

НОВЫЕ ПОДХОДЫ ПРИ ДЕФЕКТАХ КОСТЕЙ В ВЕРТЕБРОЛОГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ

Кадилов А.А.,¹ Рузикулов Д.Х.,² Ахмедов Г.К.³

¹Андижанский государственный медицинский институт, Узбекистан,

²Самаркандский филиал Республиканского научного центра экстренной медицинской помощи, ³Самаркандский государственный медицинский университет, Узбекистан

<https://doi.org/10.5281/zenodo.11147938>

Аннотация: В обзоре обобщены данные отечественной и зарубежной литературы о углеродном имплантате как наиболее универсальном материале для замещения костных дефектов оперированного сегмента в вертебрологии. Приведены исторические данные о применении углеродного материала в травматологии-ортопедии, различных видов углеродных имплантатов и их физико-механические свойства и биосовместимость с тканями организма. Рассматриваются преимущества углеродных материалов в сравнении с другими композитными (металлические, керамическими и полимерными) материалами.

Ключевые слова: Углерод, имплантат, имплантационные материалы, спондилодез, остеointеграция.

NEW APPROACHES FOR BONE DEFECTS IN VERTEBROLOGICAL PRACTICE

Abstract: The review summarizes data from domestic and foreign literature on the carbon implant as the most versatile material for replacing bone defects of the operated segment in vertebrology. Historical data on the use of carbon material in traumatology and orthopedics, various types of carbon implants and their physical and mechanical properties and biocompatibility with body tissues are presented. The advantages of carbon materials in comparison with other composite (metal, ceramic and polymer) materials are considered.

Keywords: Carbon, implant, implantation materials, spinal fusion, osseointegration.

ВВЕДЕНИЕ

Современные представления о хирургическом лечении дегенеративно-дистрофических и травматических заболеваний позвоночника строятся на том, что оперативное вмешательство должно обеспечить максимально возможное устранение сужения позвоночного канала, адекватную декомпрессию нервно-сосудистых структур и надежную стабилизацию поврежденного сегмента[**Ошибка! Источник ссылки не найден.; Ошибка! Источник ссылки не найден.; 8; 9**].

С появлением новых методов стабилизации позвоночника отмечен значительный прогресс в хирургическом лечении повреждений и заболеваний позвоночника. Причиной к поиску новых способов фиксации позвонков послужили неудовлетворительные результаты хирургического лечения повреждений и заболеваний позвоночника, связанные, как правило, с несостоятельностью спондилодеза в отдаленном периоде – отсутствием должного костного сращения и прогрессированием нестабильности. Одна из причин этого – несовершенство применяемых методов стабилизации позвоночника[**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Наиболее часто для стабилизации оперированного сегмента, заполнения дефектов костной ткани и активизации остеогенеза используются аутооттрансплантаты и костно-

пластические материалы. Однако костная ауто- и аллопластика наряду с очевидными преимуществами имеет и ряд серьезных недостатков (дополнительная операция, риск инфекционных осложнений, возрастные ограничения, сложности в заготовке и хранении, транспортировке трансплантатов и др)[1].

Это наводит на мысль, что имплантаты должны быть многофункциональными. Во-первых, они должны обеспечить надежное соединение костных фрагментов, причем надежность этого соединения должна иметь значительный запас прочности и не может быть потеряна со временем. Это требование является главной, так как имплантаты остаются в организме человека до конца жизни[**Ошибка! Источник ссылки не найден.; Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Во-вторых, необходимо восстановить опороспособность позвоночника как можно скорее после операции. Эти требование также не менее важной, потому что обессиленным больным после больших травматических операций значительно улучшает качество жизни [1; **Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Третье требование-материал должен быть биологический совместимым с тканью организма, то есть быть индифферентным – не быть токсичным, не вызывать отрицательных иммунных и других реакций со стороны организма, не отторгаться организмом как инородное тело. При замещении дефектов костей имплантат должен находиться в тканях организма человека длительное время, поэтому вопрос о биологической совместимости и биологической инертности материала, из которого изготовлен имплантат, а также взаимодействия имплантата и биологических тканей очень важны[4; **Ошибка! Источник ссылки не найден.; 13**].

Это обуславливает необходимость поиска и разработки новых пластических материалов. Не остался в стороне от исследователей и углерод. Являясь одним из основных химических элементов, входящих в состав живых тканей, углерод отличается поразительной инертностью, отсутствием токсичности и канцерогенности [**Ошибка! Источник ссылки не найден.; 9; 11**]. Впервые углеродный материал имплантирован в 1968 году под кожу человеку-добровольцу, который носил его в течение 2,5 лет. При гистологическом исследовании видимых изменений со стороны окружающих тканей обнаружено не было [12]. Клиническое применение с 1969 года пироуглерода в искусственных сердечных клапанах и протезах аорты показало, что углеродные материалы могут вступать в длительный контакт с мягкими тканями и кровью без последующих отрицательных явлений [**Ошибка! Источник ссылки не найден.; Ошибка! Источник ссылки не найден.; 11; 12**].

В опытах на животных установлено, что дисперсные продукты износа углеродных материалов индифферентны в отношении тканевых структур. Наблюдение: в течение 6 месяцев за крысами после имплантации мелких частиц углерода (до 20 мкм) в коленный сустав, периартикулярные ткани, внутрибрюшинно и внутривенно показало, что эти частицы переносятся по кровеносному и лимфатическому руслу к паренхиматозным органам. Частицы углерода, не оказывая отрицательного воздействия, на окружающие ткани, выводятся: лимфатической системой и аккумулируются паренхиматозными органами;[**Ошибка! Источник ссылки не найден.; 3; Ошибка! Источник ссылки не найден.; Ошибка! Источник ссылки не найден.; Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Гистологическое изучение костной ткани при имплантации в неё углерода показало увеличение количества макрофагов и остеокластов, что - рассматривают как биоопределяющую реакцию на чужеродную ткань. Характерной для этой реакций явилась

клеточная пролиферация по ходу эндоста и периоста: Клетки: хрящевой ткани концентрируются вокруг имплантируемого материала. Через 1,5-2 месяца, все гистологические изменения идентичны интермембранной оссификации, когда среди костных балок вокруг имплантата видны чётко ориентированные остеобласты[2; **Ошибка! Источник ссылки не найден.; Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

С помощью электронной микроскопии было констатировано наличие очень малого расстояния, (1/10 мкм) между имплантируемым углеродом и костью, что; практически не влияло на стабильность системы. Биологическую совместимость углерода объясняют высокой поверхностной энергией и большим электроположительным потенциалом. Эти особенности приводят к образованию на поверхности углерода тончайшего белкового слоя, блокирующего образование, соединительнотканной прослойки [**Ошибка! Источник ссылки не найден.; 14**]. При погружении; углеродной конструкции с полированной поверхностью в кровь на ней образуется эндотелиоподобный слой. При имплантации в мягкие ткани углерод покрывается соединительнотканной капсулой, а с костной тканью образует прочное прямое соединение[**Ошибка! Источник ссылки не найден.; Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Непостоянство кристаллической структуры углерода предполагает широкий круг физических свойств. Достаточно вспомнить графит, один из самых мягких материалов, и алмаз, прочность и твёрдость которого хорошо известна. Тем не менее, и тот, и другой по химическому составу являются, чистым углеродом. Изотопный пиролитический углерод, получаемый при относительно низких температурах (менее 1550 градусов по Цельсию) путём разложения метана, обладает удивительной прочностью на усталость и износ. При растяжении он поглощает энергии больше, чем керамические материалы. Воздействие окружающей среды не снижает этих качеств [**Ошибка! Источник ссылки не найден.; Ошибка! Источник ссылки не найден.; 14**]. Модуль упругости пироуглерода низок и находится в диапазоне упругости костной ткани (20-30 ГПа). Это является большим достоинством материала. Деформируясь синхронно с костью, он до минимума снижает образование точек концентрации напряжения [**Ошибка! Источник ссылки не найден.; 17**]. Особенность пироуглерода – способность переносить циклические нагрузки без потери прочности. Этим он выгодно отличается от других материалов, прочность которых при циклических нагрузках резко снижается и разрушение наступает уже при малых усилиях [**Ошибка! Источник ссылки не найден.; 11**].

Углеродные волокна, получаемые посредством термической обработки полиакрильных волокон без доступа кислорода, на 99,9% состоят из чистого углерода. Их дальнейшая обработка неожиданно привела к увеличению модуля упругости до 750 ГПа, что составило 75% теоретически возможного предела [**Ошибка! Источник ссылки не найден.; Ошибка! Источник ссылки не найден.; Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Углеродное волокно, как и сам углерод, является биологически инертным материалом. Это побудило использовать его в качестве искусственных связок и сухожилий [**Ошибка! Источник ссылки не найден.; 11; 12**]. При замещении дефектов сухожилий было обнаружено, что на поверхности волокон идёт интенсивное образование волокнистой соединительной ткани. Рубец формировался за 2-3 месяца. Фрагменты углеродного волокна выводятся по лимфатическим сосудам и откладываются в лимфатических узлах, что приводит к их небольшому увеличению. Однако углеродные волокна легко разрушаются, при трении на костных выступах. Но это материал, о котором можно говорить, что он

действительно совместим с живыми тканями[**Ошибка! Источник ссылки не найден.**; 13; 15].

В 60-х годах началось использование углеродного волокна в качестве армирующего наполнителя. Армирование пластмасс открыло новый класс материалов – углепластики. Прочность и модуль их упругости пропорционален степени армирования. Поэтому, меняя степень и направление армирования, можно варьировать механические свойства материала. Сочетание биологически инертных пластмасс с углеродным волокном дало для имплантации материалы с большим количеством положительных свойств[3; **Ошибка! Источник ссылки не найден.**; **Ошибка! Источник ссылки не найден.**; **Ошибка! Источник ссылки не найден.**; **Ошибка! Источник ссылки не найден.**; **Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

В числе положительных свойств углепластиков – высокая устойчивость к циклическим нагрузкам. У пластин для костного остеосинтеза из углепластика показатели сопротивления усталостным нагрузкам в 2 раза выше, чем у металлических. Сравнение углеродных пластин и металлических при лечении переломов большеберцовой кости у собак показало, что в случае использования углепластика сращение было прочнее. Авторы объясняют это упруго-деформационными свойствами материала[2; **Ошибка! Источник ссылки не найден.**; **Ошибка! Источник ссылки не найден.**; **Ошибка! Источник ссылки не найден.**; 11].

Положительные свойства углепластиков были использованы в реконструктивной хирургии опорно-двигательной системы. Юмашевым Г.С. с соавт. [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**] предложены на основе углерода имплантаты - углепластики ОСТЕК и ОСТОН. а также чисто углеродный материал УСП, состоящий из сообщающихся между собой полых сфер. Авторы сообщают о 16 наблюдениях замещения, мышечков большеберцовой кости комбинированным углеродным материалом, где суставная часть изготовлена из плотного углепластика а контакт с костной: тканью осуществляется посредством пористого: материала углеродной синтактической пены (УСП). Результат, прослеженный в сроки от 5 месяцев до 5 лет, у 9 пациентов – хороший, у 2 – удовлетворительный. При контакте углепластика с костной тканью происходит незначительная реакция в виде слабой макрофагальной, пролиферации. Никаких воспалительных, остеолитических, процессов в сроки до 1 года отмечено не было. Показатели: прочности через 16 месяцев были прежними. Положительные результаты эндопротезирования углеродными имплантатами приводят и другие авторы[**Ошибка! Источник ссылки не найден.**; 3; **Ошибка! Источник ссылки не найден.**; **Ошибка! Источник ссылки не найден.**; 8; 15].

Остек, материал с матрицей из полиамида-12, использовали в качестве ножки протеза головки первой плюсневой кости; Из 27 наблюдений со сроком до 5 лет, неудовлетворительных исход был только в, одном; случае. При; гистологическом исследовании костной ткани, находящейся в контакте с материалом Остек, была обнаружена пролиферация соединительнотканых элементов; с образованием плотной фиброзной ткани, фиксирующей углеродный материал.[1; **Ошибка! Источник ссылки не найден.**; **Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

В процессе накопления экспериментального и клинического опыта по использованию углепластиков в качестве имплантатов обнаружили и негативные стороны. Оказалось, что практически все углепластики в той или иной степени вызывают

неблагоприятные реакции со стороны мягких тканей и внутренних органов. Продукты износа наиболее распространённого углепластика Остек в местах накопления (суставы, лимфоузлы) провоцировали гиперплазиогенную реакцию тканей. Эндопротезы из углепластика не получили распространения из-за большого процента неудовлетворительных результатов[Ошибка! Источник ссылки не найден.; 14].

Если пористые углепластики находятся в непосредственном контакте с костью, то между гладкой поверхностью имплантата и его костным ложем образуется фиброзная ткань[Ошибка! Источник ссылки не найден.; Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Вероятно, причина недостатков углепластиков кроется в том, что пластмассы, являющиеся для них наполнителем, термически нестабильны, и длительность их существования определяется кинетикой деструкции полимера. В окружении живой ткани процесс деструкции, полимера ускоряется, поэтому материалы, в которых полимер заменён углеродом (углерод-углеродный композит), вызывают больший интерес[Ошибка! Источник ссылки не найден.; Ошибка! Источник ссылки не найден.; Ошибка! Источник ссылки не найден.].

В последние годы вновь появился интерес к углепластиковым материалам. Baker D. [10] сообщает о хороших результатах использования пластин с углеродным волокном для фиксации перипротезных переломов бедра у людей в старческом возрасте. Wieling R. [19] сравнивал результаты фиксации болыбеберцовой кости у овец: в одной группе использовали пластины из углеродного волокна с РЕЕК (CFP), в другой - титановые пластины (LCP). Во всех группах получили сравнимые результаты - углеродные пластины могут быть альтернативой металлическим.

Углерод-углеродный композиционный материал по химическому составу представляет собой чистый углерод и обладает всеми его биологическими свойствами. Наполняющие его углеродные волокна позволяют варьировать механические характеристики. Материал обладает не только высокой прочностью, но и другими положительными качествами: отсутствием токсичности, канцерогенности, различной степенью пористости в зависимости от толщины углеродного волокна. Его электропроводность схожа с нативной костью, отсутствует такое явление как усталость материала[Ошибка! Источник ссылки не найден.; Ошибка! Источник ссылки не найден.; Ошибка! Источник ссылки не найден.; Ошибка! Источник ссылки не найден.].

Биосовместимость углерод-углеродного материала установлена путём введения его частиц в костно-мозговой канал кролика. Было обнаружено значительное перемещение его частиц, но их отторжения не происходило. Деструкция костной ткани, интоксикация или воспалительные явления не наблюдались. Экспериментальные работы доказывают возможность применения углерод-углеродного композиционного материала в качестве имплантируемых конструкций. Были получены хорошие результаты при замещении небольших костных дефектов. В этом случае реакция костной ткани на материал выражалась в клеточной пролиферации с образованием новой костной ткани. Благодаря этим качествам углерод-углеродные композиционные материалы нашли своё применение не только в ортопедии и травматологии, но и в стоматологии, офтальмохирургии, ринологии[Ошибка! Источник ссылки не найден.; Ошибка! Источник ссылки не найден.].

Применение углерод-углеродного композиционного материала (УУКМ) в хирургии позвоночника показало, что УУКМ даёт более чем в 1,8 раза лучшие результаты, чем костные трансплантаты. Помимо высокой прочности на изгиб и сжатие, углеродные имплантаты не оказывали раздражающего действия на окружающие ткани. Не было и цитотоксического, сенсibiliзирующего и пирогенного эффектов, несмотря на длительные сроки наблюдения. Авторы получили первичное костное сращение имплантата с костным-ложом после операции у 70,6% больных, тогда как при традиционной костной пластике сращение наступало в 47,5% случаев. При переднем спондилодезе в отдаленном периоде УУКМ позволил сохранить достигнутую интраоперационную коррекцию деформации позвоночника чаще, чем при использовании костных трансплантатов (94,1% против 88,5% при костной аутопластике) [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Экспериментальные исследования, проведенные на кроликах с применением углерод-углеродного композиционного материала марки УУКМ-4с1 показали, что к исходу второй недели намечается процесс костеобразования, исходящий из костного ложа, к 2-м месяцам костные балки вплотную наслаиваются на имплантат. При микроскопии в отраженном свете распилов препаратов видны участки врастания костной ткани не только в краевые отделы имплантата, но и в более глубокие его ячейки. Через 3 месяца углеродный имплантат плотно фиксирован в кости. Его поры заполнены костной и, частично, волокнистой тканями. При люминесцентной микроскопии выявлялось яркое свечение новообразованной кости как. на границе кость-имплантат, так и внутри имплантата, что свидетельствовало о прорастании костной ткани не только в краевые поры углерод-углеродного имплантата, но и в глубоко расположенные. Авторами установлена инертность материала, прорастание к концу первого года после операции новообразованной кости в поры имплантата по всей его поверхности. На микрорентгенограммах шлифов кости выявлялось сохранение в костной ткани естественной ориентации и плавного перехода костных балок из ложа в имплантат без линии разрыва или перелома структура окружающего костного, ложа; была неравномерной, что обусловлено врастанием костных балок- в микропоры имплантата на разную глубину. Микрорентгенографическое: исследование, проведенное в сроки до 3 лет, выявило прорастание костной ткани в поры имплантата во всех исследуемых случаях. Это явление было тем интенсивнее, чем больше срок, прошедший после операции. Углеродные имплантаты были прочно фиксированы в костном ложе. Жёсткость фиксации; полностью сохранялась в течение всего периода наблюдения. Прочность самого имплантата не уменьшалась, причем, в его структуре определялись участки оссификации без каких либо признаков; резорбции материала; воспалительные явления: вокруг имплантата не обнаружены ни в одном случае. Учитывая возможность появления энхондрального костеобразования на поверхности углеродных имплантатов, авторы полагали, что это позволило получить соединение "кость-имплантат", способное, функционировать условиях больших нагрузок [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**; 13].

Гарбуз А.Е. и соавт. [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**] опубликовали данные, касающиеся хирургического лечения 34 больных различными заболеваниями позвоночника, которым для переднего спондилодеза использованы композиционные углеродные имплантаты, разработанные в Центральном; НИИ материалов. Имплантаты ассимилировались: с остатками тел резецированных позвонков, образуя костно-углеродный блок. Это позволило, в 70% случаев сохранить достигнутую

интраоперационную коррекцию деформации позвоночника. При спондилодезе свободными костными трансплантатами интраоперационная коррекция сохранялась лишь в 21% случаев. Kim K.S. et al. [16] использовали углеродные кейджи, заполненные костной стружкой, для создания спондилодеза. Благоприятные результаты были отмечены при сроке наблюдения до 4 лет.

Механические характеристики имплантатов из углеродного композитного материала значительно меньше отличаются от аналогичных показателей компактной кости, чем характеристики металлических или полимерных имплантатов. Углеродный композитный материал с перекрещенными расположением армирующих волокон демонстрирует повышенный, по сравнению с металлом и стеклопластиком, сопротивление разрушению от усталости. Упругость материала, близкой к естественной упругости живой кости, позволяет оптимизировать нагрузку соединенных костных отломков без возникновения в кости зон критического напряжения, а прочность на разрыв соединения УУКМ с костью выше, чем у титана. Число Пуассона и модуль сдвига углеродного композитного материала близки к таковым для компактной кости [Ошибка! Источник ссылки не найден.; Ошибка! Источник ссылки не найден.; Ошибка! Источник ссылки не найден.; Ошибка! Источник ссылки не найден.; Ошибка! Источник ссылки не найден.].

Исследований по экспериментальному изучению различных видов углеродных материалов и их влияния на культуру тканей за последние годы выполнено очень много. Такие опыты проводили на культуре остеобластов, а также в эксперименте на животных. Эти и многие другие исследования доказали, что композитные материалы на основе углерода являются материалами биологически инертными, не провоцируют воспалительную реакцию в близлежащих тканях, не препятствуют репаративного остеогенеза, не являются токсичными и могут быть использованы в качестве погружных имплантатов с длительным сроком действия [1; 8; Ошибка! Источник ссылки не найден.].

В практике ортопедии виды углеродных композитов используют в течение 20 лет. Показано успешное использование углеродного имплантата в сочетании с костным цементом и ГАП-вместительным материалом «КоллапАн» при замещении дефектов после удаления первичных и метастатических опухолей тела позвонка в шейном отделе позвоночника - через три года после операции наблюдался крепкий костно-углеродный блок [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Использование клина из углерода для поясничного спондилодеза позволило получить у 88,2% случаев положительные результаты. Длительные наблюдения (в течение 2,5 года) последствий оперативных вмешательств на позвоночнике с использованием штифтов из углерода не обнаружили осложнений и ухудшения механических свойств образованного костно-углеродного соединения [3].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ данных литературы свидетельствует о том, что использование углерод-углеродных имплантатов является одним из перспективных направлений решения проблемы замещения дефектов костей. Углерод-углеродные композиты соответствуют основным требованиям к имплантационным материалам и обеспечивают многофункциональность изготовленных на его основе имплантатов. Такие имплантаты благодаря своей биологической совместимости в сочетании с исключительными биомеханическими свойствами, а также высокой клинической эффективности, являются

весьма привлекательными с точки зрения их применения в области ортопедической хирургии и дальнейшего совершенствования.

Использованная литература:

1. Барыш А.Е., Бузницкий Р.И. Ошибки и осложнения при использовании заполненных аутокостью цилиндрических имплантатов в хирургии шейного отдела позвоночника // Ортопедия, травматология и протезирование 2011 №4 29-33.
2. Гребенюк Ю.А. Возможности использования углеродных имплантатов в лечении опухолей длинных костей. //Ортопедия, травматология и протезирование 2008 №3 16-18.
3. Гурин В.А., Гурин И.В. Углерод-углеродные материалы фрикционного назначения // Журнал «Порошковая металлургия». – Киев.– 2001.– №3/4. –С.1-7.
4. Колбовский Д.А., Колесов С.В., Швеи В.В., Рерих В.В., Вишневский А.А., Скорина И.В., Казьмин А.И., Морозова Н.С., Переверзев В.С., Хитъ М.А. Остеокондуктивные свойства углеродных имплантов, применяемых в хирургии повреждений и заболеваний позвоночника (случай из практики) // Гений ортопедии. 2018. Т. 24. № 2. С. 229-233. DOI 10.18019/1028-4427-2018-24-2-229-233.
5. Колесов С.В., Колбовский Д.А. Швеи В.В., Рерих В.В., Вишневский А.В., Морозова Н.С., Скорина И.В., Горбатюк Д.С. Двухлетние результаты хирургического лечения переломов позвоночника с применением углеродных имплантатов (мультицентровое исследование) // Гений ортопедии. 2019. Т. 25, №3. с.360-367. DOI 10.18019/1028-4427-2019-25-3-360-367.
6. Колесов С.В., Казьмин А.И., Скорина И.В., Швеи В.В., Сажнев М.Л., Пантелеев А.А., Переверзев В.С., Колбовский Д.А. Проседание кейджа после операций на переднем отделе субаксиальной части шейного отдела позвоночника: моноцентровое проспективное клиническое исследование с 3-летним сроком наблюдения. Травматология и ортопедия России. 2020;26(2):139-147. doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-2-139-147.
7. Рерих В.В., Аветисян А.Р., Зайдман А.М., Ластевский А.Д., Батаев В.А., Никулина А.А. Остеоинтеграция гидроксиапатитовых гранул в телах поясничных позвонков в эксперименте // Хирургия позвоночника. 2013. № 4. С. 43–51.
8. Худайбердиев К.Т. Стеноз шейного отдела позвоночного канала. // Дисс. докт. мед. наук. – Ташкент 1999
9. Якименко Д.В., Гарбуз А.Е., Беллендир Э.Н. Передний спондилодез углерод-углеродными имплантатами при заболеваниях позвоночника // «Человек и его здоровье»: Материалы конгресса.–СПб., 2000. стр. 129-130
10. Baker D., Kadambande S., Alderman P.M. Carbon fibre plates in the treatment of femoral periprosthetic fractures // European Trauma Congress.–Prague 2004.–P .14.
11. Benson J. Elemental carbon as a biomaterial // J.Biomed. Material Res.-1971.-Vol.5, №44.–P.44-46.
12. Bokros D.S. Carbon in Medical Devices // Ceramics international. –1983.– Vol.9, №1.–P.3-7.
13. Boriani S. The use of the carbon-fiber reinforced modular implant for the reconstruction of the anterior column of the spine. A clinical and experimental study conducted on 42 cases // Chir. Organi Mov. – 2000. – Vol. 85, №4. – P.309–335.
14. Bruckmann H., Hutterer K.J. Carbon as a promising material in . endoprosthesis // Biomaterials. 1980.–Vol.1.– P.67-72.

15. Elias K.L. Enhanced functions of osteoblasts on nanometer diameter carbon fibers // Biomaterials. – 2002. – Vol. 23, №15. – P.79–87.
16. Kim K.S., Yang T.K., Lee J.C. Radiological changes in the bone fusion site after posterior lumbar interbody fusion using carbon cages impacted with laminar bonechips: Follow-up study over more than 4 years // Spine. 2005.–Vol.30; №6.–P 655-660;
17. Khudayberdiyev T. Kobiljon, Kadirov A. Azizbek, Tursunov K. Madaminjon, Ahmedov K. Gayrat. The role of carbon implants in solving problems of defect of bones vertebrology. Journal of Biomedicine and Practice. 2023, vol. 8, issue 2, pp.340-348.
18. Moyen O., Cheleux N., Jeanson Y. Tenous en composite a base de fibres Interet biomecanique et propraetes adhesives // Cah.Proth.–2001. №116.–P. 43-50.
19. Wieling R., Gerlach U., Magerl F. Comparison of a novel carbon fibre/PEEK internal fixator with the locking compression plate (LCP). An in vivo sheep study // European Trauma Congress: abstr.–Prague.–2004.