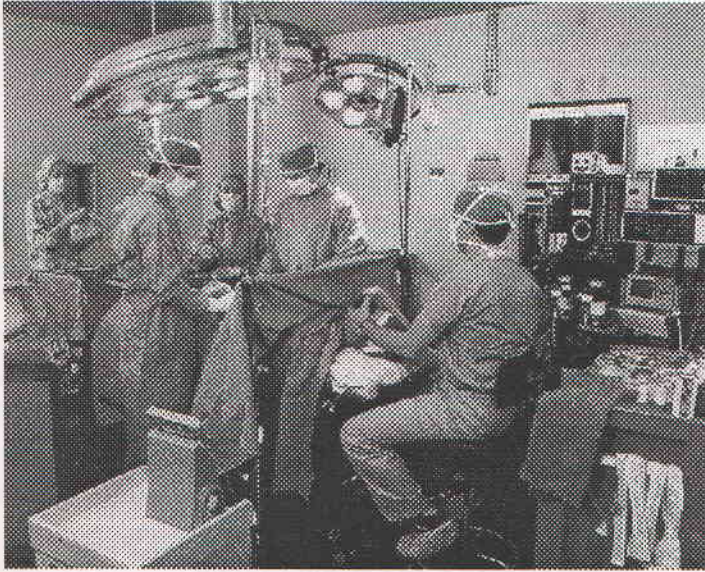


Петербургский
журнал



Электронно
журнал

2
1997



В. П. Хомутов, В. Л. Ласка

ТЕХНОЛОГИИ ВПК В ХИРУРГИИ КОСТЕЙ

Более чем столетняя история внутреннего остеосинтеза свидетельствует о постоянном совершенствовании основных принципов хирургического лечения и технических средств фиксации переломов. Эмпирически разработанные конструкции Лейна, Ламботта, Шермана, основанные на механических концепциях без учета биологических свойств костной ткани, а также современные имплантаты для фиксации переломов, замещения дефектов кости, эндопротезирования суставов и коррекции позвоночника, как правило, не учитывают биомеханических и физиологических аспектов функционирования фиксаторов, что является причиной развития осложнений.

Особенно интенсивно остеосинтез развивался в течение последних 30 лет, когда был сделан большой шаг вперед в фундаментальных исследованиях процессов остеорепарации, открытии новых материалов, модернизации имплантатов, совершенствовании хирургической технологии, развитии средств анестезиологического обеспечения и предупреждения гнойных осложнений. Разработка компрессионного остеосинтеза стала важным этапом в развитии методов внутренней фиксации при переломах костей. Обеспечение взаимодействия отломков позволило добиться большей устойчивости соедине-

ния и повысило его надежность. Создание фиксаторов с большим запасом прочности дает возможность отказаться от внешней иммобилизации гипсовой повязкой и проводить раннее восстановительное лечение.

Однако несмотря на то, что внутренняя фиксация современными имплантатами обеспечивает соблюдение основных принципов остеосинтеза, число неудач все еще велико и достигает 30%. И тем не менее, остеосинтез стал самой частой и универсальной операцией в хирургии повреждений и заболеваний костей и суставов. Высокая эффективность и экономическая рентабельность способствовали быстрому распространению остеосинтеза и его признанию более чем в 90 странах мира.

Разработка новых методов лечения костных переломов является важной народно-хозяйственной задачей — это положение легко подтвердить, рассмотрев статистические данные о состоянии травматизма в Санкт-Петербурге. Так, в 1996 г. в структуре общей заболеваемости взрослых травмы составили 12% и заняли четвертое место, уступая только болезням органов дыхания, кровообращения, нервной системы и органов чувств. Однако если учитывать лишь острые, впервые возникшие в данном году случаи этих заболеваний, то травмы выходят на

второе место, причем рост соответствующих показателей происходит за счет увеличения обращаемости при переломах верхних и нижних конечностей. В табл. 1 приведены данные о структуре травм и отравлений в разных возрастных группах населения Санкт-Петербурга в 1996 г. в процентах от числа обратившихся за листком о нетрудоспособности.

Как свидетельствуют приведенные данные, в целом из всех травм на долю повреждений опорно-двигательной системы приходится 84,5% случаев (позиции 1+2+3+4+7). По сравнению с 1986 г. рост травматизма на производстве составил 180% и произошел за счет увеличения обращаемости при переломах верхних и нижних конечностей, т. е. именно тех случаев травм, совершенствование лечения которых является насущной задачей реконструктивной хирургии костей.

Несмотря на обширное разнообразие существующих методов и конструкций фиксаторов по функциональному предназначению, остеосинтез можно разделить на репозиционный (нестабильный), компрессионный (стабильный) и электромеханический (стабильный, упругонапряженный).

Совершенствование концепций внутренней фиксации, технических средств и хирургической техники, системы восстановительного лечения способствуют определенной унифицированности остеосинтеза в стандартных клинических ситуациях. Выполнение типичных операций типичными имплантатами позволяют ожидать типичного благоприятного результата. Однако оценивая достоинства стандартизации остеосинтеза, нельзя не видеть недостатков монополизации одной концепции. Определение показаний, выбор метода фиксации и имплантата, технологии операции для достижения оптимальных результатов — все эти действия должны проводиться с учетом механических, биологических и прогностических требований.

Достигнув совершенства, механические принципы остеосинтеза исчерпали себя. Относительность одного из основных требований, состоящего в абсолютном обездвиживании костных отломков до полного их сращения, а также обеспечение функции кости как механоэлектрического преобразователя и явная зависимость остеорепаляции от адекватности биоэлектrogenеза являются научной базой для разработки новых способов, которые по возможности сочетали бы все достоинства стабильного остеосинтеза и исключали его недостатки, связанные с

Таблица 1

СТРУКТУРА ТРАВМ И ОТРАВЛЕНИЙ В РАЗЛИЧНЫХ ВОЗРАСТНЫХ ГРУППАХ ЖИТЕЛЕЙ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА В 1996 Г. (в %)

№ позиции	Повреждения	Дети (0-14 лет)	Подростки (15-17 лет)	Взрослые (18 и более лет)	В среднем
1	Переломы черепа, позвоночника и костей туловища	1,7	3,2	3,2	2,7
2	Переломы костей верхних конечностей	12,8	7,6	0,8	7,1
3	Переломы костей нижних конечностей	5,2	4,3	6,4	5,3
4	Вывихи (без переломов), растяжения, деформации суставов и мышц	9,3	10,1	8,1	9,1
5	Внутричерепные травмы (без перелома черепа)	4,1	4,0	4,0	4,0
6	Травмы внутренних органов	0,1	0,3	0,2	0,2
7	Раны, поверхностные повреждения, инородные тела, ушибы и размозжения	58,2	61,5	61,2	60,3
8	Ожоги	4,6	2,6	4,1	3,9
9	Травмы нервов и спинного мозга	0,01	0,1	0,1	0,1
10	Отравления	0,1	0,2	0,2	0,2
11	Прочие	3,89	6,1	11,4	7,1

По неполным данным потери, связанные с временной нетрудоспособностью по поводу травм, в 1996 г. только в Санкт-Петербурге составили более 5 тыс. человеко-лет.

частичным или полным игнорированием биомеханических и биоэлектрических процессов в кости. В связи с этим дальнейшее развитие внутреннего остеосинтеза возможно, на наш взгляд, в следующих направлениях.

1. Совершенствование методов внутренней фиксации с учетом биомеханических и электрофизиологических факторов. Для оптимизации процессов костной регенерации необходима микроподвижность костных отломков в катаболической фазе мозолеобразования и перестройки костного регенерата при физиологических нагрузках.

2. Разработка и создание имплантатов, обеспечивающих равноупругие механические свойства фиксатора и кости и не исключающих биоэлектrogenез. Их использование должно отличаться простотой, удобством, технологичностью, надежностью, малой площадью соприкосновения имплантата с костью.

3. Поиск новых имплантационных материалов, обладающих достаточной прочностью и эластичностью, биосовместимостью, возможностью создания диэлектрических и электретьных покрытий в интересах остеорепарации.

4. Совершенствование хирургической техники и технических средств остеосинтеза, обеспечивающих малую травматичность репозиции и точное анатомическое сопоставление отломков, минимальное обнажение кости при максимальном сохранении кровоснабжения отломков, регенерата и мягких тканей.

Таким образом, будущее остеосинтеза лежит в пересмотре основных положений и концепций в соответствии с законами структурно-функциональ-

ной адаптации, зависимости остеорепарации от восстановления биоэлектрических процессов, связанных с механическими нагрузками и деформацией костной ткани.

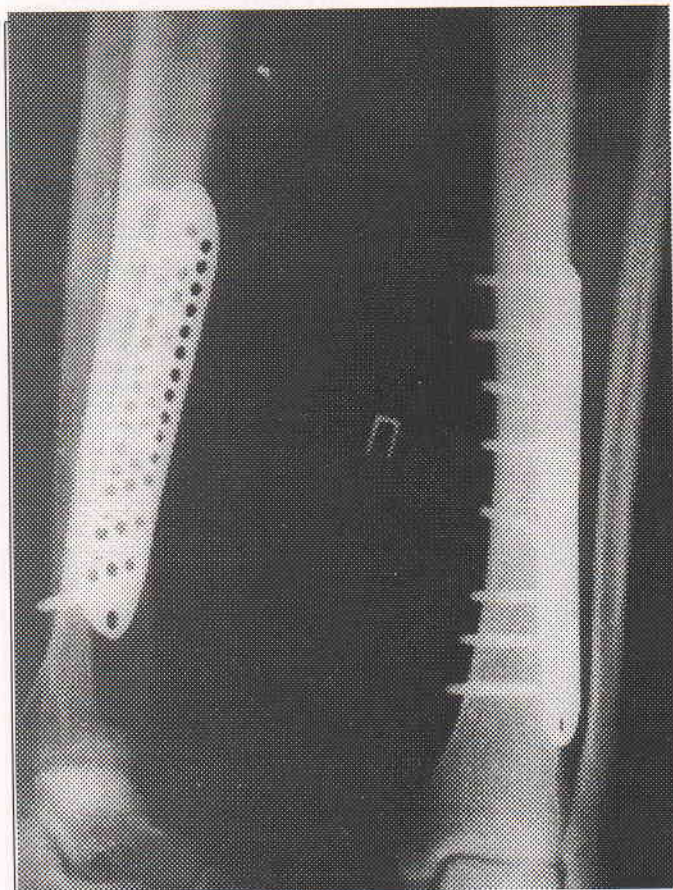
Важной особенностью современных методов лечения костных переломов, как вытекает из сказанного выше, является необходимость учета и активного использования электрофизических свойств человеческого организма. Многочисленные исследования однозначно свидетельствуют о том, что любые процессы в живом организме сопровождаются электрическими явлениями. В частности, костная ткань имеет свойства механоэлектрического преобразователя, максимум передаточной функции которого лежит в диапазоне частот около 1 Гц, близком к цикличности нагрузок на кости при ходьбе, причем на компрессируемой поверхности костной ткани появляется отрицательный заряд, а на растягиваемой — положительный. Не менее важным является следующий факт: в области отрицательных зарядов происходит формирование новообразующихся костных структур, а в области положительных зарядов — резорбция костной ткани. Отсюда вытекает логический вывод о возможности целенаправленного внешнего воздействия электрическим полем, которое приводило бы к искусственному созданию "электроотрицательности" костной ткани и, как следствие, к индукции костеобразования, т. е. ускорению и повышению качества



Хомутов Виктор Павлович, кандидат медицинских наук, старший преподаватель кафедры военной травматологии и ортопедии Военно-медицинской академии, научный руководитель центра стабильно-функционального остеосинтеза.

лечения переломов и заболеваний опорно-двигательной системы человека.

В настоящее время известны попытки использования в медицине различных методов электростимуляции: электромагнитных излучений различной частоты, ультразвука, постоянных электрических и магнитных полей, лучей оптических квантовых генераторов, вживление электродов и т. п. Однако для решения обсуждаемой проблемы нами используется отличная от всех известных конструкция, представляющая собой металлическую пластину-фиксатор, имплантируемую на место перелома с помощью винтов-саморезов (см. рисунок), с нанесенной на ее поверхность пленкой электретного материала. С помощью фиксаторов различной конфигурации, изготовленных из титана, удастся наиболее точно и механически прочно соединить костные отломки,



Рентгенограмма большеберцовой кости, фиксированной пластиной ТРХ

Известны применения электретов в качестве функциональных элементов микрофонов, электромеханических преобразователей, устройств ксерографии и в других областях техники, но применение электретов в травматологии и ортопедии аналогов не имеет.

что позволяет нагружать поврежденную конечность уже через несколько дней после операции. Электретные покрытия обладают собственным электрическим полем, которое в данной конструкции осуществляет непосредственное воздействие на поврежденную кость, в результате чего фиксатор превращается из пластины, обеспечивающей механическую фиксацию поврежденной кости, в физический электронный прибор, стимулирующий ее срастание в оптимальных, с точки зрения биоэнергетики, условиях.

Если изготовление титановой основы фиксатора является традиционной задачей металлообработки, то нанесение на его поверхность электретных покрытий связано с решением комплекса технических проблем, которое возможно только при использовании современных достижений технологии и металлосведения.

Электретными свойствами обладает широкий класс диэлектрических и полупроводниковых материалов, и основным из этих свойств является стимулированная способность создавать в некоторой области окружающего пространства квазистатическое электрическое поле. В простейшем случае возникновение поля можно представить как следствие поляризации дипольных молекул материала электрета под действием внешнего электрического поля и появления в связи с этим поляризационных зарядов, плотность которых медленно уменьшается со временем (эффект замораживания ориентирован-

ных диполей). В зависимости от природы материала электретные свойства в нем могут стимулироваться и другими внешними воздействиями, например, прямым облучением зарядами в коронном разряде, проникающей радиацией, контактной электризацией и др.

Проблема выбора материала электрета для использования в виде пленки на поверхности фиксаторов имеет принципиальное значение. В ходе предварительных обсуждений и медико-технологических экспериментов мы пришли к выводу, что в наибольшей степени требованиям медицины отвечает такой электрет, как окись тантала Ta_2O_5 . Это связано с тем, что основой окисла является тантал, который представляет собой благородный тугоплавкий металл, обладает рекордно высокой температурой плавления, уступая по этому показателю только вольфраму, высокой коррозионной стойкостью (растворяется только в плавиковой или смеси азотной и плавиковой кислот), и, что самое существенное, тантал — материал, который не отторгается живой тканью. Окись тантала также абсолютно биоинертна, является хорошим диэлектриком ($\epsilon \sim 28$), имеет высокие электретные свойства.

Сделав такой выбор, в дальнейшем необходимо определить технологические возможности нанесения на поверхность протяженных подложек сложной формы, каковыми являются титановые фиксаторы, сплошных, беспримесных, бездефектных, стехиометрических покрытий окиси тантала, обладающих высокой адгезией, равномерностью по толщине,

не, заданными электретными свойствами. Имеется два варианта решения этой задачи. Первый состоит в разработке технологии нанесения качественных пленок тантала с последующим их окислением методом электролитического анодирования; второй вариант, более предпочтительный, связан с поиском возможностей нанесения стехиометрических пленок Ta_2O_5 в рамках одного технологического процесса.

Несмотря на разнообразие методов пленочной технологии, нетрудно заключить, что в данном случае невозможно использование таких невакуумных методов, как диффузионное насыщение, металлизация распылением с образованием капельной фазы, осаждение из газовой фазы, электроосаждение, плакирование, использование экзотермических реакций и других. Каждый из этих методов имеет ряд специфических недостатков, наиболее общим из них является высокая плотность загрязняющих примесей в покрытии.

Ожидать удовлетворительных результатов при решении данной задачи можно только при использовании вакуумных методов пленочной технологии. Физическая сущность всех этих методов состоит в том, что исходное вещество, представляющее собой материал покрытия или входящее в состав наносимого покрытия, термически испаряется в вакууме $\sim 10^{-3}—10^{-5}$ Па или распыляется потоком ускоренных ионов в некоторой газовой среде при давлении $\sim 1—10^{-2}$ Па, и образующийся атомарный поток конденсируется на подложке. Изменяя плотность потока, его зарядовое состояние, геометрические характеристики, давление и состав атмосферы в технологической камере, температуру и потенциал подложек, можно реализовать огромное количество комбинаций параметров технологического процесса и целенаправленно отыскивать их оптимальные сочетания при реализации конкретной технологии.

В табл. 2 с помощью оценок по пятибалльной системе мы попытались дать объективную характеристику методов вакуумной пленочной технологии, которые наиболее широко используются в совре-



Ласка Владимир Львович, кандидат технических наук, доцент Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета, руководитель лаборатории современных методов вакуумной технологии.

Таблица 2

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДОВ ВАКУУМНОЙ ПЛЕНОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Оцениваемые параметры	Термическое испарение в вакууме			Ионно-плазменное распыление		
	РИ	ЭЛИ	ДИ	КР	ВЧР	МР
Свойства пленки						
чистота	4	5	3	3	4	4
адгезия	3	4	5	4	4	4
равномерность	3	2	4	5	5	5
сплошность	4	5	3	4	4	4
многоэлементность	2	3	3	4	5	5
Исходное вещество						
температура плавления	3	5	4	5	5	5
форма и вид	5	5	3	2	2	2
коэффициент использования	3	2	3	4	4	4
наличие проводимости	5	3	2	2	5	2
Особенности метода						
скорость осаждения	3	5	5	1	2	3
остаточная атмосфера	5	5	2	3	3	4
сложность и дефицитность оборудования	5	2	3	5	3	3

менной технике. В таблице представлены методы термического испарения в вакууме — резистивное (РИ), электронно-лучевое (ЭЛИ), электродуговое (ДИ), а также методы ионно-плазменного распыления — катодное распыление на постоянном токе (КР), высокочастотное (ВЧР), магнетронное (МР).

При нанесении пленок тантала, предназначенных для последующего анодного окисления, нами использованы методы электронно-лучевого и электродугового испарения. С помощью метода магнетронного распыления танталовой мишени в смеси аргона с кислородом получены качественные стехиометрические покрытия Ta_2O_5 на поверхности фиксаторов.

Опыт лечения более 200 больных с переломами костей и заболеваний суставов подтвердил эффективность и перспективность применения имплантатов с электретным покрытием в клинической практике, что позволило сократить сроки анатомического восстановления в 1,5—2,5 раза по сравнению с традиционными методами фиксации.

Дальнейшее совершенствование технологий производства имплантатов сегодня имеет уже социально-экономическую значимость.



Уважаемые читатели!
Дополнительную информацию
об авторах и материалах,
опубликованных
в "Петербургском журнале электроники",
можно получить в редакции.

Наш адрес: 196143, Санкт-Петербург, пл. Победы, 2
 тел. 293-07-15, факс 293-53-52