* به نام خداوند جان و خرد *

کاربرد نانوربات ها در پزشکی

نویسنده اول : فاطمه سینا
نویسنده دوم* : دکتر سید جواد حسینی
نویسنده سوم : فاطمه عباسیان

fatemhsina777@gmail.com موسسه نویسنده اول : دانشگاه خلیج فارس ، شهر : بوشهر ،

موسسه نویسنده دوم: دانشگاه خلیج فارس، شهر: بوشهر ، sjhosseini@pgu.ac.ir

موسسه نویسنده سوم : دانشگاه خلیج فارس ، شهر: بوشهر Fatemeh.abbassian78@gmail.com

چکیده

نانورباتیک ، به عنوان یکی از مهمترین شاخه های فناوری نانو شامل طراحی، کنترل و برنامه نویسی رباتها در مقیاس نانو می باشد. نانوربات یک ماشین مینیاتوری است که برای انجام کار خاص با دقت ابعاد نانومتری طراحی شده است. برای طراحی نانوربات، از بدن انسان و مدل های بیولوژیکی الهام گرفته شده اند. دو نوع اصلی از نانوربات ها وجود دارد. یکی اسمبلرها (مونتاژکننده ها) و دیگری خود تکثیرکننده ها. اسمبلر ها ، نانوربات های سلولی ساده ای هستند که قادر به تفسیر مولکول ها یا اتم های انواع مختلف هستند و توسط برنامه های تخصصی خاصی کنترل می شوند . خودتکثیرکننده ها ، مجموعه هایی هستند که قادر به کپی کردن خود با سرعت بسیار زیاد هستند و قادر به خود تکثیری یا شبیه سازی خود، و دارای توانایی برای کار هماهنگ در ساخت دستگاه هایی در مقیاس ماکرو هستند. تشخیص و درمان سرطان، در جراحی ها به ویژه در میکروجراحی چشم و جراحی های شبکیه و غشاهای اطراف آن، حذف میکروب ها (نانوربات های میکروبی خوار (Microbivore)) به عنوان گلبول های سفید مصنوعی خون، در زمینه اکسیژن رسانی به عنوان گلبول های قرمز مصنوعی و همچنین تشخیص و درمان دیابت و کاربردهای متعدد مشابه، از مهمترین ایده ها در زمینه بیونانوربات ها، در حوزه پزشکی است. به طور کلی، با طراحی، بهینه سازی و به کارگیری بیونانوربات ها (نانورباتهای زیستی)، دنیای علم پزشکی دگرگون خواهد شد.

واژه های کلیدی : نانوربات ها ، نانوپزشکی ، نانورباتیک

نانورباتیک ، به عنوان یکی از مهمترین شاخه های فناوری نانو شامل طراحی، کنترل و برنامه نویسی رباتها در مقیاس نانو میباشد. با کاربردی [1]شدن بیونانوربات ها (نانورباتهای زیستی)، دنیای علم پزشکی دگرگون خواهد شد. با به کارگیری این اجزای زیستی، نانوداروها میتوانند وارد بدن شده و بخشهای آسیب دیده را شناسایی و یا درمان کنند

بخشی جدایی ناپذیر از نانو در علوم انسانی وپزشکی وجود دارد. نانوپزشکی فرآیند تشخیص سرطان، درمان ،پیشگیری ازبیماری ، تسکین درد و حفظ و بهبود سلامت انسان با استفاده از ابزارهای مولکولی و دانش مولکولی بدن انسان است ؛ .بیشتر علائمی مانند تب که دلایل بیوشیمیایی خاصی دارند میتوان با استفاده از نانوربات های تزریقی مناسب ، آن ها را کنترل کرده، کاهش داده و از بین برد.

نانوربات یک ماشین مینیاتوری است که برای انجام کار خاص با دقت ابعاد نانومتری طراحی شده است و کاربردهایی در زمینه های مونتاژ ، نگهداری و ساخت دستگاه های پیشرفته ، ماشین آلات ، مدارها ، در سطح اتمی و مولکولی است . نانوربات ها زمینه جدیدی از نانو پزشکی را ایجاد کرده اند . مثلا ممکن است به عنوان آنتی بادی یا عوامل ضد ویروسی در بیماران عمل کنند یا باعث کاربرد های دیگری مثلا ترمیم بافت آسیب دیده و رفع انسداد شریان ها تحت تاثیر پلاکت شود.[2]

ربات هایی که ماهیت میکروسکوپی دارند، تا حد زیادی در مقیاس نانومتر اندازه گیری می شوند. آن ها در حال حاضر در مرحله تحقیق و توسعه هستند ، اما انتظار می رود که آن ها پس از تحقق، وظایف مشخصی را در سطح اتمی، مولکولی و سلولی انجام دهند و به پیشرفت های بسیاری ، به ویژه در علم پزشکی کمک کنند. نانوربات ها را می توان نسخه ماشینی یک باکتری یا ویروس دانست.

آن ها می توانند زیستی (بیولوژیکی) یا مصنوعی باشند، اما برای انجام وظایف از پیش برنامه ریزی شده در سطح اتمی سازگار هستند . انتظار می رود که آن ها ماهیت مستقل داشته باشند و توسط یک سلول کوچک یا باتری یا حتی سلول های خورشیدی تغذیه شوند .

[3]ایده کلی پشت نانوربات ها در داشتن دستگاهی است که بتواند در مقیاس نانو با آن تعامل داشته باشد و به درک یا دستکاری ساختارها در سطح نانو کمک کند. در توسعه نانوربات ها ، نانومونتاژها و دستکاری نانو نقش مهمی دارند .

از واقعیت مجازی برای طراحی نانوربات استفاده شده است که به عنوان یک رویکرد مناسب برای استفاده از مفاهیم ماکرو و میکروروباتیک در نظر گرفته شده است . نانوربات ها از گلوله های کلوئید ی طلا و نقره ساخته شده اند که به کوچکی دو نانومتر همراه با اتم های کربن در لایه ساختار الماسی قرار گرفته اند .

طراحی نانوربات از بدن انسان و مدل های بیولوژیکی الهام گرفته شده است .

دو نوع اصلی از نانوربات ها وجود دارد ؛ اسمبلرها (مونتاژکننده ها) و خود تکثیرکننده ها.

اسمبلر ها ، نانوربات های سلولی ساده ای اند که قادر به تفسیر مولکول ها یا اتم های انواع مختلف هستند و توسط برنامه های تخصصی خاصی کنترل می شوند . خودتکثیرکننده ها ، مجموعه هایی اند که قادر به کپی کردن خود با سرعت بسیار زیاد هستند و قادر به خود تکثیری یا شبیه سازی خود، و دارای توانایی برای کار هماهنگ در ساخت دستگاه هایی در مقیاس ماکرو هستند.

به دلیل نیاز به عبور مویرگی ، میکرون تقریبا حداکثر اندازه برای نانوربات های پزشکی حامل خون است .[2]

کربن عنصر اصلی خواهد بود که بخش عمده ای از یک نانوربات پزشکی را تشکیل می دهد و به شکل الماس یا کامپوزیت های نانو الماس است و این انتخاب به دلیل استحکام فوق العاده و بی اثر بودن شیمیایی الماس است .

همچنین بسیاری از عناصر سبک دیگر مانند نیتروژن، فلوئور، سیلیکون، هیدروژن، گوگرد، اکسیژن و برای اهداف خاص در چرخ دنده های نانومقیاس و سایر اجزا استفاده می شود.

اجزای مختلف در نانوربات شامل ، منبع تغذیه ، مخزن سوخت ، حسگرهای شیمیایی ، موتور ها ، دستکاری کننده ها ، پمپ ها ، مخازن تحت فشار ، الکترود هایی برای تولید جریان الکتریکی و یک دوربین مینیاتوری است.[۳]

هر گونه نانوربات پزشکی برای رسیدن به یک کار خاص طراحی شده است و شکل ها و اندازه های زیادی دارد . بهترین نانوربات با استفاده از یک مکانیزم حمل و نقل، یک پردازنده داخلی و یک واحد سوخت تشکیل شده است که آن را قادر به انجام وظیفه می کند .

مشکل اصلی ، پیرامون این واحد سوختی به وجود می آید , زیرا اکثر اشکال معمول رباتیک را نمی توان با فن آوری موجود به مقیاس نانو رساند . دانشمندان موفق شدند یک ربات را به پنج یا شش میلی متر کاهش دهند . اما این اندازه هنوز هم از نظر فنی کفایت نمی کند.

به عنوان یک ماکرو ربات ، یکی از راه حل های ممکن چسباندن یک لایه ریز از ذرات رادیواکتیو به بدن نانوذرات است . وقتی ذرات تجزیه و انرژی آزاد می کنند نانوربات قادر خواهند بود از این منبع انرژی استفاده کنند.

محققان به دنبال استفاده از MRI به عنوان یک مکانیزم کنترل خارجی برای هدایت نانو ذرات هستند. این سیستم قادر به ایجاد گرادیان میدان مغناطیسی متغیر است که می تواند بر روی آن نیرو وارد کند. آن ها در حال بررسی اثر میدان مغناطیسی متغیر بر روی یک هسته مغناطیسی هستند که شاید بتوان از آن در نانو ربات استفاده کرد . ساختمان حسگرهای زیستی و ابزارهای نانو جنبشی ، یک نیاز اصلی در فرایند و حرکت نانوربات ها هستند.

ما برای هدایت نانوربات ها به یک مکانیسم کنترل فعال نیاز داریم تا بتوانند رفتار خود را بر اساس موقعیت هایی که در معرض آن قرار مبگیرند ، تغییر دهند ؛ مشابه عملکرد ربات های میکرو ، برای دستیابی به این کنترل داخلی می توان از ایده کامپیوترهای مولکولی استفاده کرد . اخیرا از این کامپیوتر ها برای تجزیه و تحلیل اطلاعات بیولوژیکی که می تواند سرطان را شناسایی و درمان کند، استفاده میکنند. کامپیوتر پاسخ ، [2] مولکولی دارای یک ماژول ورودی و خروجی است که با هم عمل می کنند و می توانند یک بیماری خاص را تشخیص دهند و در دارویی برای درمان آن بیماری تولید کنند.

بدنه نانوربات به دلیل خاصیت ذاتی آن از نانولوله های کربنی ساخته می شود که در آن امواج نور مادون قرمز نزدیک را جذب می کنند که به صورت بی ضرر از سلول های انسان عبور می کنند. حسگرها برای برخورد به بدنه نانوربات متصل می شوند و این کار برای جلوگیری از برخورد نانوربات ها به یکدیگر و همچنین سلول های دیگر در رگ های خونی است. هنگامی که یک نانوربات به بدن وارد می شود به اندازه کافی کوچک و چابک است که بتواند در سیستم گردش خون حرکت کند. [3]

حوزه فن آوری نانو که به سرعت در حال گسترش است، کاربردهای مفید و مستقیم زیادی برای صنعت پزشکی دارد . نانوربات ها نیز از این قاعده مستثنی نیستند. علم پزشکی می خواهد نانوربات هایی بسازد که بتوانند بافت آسیب دیده را بدون آسیب و ضربه ترمیم کنند. بسیاری از روش های پزشکی که امروزه به کار می بریم برای بدن انسان دردناک هستند و همیشه جواب نمی دهند و مطابق با سیستم های طبیعی ما عمل نمی کنند . مثلا روش های جراحی همیشه کارآمد نیستند و در بعضی مواقع با عوارض همراه است .

نانوربات ها به قدری کوچک هستند که در واقع در همان سطح با باکتری ها و و یروس ها ارتباط دارند و به همین دلیل می توانند با ذرات بدن ما مانند اتم ها و مولکول ها ترکیب شوند. به همین دلیل نانو ربات ها به عنوان یک نجات دهنده توسط دنیای پزشکی مورد استقبال قرار خواهد گرفت.[2]

کاربردهای نانوربات زیستی:

جراحی :

نانو ربات‌های جراحی می‌توانند از طریق سیستم عروقی به داخل عروق مختلف و سایر حفره های بدن انسان وارد شوند .

یک نانوروبات جراحی که توسط جراح انسانی برنامه‌ریزی شده یا هدایت می‌شود، می‌تواند به‌عنوان یک جراح نیمه مستقل در داخل بدن انسان عمل کند . چنین دستگاهی می تواند عملکردهای مختلفی از جمله جستجوی پاتولوژی(آسیب شناسی) و سپس تشخیص و تصحیح ضایعات با دستکاری نانو را انجام دهد که با هماهنگی توسط یک کامپیوتر داخلی و در عین حال حفظ ارتباط با جراح ناظر از طریق سیگنال های رمزگذاری شده انجام می شود.{۳}

به زودی می‌توان میکروجراحی چشم و جراحی های شبکیه و غشاهای اطراف آن را با نانو ربات‌ها انجام داد. علاوه بر این به جای تزریق مستقیم دارو به چشم می‌توان از نانوربات‌ها برای هدایت دارو از جای دیگری از بدن استفاده کرد . از آن‌جایی که نانورباتها می‌توانند با کمترین ضربه به ناحیه مورد نیاز دسترسی بهتری داشته باشند، جراحی جنین، که در حال حاضر یکی از خطرناکترین جراحی ها به دلیل مرگ و میر بالای نوزاد پیشرفت در [۵]یا مادر به شمار می‌رود، به زودی به کمک این نانو ربات‌ها می‌تواند با احتمال ۱۰۰ درصد موفقیت انجام گیرد. به طور مشابه، نانو رباتیک منجر به پیشرفت در سایر جراحی‌های دشوار می‌شود.

):Microbivoreنانوربات های میکروبی خوار (

همچنین به عنوان گلبول های سفید خون مصنوعی یا فاکوسیت های نانورباتیک نامیده می شوند و اندازه آنها در حدود ۳.۴ میکرومتر قطر دارد [3].

این نانوربات ها مشابه گلبول های سفید خون در بدن ما عمل می کنند ، اما به گونه ای طراحی شده اند که در از بین بردن باکتری ها بسیار سریع تر عمل می کنند . این نوع از نانوربات ها باید بتوانند در عرض چند دقیقه عفونت های باکتریایی را در بیمار از بین ببرند ؛ برخلاف آنتی .بیوتیک ها که زمان بسیار طولانی تری برای اثرگذاری نیاز دارند

نانوربات های میکروبی خوار به گونه ای طراحی شده که پادتن ها (آنتی بادی) به باکتری خاصی که ربات به دنبال آن است، بچسبد و هنگامی که آنتی بادی به باکتری متصل شد ، یک بازو باکتری را می گیرد و آن را به داخل نانوربات منتقل و در آنجا نابود می شوند . پس از این کار باکتری به عنوان یک سری قطعات بی ضرری که دیگر خطری ندارند وارد جریان خون می شود .[2]

یک چرخه کامل فاگوسیتوز در ۳۰ ثانیه کامل می شود . نانوربات میکروبی خوار پاتوژن های موجود در جریان خون را به دام می اندازد و به [3]مولکول های کوچکتر تجزیه و پاتوزن هارا در جریان خون هضم می کند و ۱۰۰۰برابر سریع تر از گلبول های سفید به کمک آنتی بیوتیک عمل می کند.

نانوربات های تنفسی(Respirocyte) :

به عنوان گلبول های قرمز مصنوعی نیز نامیده می شوند و اندازه آن ها حدود ۱ میکرومتر است . [3]

این نانوربات ها عملکردی مشابه گلبول های قرمز خون در بدن ما دارند . اما به گونه ای طراحی شده اند که اکسیژن بسیار بیشتری را نسبت به گلبول های قرمز طبیعی خون حمل کنند. این طرح می تواند برای بیماران مبتلا به کم خونی بسیار مفید باشد. این نانوربات ها دارای مخزنی وقتی [2]هستند که در آن اکسیژن با فشار بالا نگه داشته می شود و حسگرهایی برای تعیین غلظت اکسیژن در جریان خون و دریچه ای که حسگرها تشخیص دهند که به اکسیژن اضافی.نیاز است ، اکسیژن آزاد می کند.

مخزن آن با پمپاژ فعال با انرژی گلوکز سرم درون زا طراحی شده است و می تواند ۲۳۶ برابر بیشتر از گلبول قرمز طبیعی در واحد حجم به بافت ها اکسیژن برساند و در عین حال اسیدیته کربنیک را مدیریت کند . اینها مولکول های اکسیژن و دی اکسید کربن را در سراسر بدن حمل می کنند. به این صورت که این گاز ها از طریق روتورهای مولکولی مبادله می کنند و از ۳ نوع روتور تشکیل شده است . یک روتور اکسیژن می [3]ذخیره شده را آزاد می کند ، روتور دوم تمام مولکول های کربن دی اکسید موجود در جریان خون را جذب می کند و در ریه ها آزاد کند و روتور سوم گلوکز خون را از جریان خون به عنوان منبع سوخت می گیرد.

نانوربات ها در تشخیص و درمان دیابت :

نانو رباتیک ممکن است از نانو حسگرهای زیستی تعبیه شده برای نظارت بر سطح گلوکز خون استفاده کند به این صورت که هر دو ساعت یک بار اطلاعات لازم را از طریق سیگنال هایی برای تلفن همراه بیماران منتقل کند . به جای گرفتن نمونه خون مکرر برای کنترل سطح گلوکز ، سطح قند بدن را می توان از طریق پایش مداوم گلوکز با استفاده از نانورباتیک های پزشکی مشاهده کرد . همچنین ممکن است به دلیل برش‌های کوچک روزانه برای جمع‌آوری نمونه خون، از عفونت‌ها جلوگیری کند.

گلوکز حمل شده از طریق جریان خون برای حفظ عملکرد سالم متابولیسم انسان مهم است و سطح صحیح آن یک مسئله کلیدی در تشخیص و درمان دیابت است .

پروتئینhSGLT3 که ذاتا با مولکول های گلوکز مرتبط است ، تأثیر مهمی در حفظ فعالیت های عملکردی عصب و عضلات اسکلتی و دستگاه گوارش دارد و غلظت گلوکز خارج سلولی را تنظیم می کند . و این پروتئین می تواند سطح گلوکز را برای بیماران دیابتی تعیین کند.[3]

تشخیص و درمان سرطان :

سرطان را می توان با موفقیت با مراحل فعلی فناوری های پزشکی و ابزارهای درمانی درمان کرد. با این حال، یک عامل تعیین کننده برای تعیین شانس زنده ماندن یک بیمار مبتلا به سرطان این است که چقدر زودتر تشخیص داده شده است که در صورت امکان سرطان باید حداقل [3]قبل از شروع متاستاز تشخیص داده شود . یکی دیگر از جنبه های مهم برای دستیابی به یک درمان موفق برای بیماران، توسعه دارو رسانی هدفمند و کارآمد برای کاهش عوارض جانبی ناشی از شیمی درمانی است .

نانوربات‌ها ترکیبی از پلیمر و پروتئینی به نام ترانسفرین ساخته شده‌اند که قادر به تشخیص سلول‌های تومور است. همچنین می‌توان در ساخت آنها از حسگرهای زیستی شیمیایی تعبیه شده برای شناسایی تومورها استفاده کرد. حسگرهای زیستی شیمیایی در نانوربات های پزشکی قادرند برای شناسایی سطوح مختلف برنامه‌ریزی شوند و به شناسایی هدف و انتقال دارو کمک کنند. این نانو ربات همچنین می‌تواند مواد شیمیایی حمله [5] شیمی درمانی را به محل درمان سرطات منتقل کند. این ربات‌ها می‌توانند از لیزر، امواج مایکروویو یا سیگنال‌های فراصوت برای مستقیم به تومورها استفاده کنند یا دارو را به عنوان بخشی از درمان شیمی درمانی به محل سرطان برسانند.

مواد فولات روی بدنه نانوربات به عنوان عاملی عمل می کنند که باعث جذب نانوربات به سمت سلول های سرطانی می شود که به سلول های گیرنده فولات نیز معروف است. برای اهداف مدل سازی، مواد فولات به جای پوشش به‌عنوان یک شیء متصل به نانوربات مدل‌سازی می‌شود تا بیننده بتواند تصویر بهتری از فرایند درمان آن داشته باشد.

با توجه به خواص نانوربات‌ها برای هدایت به عنوان دستگاه‌های انتقال دهنده خونی، می‌توانند به جنبه های مهم درمان سرطان کمک کنند . نانوربات‌ها با حسگرهای زیستی شیمیایی تعبیه‌شده می‌توانند برای شناسایی سلول‌های تومور در مراحل اولیه رشد در داخل بدن بیمار استفاده سخت [3] شوند. نانوحسگرهای یکپارچه را می توان برای چنین کاری به منظور یافتن شدت سیگنال ها استفاده کرد. بنابراین یک معماری افزاری مبتنی بر نانو بیوالکترونیک برای استفاده از نانوروبات ها برای درمان سرطان توصیف شده است.

نانوربات های DNA برای کاربردهای زیست پزشکی :

از آن جا که دی ان ای قابلیت تغییر شکل دنیای محاسباتی را دارند ، محققان زیستی در تلاش هستند که از این توانمندی در تشخیص و درمان بیماری استفاده کنند . اوریگامی دی ان ای اولین قدم در ساخت نانوربات زیستی است که قادر است ، عملیات منطقی خاصی را انجام دهد. هر اندازه که ربات های دی ان ای بیشتری به بدن تزریق شود ، عملیات پیچیده تری در بدن انسان قابل انجام است . موتورهای دی ان ای سنتزی که تحت عنوان نانوراهرونده شناخته می شود، یکی از موضوعات تحقیقاتی پر اهمیتی است که عمری بالغ بر ۱۵ سال دارد.

در یکی از پروژه هایی که با این هدف انجام شده است ، محققان نانوموتور دی ان ای ساخته اند که برخلاف راه رفتن همانند نمونه های قبلی مشابه خود ، می غلتند ، این سیستم طراحی شده ، هزار برابر سریعتر از همتایان خود است و عنوان سریع ترین نانوموتور زیستی جهان را به خود اختصاص داده است.[1]

مولکول DNA معمولا توسط سیستم های بیولوژیکی برای ذخیره و انتقال اطلاعات ژنتیکی استفاده می شود. در طول دهه گذشته توانسته اند با ا استفاده از نانوتکنولوژی DNA ، DNA را از ازبافت بیولوژیکی خود خارج کرده و از آن به عنوان بلوک سازنده اساسی برای ساختن نانوساختارها در اندازه ها و شکل های کاملا تعریف شده و دلخواه از طریق جفت شدن بازهای مکمل استفاده می کند .

مهم تر از همه ، DNA به عنوان یک مولکول انعطاف پذیر و قوی ، از نظر مکانیکی مانند یک فنر آنتروپیک عمل می کند ، از این رو می توان توسط نیروهای خارجی به صورت کشسانی کشیده و خم شود و سپس خود را در شرایط مناسب بازسازی می کند ، همچنین می تواند حرکت زاویه ای و خطی ، چرخه حرکتی سه بعدی برگشت پذیر و یا سایر حرکت های مکانیکی محدود را تسهیل کند.

نانوربات های DNA می توانند از طریق ویژگی های منحصر به فرد خود در پاسخگویی به محرک ها ، در مقایسه با نانومواد معمولی ساخته شده از پلی مرهای مصنوعی ، برای کاربرد های تشخیصی و حسی برتری پیدا کنند .

برای مثال : نانوربات های DNA ساخته شده با چندین الیگونوکلئوتید اصلاح شده با رنگ فلورسنت ، برای نقشه برداری مکانی_زمانی دامنه وسیعی از یون ها .

از کاربرد های دیگر این نانوربات ها می توان به هدف گیری مکان ، نفوذ به بافت ، تشخیص مولکول هدف و تعیین سرنوشت سلول ، درمان تومور های خاص و سرطان اشاره کرد .[4]

نانوربات ها در ژن درمانی :

نانوربات های پزشکی می توانند به راحتی بیماری های ژنتیکی را با مقایسه ساختارهای مولکولی دی ان ای و پروتئین‌های موجود در سلول با ساختارهای مرجع شناخته شده یا دلخواه درمان کنند. سپس می توان هرگونه بی نظمی را اصلاح کرد، یا تغییرات مورد نظر را می توان در جای خود ویرایش کرد . در برخی موارد، درمان جایگزینی کروموزومی کارآمدتر از ترمیم سلولی است . این نانوربات شناور در داخل هسته یک سلول انسانی ، یک رگ تعمیری ساخته شده توسط مونتاژکننده برخی از تعمیرات ژنتیکی را انجام می دهد .

این نانوربات با قرار دادن یک ابرکویل دی ان ای بین دو بازوی ربات پایینی خود به آرامی رشته باز شده را برای تجزیه و تحلیل از طریق دهانه ای به داخل خود می کشد کشش رگ تعمیر برخی از تعمیرات ژنتیکی را انجام می دهد. در همین حال ، بازوهای بالایی ، پروتئین های تنظیم کننده را از زنجیره جدا کرده و آن ها را در یک درگاه ورودی قرار می دهد . ساختار های مولکولی دی ان ای و پروتئین ها با اطلاعات ذخیره شده در پایگاه داده یک نانوکامپیوتر بزرگتر که در خارج از هسته قرار گرفته و توسط یک پیوند ارتباطی به ناحیه تعمیر سلول متصل است ، مقایسه می شوند. بی نظمی ها و ناهنجاری های یافت شده در هر دو ساختار اصلاح می شوند و پروتئین ها دوباره به زنجیر دی ان ای متصل می شوند و دوباره به شکل اولیه خود می پیچند. .

این قطعه تعمیری که تنها ۵۰ نانومتر قطر دارد ، کوچکتر از اکثر باکتری ها و ویروس ها خواهد بود ، ولی در عین حال قادر به درمان و معالجه ای بسیار فراتر از دسترسی پزشکان کنونی است . با این روش بیماری ها در سطح مولکولی مورد حمله قرار می گیرد و پزشکی داخلی دی ان ای[3] اهمیت جدیدی پیدا می کند و بیماری هایی مانند سرطان ، عفونت های ویروسی و تصلب شرایین می توانند بدون جراحی از بین بروند .

منابع :

https://sid.ir/paper/961883/fa#pointx [1]

(https://journals.scholarpublishing.org/index.php/TNC/article/view/131/89) [2]

https://www.jetir.org/papers/JETIR1809611.pdf [3]

https://spj.science.org/doi/full/10.34133/2021/9807520 [4]

https://roboticsbiz.com/applications-of-nanorobots-in-medicine/ [5]