 0,06141$
Модель пластины № 3	$\Delta_{№3} = 0,0478$
Модель пластины № 4	$\Delta_{№4} = 0,07$

Анализ полученных результатов численного эксперимента выявил отличия НДС элементов модели лучевой кости в зависимости от применяемых моделей конструкций пластин для накостного остеосинтеза, позволяющий сделать вывод о том, что компьютерная модель пластины № 3 показала наивысшую (0,0478 мм) жёсткость фиксации среди исследуемых моделей пластин. Очевидно, что модель стержневого аппарата фиксации обладает наилучшими качествами, поскольку параметры жёсткости (0,0267 мм) в сравнении с моделью пластины № 1 превышают в 4,43 раза, модели пластины № 4 – в 2,62 раза, модели пластины № 2 – в 2,3 раза и модели пластины № 3 – в 1,79 раз.

Исходя из полученных сравнительных данных в нашей работе проведен также анализ показателей жёсткости фиксации модели стержневого аппарата внешней фиксации и модели накостной пластины № 3 при изолированных переломах на разных уровнях лучевой, локтевой и обеих костей предплечья.

В качестве примера приводим полученные данные расчётов жёсткости фиксации модели аппарата внешней фиксации стержневого типа, разработанного нами, и модели накостной пластины № 3 при изолированных переломах лучевой и локтевой костей, а также обеих костей предплечья на уровне средней трети.

Исследуемые расчётные модели стержневого аппарата и модели пластины №3 представлены на рис. 5 и 6, соответственно.



а

б

в

Рис. 5 Расчётные модели стержневого аппарата при повреждении лучевой (а), локтевой (б) и обеих костей (в) предплечья



а

б

в

Рис. 6 Расчётная модель пластины № 3 при повреждении лучевой (а), локтевой (б) и обеих костей (в) предплечья

Граничные условия и внешние нагрузки аналогичны рассмотренным ранее случаям (пространственная нагрузка и шарнирные соединения). Показатели перемещений при нагрузке для каждого из вариантов остеосинтеза костей предплечья приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты статических расчётов жёсткости различных способов фиксации переломов костей предплечья в средней трети

Модель исследования	Δ мм		
	лучевая кость	локтевая кость	обе кости
Стержневой аппарат	0,0344	0,0267	0,0352
Модель пластины № 3	0,0677	0,0478	0,0693

Анализ полученных результатов выявил отличия НДС элементов модели костей предплечья, в зависимости от применяемых конструкций для внешнего и погружного остеосинтеза, свидетельствующий о том, что жёсткость фиксации модели стержневого аппарата превышает в 1,79-1,97 раз модель пластины № 3. Однако, общим для обоих фиксаторов является то, что жёсткость фиксации не увеличивается при изолированных переломах костей предплечья. Это объясняется тем, что жёсткость фиксации отломков стержневым аппаратом или пластиной на несколько порядков выше, чем жёсткость соединения лучевой и локтевой костей в радиоульнарных сочленениях, в которых имеется подвижность.

Выводы. Результаты многочисленных расчётов и анализ НДС внешней и погружных конструкций для остеосинтеза переломов костей предплечья позволяют утверждать, что предложенная нами модель стержневого аппарата внешней фиксации обладает наилучшими качествами по параметрам характеристик прочности и жёсткости в рамках проведенных исследований и поставленной задачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Білінський П.І. Практичні аспекти сучасного остеосинтезу : посібник / П.І. Білінський. – К. : ТОВ «АНТ», 2013. – 144 с.
2. Основи опору матеріалів : навч. посібник / В.С. Кравчук, О.Ф. Дашенко, Л.В. Коломієць, О.М. Лимаренко. – Одеса : СТАНДАРТЪ, 2014. – 322 с.
3. Патент України на корисну модель № 87293 UA МПК А61В 17/58 (2006.01) Пристрій для черезкіського остеосинтезу діафізарних переломів кісток передпліччя / О.І. Бодня, Баккар Тарек. – № а 201300787; заявл. 23.01.13; опубл. 10.02.14, Бюл. № 3. – 4 с.
4. Побел Е.А. Результаты лечения пациентов с диафизарными переломами длинных костей конечностей (ретроспективный анализ) / Е.А. Побел // Ортопедия, травматология и протезирование. – 2012. – № 4. – С. 90-93.
5. Сопротивление материалов деформированию и разрушению : справочное пособие / В.Т. Трощенко, А.Я. Арнольд, В.В. Покровский и др.; отв. ред. В.Т. Трощенко – К. : Наукова думка, 1993. – Ч.1. – 242 с.; Ч.2. – 700 с.
6. Ульянов А.В. Накостный компрессионно-динамический остеосинтез диафизарных переломов костей предплечья : дис. ... канд. мед. наук : 14.00.22 / Ульянов Анатолий Вячеславович. – М., 2005. – 94 с.
7. ANSYS Workbench. User's Guide. Release 12.1, 2009. – 124 p.
8. Leung F. Locking compression plate in the treatment of forearm fractures: a prospective study / F. Leung, S.P. Chow // J. Orthop. Surg. – 2006, Dec.; 14(3): 291-294.

REFERENCES

1. Belinskiy P.I. Practical aspects of modern osteosynthesis : a manual / P.I. Belinskiy. – K. : LLC "ANT", 2013. – 144 p.

2. Fundamentals of strength of materials : textbook. the manual / V.S. Kravchuk, A.F. Dashchenko, L.V. Kolomiets, A.M. Limarenko. – Odessa : STANDARD, 2014. – 322 p.
3. Patent of Ukraine for useful model № 87293 UA IPC A61B 17/58 (2006.01) a Device for ceresco osteosynthesis of diaphyseal fractures of the forearm / A.I. Bodnya, Bakkar Tarek. – № а 201300787; appl. 23.01.13; publ. 10.02.14, Bul. № 3. – 4 p.
4. Pobel E.A. Results of treatment of patients with diaphyseal fractures of long bones of extremities (retrospective analysis) / E.A. Pobel // Orthopedics, traumatology and prosthetics. – 2012. – № 4. – P. 90-93 p.
5. Resistance of materials to deformation and fracture : reference book / V.T. Troshchenko, A.I. Arnold, V.V. Pokrovskiy and others; resp. edited by V.T. Troshchenko – K. : Naukova Dumka, 1993. – Part 1. – 242 p.; Part 2. – 700 p.
6. Ulyanov A.V. compression Plate-dynamic osteosynthesis of diaphyseal forearm fractures : dis. ... candidate. honey. sciences : 14.00.22 / Ulyanov, Anatoly Vyacheslavovich. – M., 2005. – 94 p.

УДК 617-089.844

О. С. Герасименко^{1,2}, *И. Т. Гайдаржи*^{1,2}, *О. Б. Тымчук*, *М. А. Кошиков*²

РОЛЬ КОЖНОЙ ПЛАСТИКИ В РЕКОНСТРУКТИВНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ХИРУРГИИ

Одесский национальный медицинский университет¹
Военно-медицинский клинический центр Южного Региона²

Summary. Herasymenko O. S., Gaydarzhi I. T., Tymchuk O. B. Koshikov M. O. **THE ROLE OF SKIN GRAFTING IN RECONSTRUCTIVE SURGERY.** – *Odessa National Medical University, Military Medical Clinical Centre of the Southern Region, Odessa, Ukraine.* Objective: to determine the role of skin grafting in reconstructive surgery. The main results and conclusions. Uncomplicated postoperative period after plastic surgery, good aesthetic and functional results stated by us in 95,1% of cases. Noted complications were noted in 4,9% of cases: wound infection under the graft - 1,3%, necrosis of the flaps at free types of plastics - 2.1%, rejection of organ transplants is 1.5%, of which 0.7 percent in the case of plastic flap split and 0.2% at pouroshova skin grafting. Secondary plastic closure of wounds was wykonano in 3.3% of cases. Complications after re-operations were not. Active surgical tactics of treatment of extensive defects using various types of plastic wound closure can significantly reduce the time of hospital treatment, to improve functional and aesthetic results, reduce the number of repeat operations.

Keywords: extensive soft tissue defects, skin grafting, active surgical tactics.

Реферат. Герасименко О. С., Гайдаржи И. Т., Тымчук О. Б., Кошиков М. А. **РОЛЬ КОЖНОЙ ПЛАСТИКИ В РЕКОНСТРУКТИВНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ХИРУРГИИ.** Цель исследования: Определить роль кожной пластики в реконструктивно-восстановительной хирургии. Основные результаты и выводы. Неосложненное послеоперационное течение после пластических вмешательств, хорошие эстетические и функциональные результаты констатированы нами в 95,1% наблюдений. Осложнения отмечены в 4,9% наблюдений: нагноение раны под трансплантатом - 1,3%, некрозы лоскутов при свободных видах пластики - 2,1%, отторжение трансплантатов - 1,5%, из них 0,7% при пластике расщепленным лоскутом и 0,2% при полнослойной кожной пластике.