Формирование концепции наномедицины началось еще в середине XX в. В 1959 г. **Ричард Фейнман** опубликовал свою лекцию под названием «Там, внизу, много места» “There’s Plenty of Room at the Bottom”, в которой он обосновал основные принципы использования нанотехнологии в медицине. Вне всякого сомнения, именно Р. Фейнмана можно считать пророком развития наномедицины, поскольку он предсказал неизбежность перехода медицинских технологий от макроуровня к микроуровню и далее вплоть до атомарного уровня.

**Наномедицина** – это, по определению ученого Роберта Фрейтаса (Robert Freitas), «…слежение, исправление, конструирование и контроль над биологическими системами человека на молекулярном уровне с использованием разработанных наноустройств и наноструктур».

В 1965 г. **Шолдерс** представил реально работающие микроманипуляторы, которые могли перемещать микроскопические предметы с точностью до 10 нм, с возможностью непосредственно наблюдать за их действиями при помощи ионного микроскопа.

К 1983 г. **Дрекслер** начал распространять в узком кругу свою статью “Машины клеточной репарации”, в которой впервые были достаточно подробно исследованы возможности развитой нанотехнологии на основе механических устройств, которые “обеспечили бы разработку систем сенсоров, компьютеров и манипуляторов молекулярных размеров, способных проникать в клетки и репарировать их».

В 1985 г. **Дж. Фейнберг** предложил использовать коротковолновую когерентную лазерную энергию для питания и связи с “наносенсорами, имплантированными в человеческий организм. Они могли бы... [контролировать] различные физиологические функции, начиная с подклеточного молекулярного уровня, до уровня тканей и органов..., важные для выявления некоторых механизмов роста и старения”.

В 1985 г. вышла книга “Робототехника” ("Robotics") под редакцией **Марвина Мински** (известного ученого в области компьютерной техники и автора пионерских работ по созданию искусственного интеллекта), в которой Мински, на основе представлений Дрекслера, дал краткое описание работы полностью автоматических устройств репарации клеток

В 1988 г. А. К. **Дьюдни** представил первую наномедицинскую концепцию наноробота для чистки артерий.

Наномедицина в последние годы развивается исключительно быстрыми темпами и привлекает всеобщее внимание не только чисто реальными достижениями, но и своим социальным вкладом. Под этим термином (отражающим и перспективу) сегодня понимают применение нанотехнологий в диагностике, мониторинге и лечении заболеваний.

Все варианты применения нанотехнологии в медицине можно разделить на три большие группы: 1) терапевтические подходы, основанные на применении нанотехнологии, 2) диагностические наномедицинские процедуры, 3) использование наноматериалов в технологии изготовления различных изделий медицинского назначения.

Конкретизируя изложенные взгляды, сегодняшние конкретные задачи нанотехнологий в медицине можно разделить на несколько групп: наноструктурированные материалы, включая поверхности с нанорельефом, мембраны с наноотверстиями; наночастицы (включая фуллерены и дендримеры); микро- и нанокапсулы; нанотехнологические сенсоры и анализаторы; медицинские применения сканирующих зондовых микроскопов; наноинструменты и наноманипуляторы; микро- и наноустройства различной степени автономности.

**Адресная доставка лекарств в пораженные клетки**

Чтобы лекарство было эффективным важно, чтобы его молекулы попали к нужным клеткам: антидепрессанты попали в мозг, противовоспалительные средства – в места воспалений, антираковые препараты – в опухоль и т. д. Способность молекул вещества попадать в теле пациента туда, где они необходимы, называется *биологической усвояемостью.*

Биологическая усвояемость – камень преткновения всей современной фармацевтики. Более 65% денег, потраченных на разработку новых лекарств, выбрасывается на ветер из\_за их плохой усвояемости. Один из способов улучшить ее – просто увеличить дозу лекарства. Однако многие лекарства токсичны, и увеличенная доза может вызвать у пациента тяжелые последствия (а порой даже убить). Это особенно важно для противораковых препаратов, которые убивают не только больные, но и здоровые клетки.

Поэтому сегодня учеными всего мира ведутся активные работы по адресной доставке лекарств, которые будут точно попадать в цель, не повреждая других органов. Для этого пытаются создать некое “транспортное средство” для точной доставки лекарств в клетку, так как многие болезни (не только рак) зависят от нарушения внутриклеточных механизмов, повлиять на которые можно только доставив лекарство в клетку. Поиск молекулярного транспорта начался в восьмидесятые годы, когда исследователи стали активно заниматься генной инженерией. В частности, группе российских ученых под руководством Александра Соболева удалось разработать специальную макромолекулу\_транспортер, способную доставить лекарство в дефектную клетку. Опыты, которые ставила группа Соболева на раковых клетках, показали, что эффективность лекарственного вещества, которое доставляется макромолекулой\_транспортером в ядро, при различных типах рака может возрастать в 250\_1000 раз, а это значит, что во столько же раз можно снизить дозу препарата, чтобы вызвать нужный эффект. Конструкция транспортера состоит из четырех функциональных модулей: лиганда, эндосомолитического модуля, сигнала внутриядерной локализации и собственно носителя лекарства. На первом этапе работает ***лиганд***– модуль, обеспечивающий обнаружение больной клетки (например, раковой), ее “молекулярное узнавание”. Он же отвечает и за поглощение всей конструкции клеткой. Второй модуль – ***эндосомолитический***– разрывает эндосому, “пузырь”, образующийся вокруг транспортера при его втягивании внутрь клетки. Далее в игру вступает третий модуль, который позволяет транспортеру проникнуть через поры ядерной мембраны. И наконец, четвертый модуль, несущий лекарство, позволяет ему приступить к выполнению основной задачи – уничтожению ядра.

Откуда взяли модули макромолекулы\_транспортера? Один из используемых лигандов был взят из человеческого гормона, обладающего высоким сродством к рецепторам соответствующей клетки\_мишени, эндосомолитический модуль – из дифтерийного токсина, модуль внутриядерной доставки – из белка обезьяньего вируса, носитель лекарства – из части гемоглобиноподобного белка кишечной палочки. Далее с помощью генно\_инженерных методов была создана единая работоспособная конструкция.

“Меняя программу модулей, мы можем получить макромолекулы\_транспортеры для лечения любого типа рака. К примеру, если для лечения какого\_то заболевания нужно доставить лекарство не в ядро, а в другую органеллу клетки, то будет заменена программа модуля внутриклеточной локализации. Или меняется программа носителя в зависимости от лекарственного средства, которое необходимо доставить”, – объясняет Александр Соболев.

Транспортер будет представлять собой пузырек с жидкостью, которую нужно смешивать с соответствующим лекарством перед употреблением.

Во-первых, при использовании наноразмерных переносчиков объем распределения препарата обычно снижается. Во-вторых, происходит снижение токсичности препарата за счет его избирательного накопления в поврежденной ткани и меньшего поступления в здоровые ткани. В-третьих, многие нанопереносчики увеличивают растворимость гидрофобных веществ в водной среде и, таким образом, делают возможным их парентеральное введение. В-четвертых, системы доставки способствуют повышению стабильности препаратов на основе пептидов, олигонуклеотидов и небольших гидрофобных молекул. И, наконец, в-пятых, нанопереносчики представляют собой биосовместимые материалы.

Одним из примеров использования наноструктур для направленной доставки лекарственных препаратов являются **нанооболочки**. В отличие от углеродных наночастиц, нанооболочки представляют собой несколько более крупные частицы, состоящие из кремнеземной сердцевины и тонкого золотого покрытия. Нанооболочки покрываются слоем полимера, содержащего лекарственный препарат, и вводятся в организм. После накопления частиц в пораженной ткани (например, в опухоли) производится облучение данной области инфракрасным лазером. Это приводит к селективному поглощению нанооболочками инфракрасных частот и их нагреванию. Нагрев поверхности частицы приводит к высвобождению лекарства из слоя полимера и обеспечивает его локальное действие.

**Использование квантовых точек в качестве люминесцирующих маркеров**

Медиков и биологов чрезвычайно интересует, как перемещаются в организме различные вещества (в частности, лекарства). Отслеживание такого перемещения позволяет им определить, как распределяются и усваиваются в организме новые препараты, то есть какова их биологическая усвояемость. До недавнего времени для подобных исследований применялись различные красители, называемые *маркерами*, подмешиваемые к исследуемому веществу. Подкрашенные клетки были хорошо видны в оптический микроскоп на фоне бесцветных клеток организма, что позволяло делать довольно точные выводы об их локализации. Но органические красители, во\_первых, могут быть токсичными, а во\_вторых, для их обнаружения требуется облучение светом лишь определенной частоты, поскольку различные красители отражали различные частоты спектра. Следовательно, для одновременного исследования нескольких препаратов требовалось столько же источников света. Данную проблему удалось решить с помощью нанотехнологий, а точнее – *квантовых точек,* которые мы рассматривали в одной из предыдущих глав.

Напоминаем, что **квантовые точки** – это полупроводниковые кристаллы нанометрового размера, имеющие уникальные химические и физические свойства, не характерные для тех же веществ в макромасштабе. Учеными были получены уникальные флуоресцентные квантовые точки, причем разного цвета. Эти точки дают намного более мощный отблеск света, чем традиционные красители, и обладают особым биоинертным покрытием, которое, с одной стороны, защищает сами квантовые точки от «нападения» ферментов и других биологических молекул, а с другой – не дает возможности токсичным веществам попасть в организм, что очень важно для диагностики заболеваний. Кроме того, разные группы таких нанометок можно освещать одним общим источником. Квантовые точки широко применяются в диагностических целях. В частности, их можно присоединять к биомолекулам типа антител, пептидов, белков или ДНК. А эти комплексы, в свою очередь, могут быть спроектированы так, чтобы обнаруживать другие молекулы (например, типичные для поверхности раковых клеток).

В одном из опытов квантовые точки селенида кадмия были соединены со специфическим антителом, реагирующим с поверхностью клеток раковой опухоли. Квантовые точки вводили в кровеносную систему мышей, которая разносила их по организму. Нанокристаллы попадали в опухоль и накапливались там (и практически нигде больше), в результате чего опухоль оказалась хорошо различимой визуально.

Применение квантовых точек может существенно расширить диагностические возможности медицины. Ведь можно сконструировать сотни разновидностей квантовых точек, соединяющихся в организме с различными биомолекулами или антигенами, и таким образом находить участки со специфическим сочетанием признаков заболевания.

Дальнейшие планы исследователей еще заманчивее. Новые квантовые точки, соединенные с набором биомолекул, будут не только находить и показывать опухоли, но и осуществлять точную адресную доставку новых поколений лекарств.

**Лаборатория на чипе**

А теперь представьте, что такие лаборатории уже существуют! Называются они лабораториями на чипе (от англ. lab-on-chip). Один чип размером порядка 4х4 см может заменить целый комплекс оборудования, необходимого для анализа ДНК/РНК, установления родства, определения генетически модифицированных организмов, ранней диагностики онкологических заболеваний, изучения эффективности трансфекции клеток, количественного определения белков, определения уровня экспрессии генов и многого другого!

При этом такая кроха-лаборатория умеет анализировать одновременно до 12 разных образцов, а время анализа, занимавшего раньше недели, сокращается до 15-30 минут.

Аналогия с компьютером здесь не случайна, поскольку на первый взгляд лаборатории на чипе очень похожи на своих электронных собратьев: они также создаются на кремниевых подложках, а крохотные ячейки связываются микро- или нано-"дорожками". Отличие заключается в том, что по дорожкам у них не всегда течет ток. По многим из них течет жидкость из крохотных резервуаров, имплантированных в чип при производстве.

Функционально ячейки тоже отличаются. Если на микросхеме это могут быть ячейки памяти или логические элементы, то в лаборатории на чипе это клапаны, резервуары и биологические или химические реакторы.

Реальным примером подобной технологии могут служить продукты ведущих в этой области компаний Affymetrix (" GeneChip") или Agilent ("LabChip"), производящих лаборатории на чипе для генетических анализов.

В таких чипах ДНК анализируется методом полимеразной цепной реакции (ПЦР). Метод был изобретен в 1987 г.

Компания CombiMatrix предложила чип размерами с почтовую марку для определения биологической опасности. Устройство, содержащее такой чип, может определить присутствие нескольких видов микроорганизмов, применяющихся в составе бактериологического оружия. На его базе CombiMatrix выпустила детектор HANAA (подходящее название, не правда ли?), который можно использовать в полевых условиях. Прибор помещается в ладони, питается от батареек и весит около одного килограмма.

Технология «лаборатория-на-чипе» быстрее, дешевле и точнее, чем обычные технологии. Более того, эти крошечные чипы можно спроектировать для выполнения одновременно нескольких тестов. На рисунке 6.5 показана схема типичной «лаборатории-на-чипе», выполняющей сразу несколько разных тестов.

Особенность нанотехнологий в том, что они позволяют создавать очень небольшие специализированные системы. На рисунке 6.5 показано только 16 анализаторов, но «лаборатория-на-чипе» может содержать сотни и даже тысячи таких анализаторов для тестирования разных химических соединений и их производных. Таким образом, с помощью «лаборатории-на-чипе» пациент может пройти один универсальный тест на наличие почти всех возможных химических веществ. Времена, когда для этого пришлось бы выполнять длительную серию многочисленных анализов, уходят в прошлое.

Наномасштабная «лаборатория-на-чипе» позволит смешивать, разделять, тестировать и обрабатывать биологические образцы для определения их текущего состояния, наличия инфекционных и других болезней. С ее помощью можно будет проследить за взаимодействием клеток: передачей сигналов, работой энзимов и доставкой питательных веществ, образованием клеточных продуктов и многим другим.

**IBM создала биочип для диагностики заболеваний**

Исследователи из лаборатории IBM в Цюрихе совместно с медицинским центром Базельского университета (University Hospital of Basel) разработали чип-лабораторию, способную в течение 15 секунд определить 16 различных заболеваний.

Чип использует капиллярный принцип отбора образца крови или сыворотки. Основным преимуществом новинки разработчики считают технологичность производства лаборатории-на-чипе и скорость анализа. Чип размером 10х50 мм изготавливается по стандартной литографической технологии на основе из кремния и содержит набор микрометровых каналов-капилляров для образцов .

Примечательно, что для анализа достаточно всего 7 пиколитров образца, а время вывода результата составляет меньше минуты. Это важный момент в условиях, когда состояние пациента критическое и ухудшается с каждой секундой. К примеру, нарушения сердечной деятельности, как наиболее частый случай, требуют оперативных мер уже в первые минуты кризиса. Исследователи так же отмечают, что, в зависимости от используемых реактивов-индикаторов, разработанный чип может идентифицировать весьма широкий спектр вирусных и бактериологических заболеваний, таких как рак или свиной грипп. Считывание данных анализа с чипа происходит посредством обычного SMOS или CCD-сенсора, такого как в цифровых камерах. Однако в стремлении снизить стоимость чипа-лаборатории и для универсальности решения, разработчики не стали интегрировать сенсор в свой биочип. Коммерческое производство новинки IBM планирует начать совместно с бельгийской компанией Coris BioConcept.

**Нанотехнологии против вирусов и бактерий**

Нанотехнологии используются не только для диагностики инфекционных заболеваний, но и для уничтожения патогенных микроорганизмов и их элиминации из организма человека. Определенные составы нанопорошков обладают выраженными противомикробными свойствами. Такие порошки состоят из нанокристаллических частиц оксидов нетоксичных металлов с присоединенными к ним активными формами галогенов (например, MgO•Cl2, СаО•Вr2). При контакте этих частиц с патогенными бактериями (например, Escherichia coli, Bacillus cereus, Bacillus globigii) последние гибнут в течение нескольких минут.

**Серебро**

Как уже отмечалось, свойства у наночастицы серебра на самом деле уникальные.

Во-первых, это феноменальная бактерицидная и антивирусная активность. Об антимикробных свойствах, присущих ионам серебра, человечеству известно уже очень давно. Установлено, что наночастицы серебра в тысячи раз эффективнее борются с бактериями и вирусами, чем серебряные ионы.

Кроме того, в отличие от антибиотиков, убивающих не только вредоносные вирусы, но и пораженные ими клетки, действие наночастиц очень избирательно: они действуют только на вирусы, клетка при этом не повреждается!

Например, фирма “Гелиос” выпускает зубную пасту “Знахарь” с наночастицами серебра, эффективно защищающую от различных инфекций. Также небольшие концентрации наночастиц добавляют в некоторые кремы из серии “элитной” косметики для предотвращения их порчи во время использования. Добавки на основе серебряных наночастиц применяются в качестве антиаллергенного консерванта в кремах, шампунях, косметических средствах для макияжа и т.д. При использовании наблюдается также противовоспалительный и заживляющий эффект.

Ткани, модифицированные серебряными наночастицами, являются, по сути, самодезинфицирующимися. На них не может “ужиться” ни одна болезнетворная бактерия или вирус. Наночастицы не вымываются из ткани при стирке, а эффективный срок их действия составляет более шести месяцев, что говорит о практически неограниченных возможностях применения такой ткани в медицине и быту. Материал, содержащий наночастицы серебра, незаменим для медицинских халатов, постельного белья, детской одежды, антигрибковой обуви и т.д., и т.п.

Наночастицы способны долго сохранять бактерицидные свойства после нанесения на многие твердые поверхности (стекло, дерево, бумага, керамика, оксиды металлов и др.). Это позволяет создать высокоэффективные дезинфицирующие аэрозоли длительного срока действия для бытового применения. В отличие от хлорки и других химических средств обеззараживания, аэрозоли на основе наночастиц не токсичны и не вредят здоровью людей и животных.

Фирма Samsung уже добавляет наночастицы серебра в сотовые телефоны, стиральные машины, кондиционеры и другую бытовую технику.

**Нанотехнологии в кардиологии**

Использование нанотехнологии и наноматериалов в кардиологии приводит к существенному прогрессу в диагностике и терапии сердечнососудистых заболеваний.

Борьба с последствиями артериального и венозного тромбоза остается важнейшей задачей современной кардиологии. В последнее время получены данные о тромболитическом эффекте малоинтенсивного ультразвука. Механизм терапевтического эффекта нанопузырьков включает их прикрепление к тромбу, фрагментацию (после облучения ультразвуком) и механическое разрушение тромба. Эта методика получила название **сонотромболизиса** (Daffertshofer, Hennerici, 2006).

Наноматериалы завоевывают важные позиции и в технологии изготовления внутрисердечных и внутрисосудистых имплантантов.

**Нанотехнологии в эндокринологии**

В последние годы появились единичные сообщения о разработке нанороботов, призванных осуществлять контроль уровня гликемии у пациентов с сахарным диабетом (Cavalcanti et al., 2008). Использование такого подхода позволяет избежать многократного, иногда на протяжении многих лет, взятия крови для определения уровня глюкозы. Кроме того, применение нанороботов, мониторирующих уровень глюкозы в крови, позволит повысить степень информированность пациентов о заболевании и обеспечить более четкий контроль гликемии. Наличие циркулирующих в крови нанороботов может дать возможность одновременного анализа уровня гликемии в сосудах различных органов. При этом создается уникальная возможность оценивать степень поглощения глюкозы различными тканями и идентифицировать ткани с наиболее выраженными нарушениями захвата глюкозы. Дополнительную диагностическую информацию может дать мониторинг концентрации глюкозы в крови у пациента, находящегося в различных состояниях (покой, физическая нагрузка, до и после приема пищи и т. д.).

**Нанотехнологии в онкологии, гематологии и трансфузиологии**

В диагностике опухолей используются различные типы наночастиц, включая квантовые точки, нанооболочки, коллоидные наночастицы металлов, суперпарамагнитные наночастицы и углеродные наноструктуры.

Основной проблемой на пути использования квантовых точек для диагностики опухолей является достаточно высокая токсичность металлов, входящих в состав первых. Для уменьшения токсичности применяются пассивирующие покрытия, например, сульфидами цинка и кадмия. Фотостабильность покрытых этими материалами квантовых точек не страдает. Дополнительное улучшение биосовместимости квантовых точек достигается их покрытием полиэтиленгликолем, белками и углеводами (Hartman et al., 2008). Нанооболочки, покрытые тонким слоем золота, могут использоваться для одновременной диагностики и терапии опухолей.

В настоящее время имеется опыт четкой визуализации злокачественных опухолей прямой кишки (Тота et al., 2005) и рака молочной железы (Funovics et al., 2004) с помощью суперпарамагнитных частиц с присоединенными к их поверхности моноклональными антителами.

Углеродные нанотрубки также рассматриваются в качестве перспективных противоопухолевых наноструктур.

**Углеродные нанотрубки победили раковую опухоль**

Группа ученых из Уэйк-Форестского университета, Вирджинского политехнического института и университета штата и Университета Райса (все — США) провела успешные эксперименты по лечению рака почки у мышей с помощью многослойных углеродных нанотрубок.

Авторы провели серию экспериментов на бестимусных мышах, иммунная система которых функционирует менее эффективно. Шестидесяти животным были трансплантированы фрагменты опухолей, которым ученые дали увеличиться до среднего диаметра в 5,5 мм; после этого мыши были случайным образом разделены на шесть групп. Животные из первой группы не получали никакого лечения и умерли приблизительно через 30 дней после начала наблюдений. Представителям второй группы исследователи ввели в пораженные органы раствор, содержащий многослойные углеродные нанотрубки; это, как выяснилось, не принесло положительных результатов. Опухоли мышей третьей группы авторы облучали с помощью лазера, что также не оказало никакого влияния на развитие болезни.

Животным из оставшихся трех групп были введены разные дозы раствора нанотрубок, а затем на их опухоли воздействовали 30-секундными импульсами лазерного излучения на длине волны 1064 нм с плотностью энергии 3 Вт/см2. Известно, что при попадании ближнего ИК-излучения на нанотрубки они начинают вибрировать и разогревают вещество вокруг себя. Эффективность такой терапии оказалась весьма велика: у восьмидесяти процентов особей, получившую наибольшую дозу раствора, опухоли через некоторое время полностью исчезли. Почти все мыши из этой группы дожили до конца исследования, которое продолжалось около девяти месяцев.

«Мы наблюдали постепенное уменьшение размеров опухолей, а затем и их полное уничтожение, — говорит г-жа Торти. — Причем мыши не просто выжили: они сохранили нормальный вес, и при их обследовании мы не обнаружили никаких повреждений внутренних тканей и аномалий в поведении. Единственным отрицательным моментом стал ожог кожи, следы которого, впрочем, вскоре пропали. Надеемся, нам удастся найти способ использовать подобную методику для лечения людей».

**Нанотехнологии в неврологии и нейрохирургии**

Хорошая биосовместимость нанотрубок и их электропроводность делают возможным использование этого класса наноматериалов в качестве матриц для индукции роста нейрональных сетей. Была предложена схема использования пространственно упорядоченных положительно заряженных нанотрубок в качестве трехмерной матрицы для стимуляции роста нейрональных сетей.

**Нанотехнологии в травматологии и ортопедии**

В последние годы появились новые методы регенерации костной ткани, основанные на применении наноматериалов. Подобные костные матрицы, содержащие коллаген и гиалуроновую кислоту, уже прошли клинические испытания на пациентах с дефектами костей, возникающими после травмы, удаления опухолей и спондилодеза. Клетки костной ткани также могут эффективно расти и пролиферировать на матрице и нанотрубках, поскольку последние не разрушаются и являются биологически инертными (Zanello et al., 2006). Также, недавно было предложено несколько новых методов регенерации хряща, в том числе после травматических повреждений коленного сустава.

**Нанотехнологии в офтальмологии**

Более 90% всех используемых в офтальмологии лекарственных форм представлены глазными каплями. Несмотря на относительную эффективность глазных капель, около 95% активного лекарственного начала не достигает клеток-мишеней вследствие защитного механизма слезотечения. Существует еще одна причина низкой биодоступности лекарственных препаратов, входящих в состав глазных капель, - это высокая плотность роговицы. Для оптимизации доставки лекарственных средств к структурам глаза использовались различные нанопереносчики, включая полимерные наночастицы, дендримеры и липосомы (Vandervoort, Ludwig, 2007). Применение этих наночастиц, нагруженных препаратами, обеспечивало более длительный контакт лекарственного средства с клетками-мишенями. Установлено, что при субконъюнктивальном введении полилактидных наночастиц диаметром 200 нм практически все частицы задерживаются в месте введения. Это позволяет уменьшить частоту закапывания и снизить дозу используемого средства. Те же преимущества нанопереносчиков могут быть востребованными при внутриглазном введении препаратов.

**Нанотехнологии в стоматологии**

Существуют основания предполагать, что в ближайшее время произойдет активное внедрение наноматериалов и наноустройств в стоматологию (Freitas, 2000). Применение нанотехнологичных подходов в стоматологии позволит существенно снизить заболеваемость кариесом и другими заболеваниями органов ротовой полости. Один из аспектов наностоматологии – совершенствование приемов местной анестезии с помощью наночастиц.

Использование нанороботов будет способствовать решению некоторых проблем ортодонтии. В частности, нанороботы смогут осуществлять манипуляции на периодонтальных тканях (десна, цемент, пародонт, альвеолы зуба), обеспечивая быстрое и безболезненное выпрямление зубного ряда, вращение и вертикальную репбзицию зубов. Ожидается, что наностоматология сможет продлить срок службы зубов за счет замены поверхностных слоев эмали ковалентно связанными с ней ультрапрочными материалами, например, сапфиром и алмазом, которые превосходят прочность эмали в 20-100 раз. Наконец, планируется добавление в состав зубных порошков и паст нанороботов, способных полностью очищать над- и поддесневые поверхности зубов от формирующегося налета и камней, превращая полученный органический материал в безопасные пары, лишенные запаха.

**Сейчас разрабатываются**

Среди проектов будущих медицинских нанороботов уже существует внутренняя классификация на микрофагоциты, респироциты, клоттоциты, васкулоиды и другие.

**Микрофагоциты** предназначены для очищения крови человека от вредных микроорганизмов, потенциально помогая в свертывании крови, транспорте кислорода и углекислого газа, и создании надстройки к естественной иммунной системе. Предполагается, что микрофагоциты будут находить в организме человека чужеродные элементы и перерабатывать их в нейтральные соединения.

**Респироциты** являются аналогами [эритроцитов](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D1%80%D0%B8%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B8%D1%82) (красные кровяные тельца, доставляющие кислород к клеткам), которые имеют значительно большую функциональность, чем их природные прототипы. Их внедрение позволит снизить постоянную потребность человека в кислороде, позволяя подолгу обходится без него, и поможет людям, страдающим [астматическими заболеваниями](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%81%D1%82%D0%BC%D0%B0).

**Клоттоциты** – искусственные аналоги [тромбоцитов](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B1%D0%BE%D1%86%D0%B8%D1%82) (клеток, участвующих в свертывании крови). Эти машины позволят прекращать кровотечения в течение 1 секунды, будучи более эффективными своих природных аналогов во много раз. Их работа будет заключаться в быстрой доставке к месту кровотечения связывающей сети. Эта искусственная сеть будет задерживать кровяные клетки, останавливая ток крови.

<http://moikompas.ru/img/compas/2008-03-19/nanomedical/50879665_orig.jpg>**Васкулоид** – это механический протез, созданной на основе микрофагоцитов, респироцитов и клоттоцитов, и входящий в состав проекта по созданию робототехнической крови, совместно разработанного Крисом Фениксом и Робертом Фрайтасом. Этот проект, названный «Roboblood», представляет собой комплекс медицинских нанороботов, способных жить и функционировать в теле человека, выполняя все функции естественной кровеносной системы, но только гораздо лучше и эффективнее природной. Робототизированная кровь позволит своему владельцу не бояться микробов и вирусов, атеросклероза и венозного расширения вен, не говоря уже о тотальном лечении больных и поврежденных клеток.

**Заключение**

Что изменится в медицине с появлением нанороботов?

 С помощью нанороботов будет возможно полное обследование пациента.

 От операций на органах медицина перейдёт к операциям на молекулах.

 Нанороботы будут способны ремонтировать клетки. Снабжённые полным описанием человеческого тела с точностью до атома они смогут устранять изменения в организме, ведущие к старению.

 Раковые клетки будут эффективно распознаваться нанороботами и убиваться сильными препаратами. Аналогично будет уничтожаться различная инфекция.

 Воздействие лекарств на организм станет намного эффективнее. Поскольку нанороботы будут находить соответствующие клетки и доставлять лекарство непосредственно к ним.

 Эти крошечные механизмы смогут взять на себя некоторые функции организма. Например, нанороботы смогут участвовать в транспорте кислорода и углекислого газа, свертывании крови, создании кровеносной системы и т.д.

Таким образом, применение нанотехнологии в биологии и медицине представляет собой пример исключительно плодотворного синтеза физических, химических и биомедицинских научных знаний, в конечном итоге способствующего повышению качества оказания медицинской помощи и улучшению состояния здоровья населения.