## التطبيقات الحالية والمستقبلية لتقنية النانو (Application of nanotechnology)

### (٤-١) مقدمة

تعدّ تقنية النانو من التقنيات الواعدة التي ينتظر منها أن تؤدي إلى تغييرات كبيرة في مجالات كثيرة، وخاصة المجالات الطبية والصناعية، وأن تسهم في التوصل إلى مواد ومنتجات مستحدثة.

وقد سوّقت بالفعل منتجات الجيل الأول من منتجات النانو، مثل : الدهانات، والأغلفة، ومستحضرات التجميل. وثمة المزيد من المنتجات التي قيد التحضير حاليًّا، مثل: المستحضرات الدوائية، ووسائل التشخيص، وتطبيقات تخزين الطاقة وإنتاجها. وقد حاولت دراسات كثيرة تقدير التوقعات المتصلة بسوق التقنية النانوية عبر مختلف المعطيات. وتشير التقديرات المتصلة بالإلكترونيات النانوية (الموصّلات الجزيئية، والمكثفات الكهربائية الفائقة، والتخزين النانوي، وأجهزة الاستشعار النانوية) إلى أنّ قيمة مبيعاتها ستصل إلى قرابة ٤٥٠ مليار دولار بحلول عام ٢٠١٢م. وستستحدث في المستقبل المزيد من المنتجات النانوية المرتكزة على البنى النانوية(٢١).

ويعدّ علم النانو أقرب العلوم دون منازع إلى مصطلح العلوم متعددة التخصصات، حيث إنّ تقنية النانو تستخدم في مجالات متنوعة، مثل: مجال الطاقة وتقنياتها، ومجال الاتصالات والمعلومات، ومجال حفظ الأغذية وتصنيعها، وحتى في صناعة بعض الأدوات المنزلية. ولعلّ الاستخدام المكثف لتقنية النانو كان في المجالين الطبي والعلمي.

ولتقنية النانو تطبيقات كثيرة، ومن أبرزها مجال تقنية المعلومات، حيث إنّ شركة IBM أنتجت مجهرًا؛ لتصوير الذرات، وتسجيلها باستخدام رؤوس أقراص صلبة على مستوى النانو. كما أنّ هناك حلمًا مفاده:استبدال الكهرباء بالضوء عبر إبطاء الضوء، وتخزينه، ومعالجته؛ لأنّ ذلك سيؤدي إلى تطورات جذرية في مجال أداء الحاسب الآلي، وكل الأجهزة الإلكترونية الأخرى، وسيتمكن- بإذن الله- من إنتاج أجهزة صغيرة جدًّا، وزهيدة الثمن، وسيظهر في المستقبل القريب-إن شاء الله- ما يمكن أن يسمى الحاسب الإلكتروني الضوئي.

ومن التطبيقات الطبية المحتملة لتقنية النانو، تطوير فأر إلكتروني يزرع داخل الشرايين؛ لإذابة الكتل الدهنية لدى مرضى القلب(٢٧) .

### (٤-٢) التطبيقات الطبية لتقنية النانو (Medical application)

تعدّ التطبيقات الطبية لتقنية المواد المتناهية في الصغر (النانو) من أهم التطبيقات الواعدة على الإطلاق، فمن المحتمل الحصول على مركبات نانوية تدخل إلى جسم الإنسان، وترصد مواقع الأمراض، وتحقن الأدوية، وتأمر الخلايا بإفراز الهرمونات المناسبة، وترمم الأنسجة. كما يمكن

لهذه المركبات الذكية أن تحقن الأنسولين داخل الخلايا بالجرعات المناسبة. أمّا أجهزة الاستشعار النانوية فيمكن زرعها في الدماغ؛ لتمكن المصاب بالشلل الرباعي من السير.

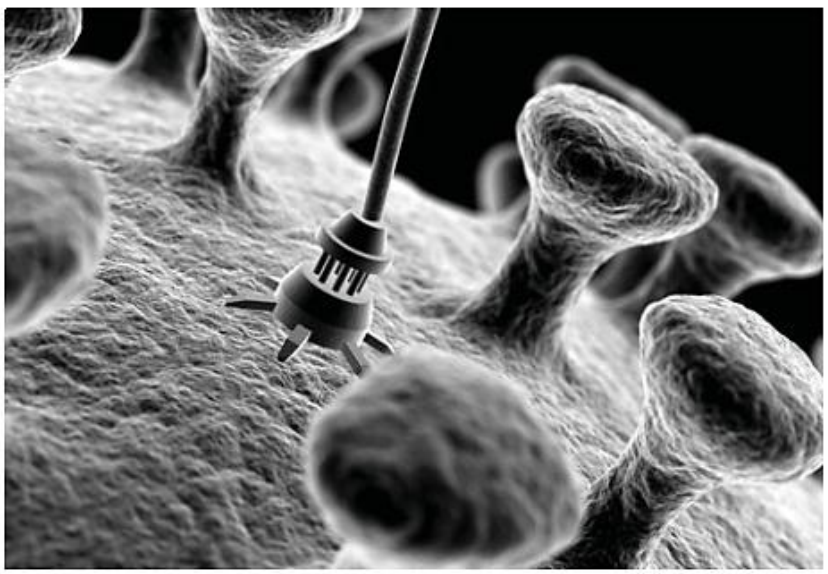
ولقد حُصل على طاقم أسنان سليكوني لا يزيد حجمه عن حجم الخلية، ويستطيع ابتلاع الكريات الحمراء، وقضمها، ثم إطلاقها مجددًا إلى الدم بمعدل عشر خلايا في الثانية، ويمكن لطاقم الأسنان هذا أن يساعد على إدخال الأدوية، أو الجينات إلى داخل الخلايا، ومن ثمّ يعزز العلاج الخلوي المركز لكثير من الأمراض(٢٧) .

## (٤-٢-١) علاج السرطان (Cancer treatment)

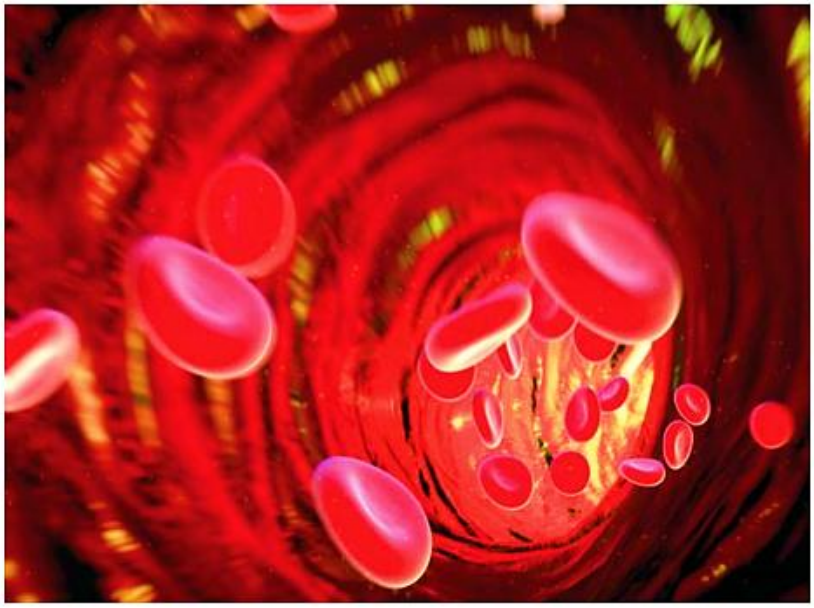
لقد طوّر علماء من مركز السرطان (ميموريان كيتيرنج) الأمريكي قنابل مجهرية ذكية تخترق الخلايا السرطانية، وتفجرها من الداخل. واستخدم العلماء بقيادة ديفيد شينبيرج التقنية النانوية في إنتاج القنابل النانوية، ومن ثَمّ استخدامها في قتل الخلايا السرطانية لفئران المختبر. وعمل العلماء على تحرير ذرات مشعة من مادة أكتينيوم ٢٢٥ التي ترتبط بنوع من الأجسام المضادة من قفص جزيئي، ونجحت هذه الذرات في اختراق الخلايا السرطانية، ثمّ قتلها. وقد استطاعت القنابل النانوية أن تطيل عمر الفئران من ٤٣ يومًا إلى ٣٠٠ يوم (انظر:الشكلين رقم ٤-١ ، و٤-٢) (٢٧).

## (٤-٢-٢) الاتصال بالإنسالات(الروبوتات) النانوية

هناك عدة طرق مقترحة في هذا الشأن، وسنعرض طريقة واحدة فقط هنا بسبب سهولتها، وسهولة وصفها. وتستند هذه الطريقة إلى إرسال إشارات بموجات صوتية إلى الإنسالات، وهي داخل جسم الإنسان بواسطة مسبار يشبه ذلك المستعمل في أشعة السونار، وبتردّدات تتراوح ما بين ١ إلى ١٠ ميجاهرتزات ، وبذلك



**شكل رقم (٤-١) صورة لقنابل النانو التي استخدمت في قتل الخلايا السرطانية لفئران التجارب (٢٧).**



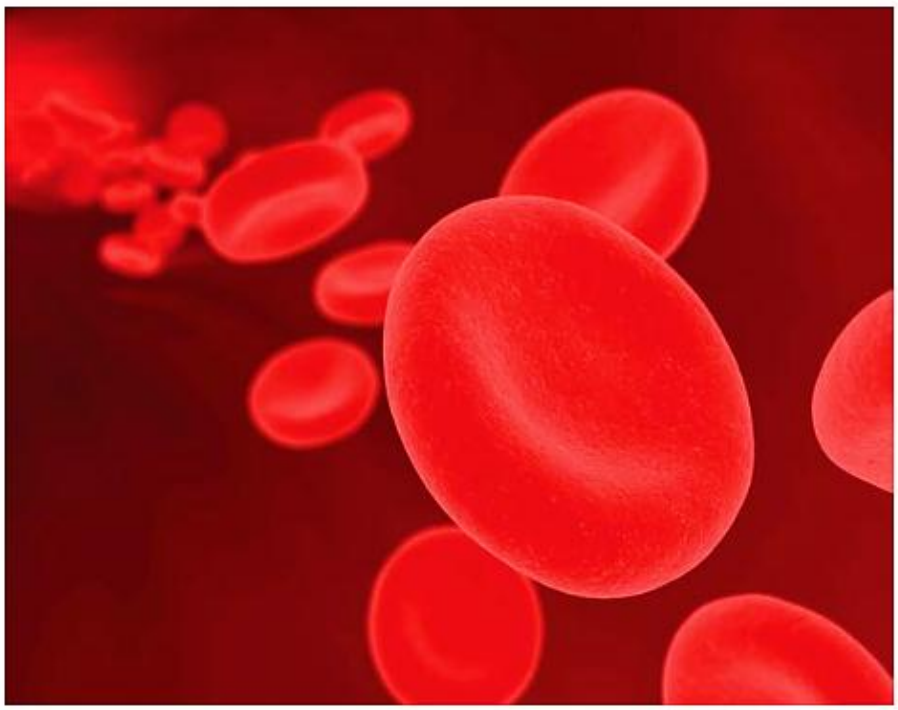
**شكل رقم (٤-٢) معلمات فلوريسينية على سطح جسيمات نانوية من أكسيد الحديد، تظهر بلون أخضر براق لصورة سرطان الثدي في فأرة تجارب (٢٧).**

يتمكن الطبيب المشرف بكل سهولة من إرسال أوامر، أو تعليمات جديدة. وستتمكن الإنسالات من تسلم هذه الأوامر والتعليمات بواسطة مُحسّات منتشرة على سطحها، وتتعامل معها بواسطة الحواسيب النانوية التي تحملها، وتتصرف تبعًا لذلك. أمّا الجزء الآخر من العملية فيكمن في الإجابة عن السؤال التالي: كيف يتسلم الطبيب الرسائل الصادرة عن الإنسالات؟ والجواب السريع عن ذلك يكون عبر الموجات الصوتية. ولكن الدراسات والحسابات المتاحة حاليًّا عن المولدات الصوتية الميكروية في محيط مائي، لن تسمح بمدى بث يزيد على بضع مئات من الميكومترات لكل إنسالة نانوية؛ لذلك سيكون من الملائم تأسيس شبكة اتصالات داخل جسم الإنسان، يكمن عملها في جمع الردود الواصلة من الإنسالات، وتمريرها إلى موقع مركزي، حيث يستطيع الطبيب التعامل معها، ومعالجتها. ويأمل العلماء ألا يستغرق زرع شبكة كهذه داخل جسم الإنسان أكثر من ساعة، وألا تزيد الحرارة الناتجة عنها على ٦٠ واتاً، مع العلم أنّ الحرارة الناتجة عن النشاطات الطبيعية للإنسان تصل إلى نحو ١٠٠ وات(٢٧).

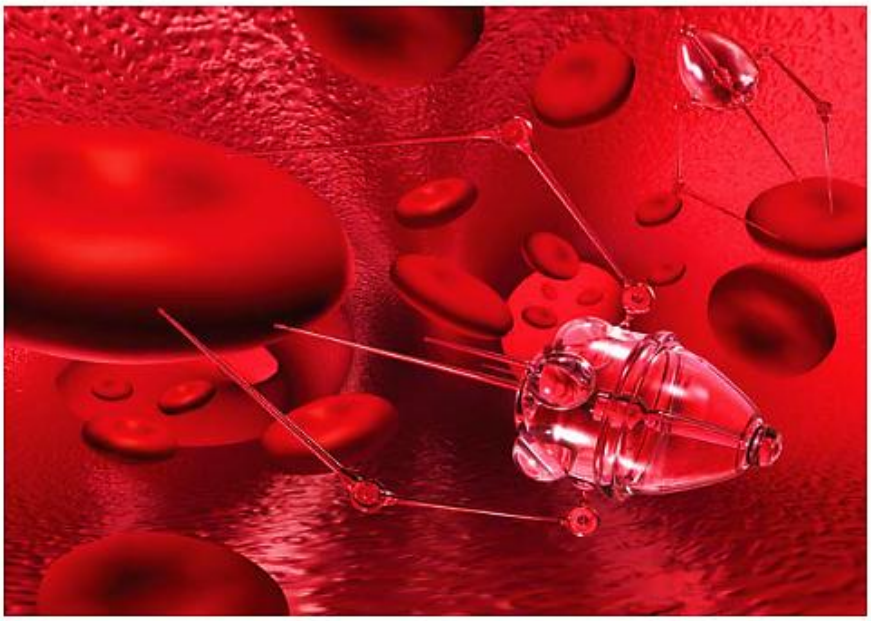
الأخطاء التي يمكن أن تحدث أثناء المعالجة بالإنسالات النانوية:

قبل الحديث عن الأخطاء الطبية، نودّ الإشارة إلى وجود تخوّف من تدمير الإنسالات الحمض النووي للخلية الحية نفسها. ولكن استخدام الإنسالات النانوية يقلل جدًّا من هذا الخطر (انظر: الشكل رقم ٤-٣). أمّا التخوف الآخر من استخدام الإنسالات النانوية فيكمن في مهاجمة جهاز المناعة الطبيعي للإنسالات النانوية الطبية حال دخولها الجسم. لكن من المعلوم أن ردة فعل جهاز المناعة على الأجسام الغريبة تكون في الأساس قائمة على غرابة سطوح تلك الأجسام الداخلية، أمّا في حالة الإنسالات النانوية فإنّ الأمر يعتمد على حجمها، بالإضافة إلى قدرتها الحركية، وطبيعة سطحها، وعوامل أخرى. وعلى الرّغم من ذلك فإنّ مشكلة رفض الجسم الإنسالات النانوية لا يختلف عن رفضه الأعضاء المزروعة، وربّما كانت أبسط من ذلك؛ لأنّ الكثير منها سيبقى في الجسم لفترة محدودة(٢٧).

ويتوقع المراقبون أن تؤدي هذه التقنية الجديدة إلى ثورة غير مسبوقة؛ للتصدي للكائنات الدقيقة، حيث يعتمد النانو بيوتكس (Nanobiothics) وهو البديل الجديد للأنتبيوتيك على الثقب الميكانيكي للخلايا المرضة (الجراثيم، أو الفيروسات ) (٢٧).



**شكل رقم (٤-٣) صورة افتراضية لأنموذج إنسالات مستخدم في ترميم الخلايا (٢٧).**



**شكل رقم (٤-٤) قد يؤدي العلاج بالإنسالات النانوية إلى تدمير الحمض النووي للخلية الحية (٢٧).**

فالنانوبيوتكس هو ببتيد حلقي ذاتي التجمع، ومُعدّ صناعيًّا، ويمكنه التجمع على هيئة أنابيب نانوية (Nanotubes) أو دبابيس نانوية. فعند دخول ملايين من هذه الأنابيب اللزجة، والمكوّنة من الببتيدات الحلقية داخل الجذر الهلامي للبكتريا، فإنها تنجذب كيميائيًّا إلى بعضها بعضًا، وتجمع نفسها إلى أنابيب طويلة متنامية، ومتجمعة ذاتيًّا، بحيث تثقب الغشاء الخلوي، وتعمل مجموعات الأنابيب المتجاورة هذه على فتح مسام أكبر في جدار الخلية البكتيرية، وخلال دقائق معدودة تموت الخلية البكتيرية؛ لتشتيت الجهد الكهربائي الخارجي غشاءها، وهذا ما ينهي حياة الخلية عمليًّا. وقد أظهرت هذه التقنية نجاحًا ملحوظاً في القضاء على الجراثيم العنقودية الذهبية، وعصيات القيح الأزرق، وغيرها (٢٧).

ويتوقع العلماء أن تنجح هذه التقنية النانوية في القضاء على الفطريات. وجدير بالذكر أنّ النانوبيوتكس ( الحلقات الملونة ) تدمر خلايا البكتريا. ومن المعروف أنّ الببتيدات الحلقية طبيعية المنشأ حققت نجاحًا باهرًا في مقاومة الجراثيم، ومثال ذلك: الباستيراسين الذي يستخدم في الغالب على نحو موضعي . وبناء على ذلك نرى أنّ مبدأ النانوبيوتكس والنانوتيوب يختلف تمامًا عن طريقة عمل الصادّات الحيوية، والمطهرات؛ ولذلك يصعب على هذه الكائنات أن تطور مناعة ذاتية، أو مقاومة. وهي طريقة مختلفة تمامًا عن طريقة عمل الصادّات الحيوية، والمطهرات الكيماوية التي تؤثر غالبًا في العمليات الاستقلابية لهذه الكائنات الدقيقة. ويتوقع أن تبدأ مثل هذه التجارب السريرية على البشر في القريب العاجل، ونجاح هذه الطريقة يوفر (بحسب ما أدلت به منظمة الصحة العالمية) مبلغًا قدره عشرة بلايين دولار سنويًّا، وهي تكلفة معالجة الإصابات الناجمة عن العدوى بالبكتيريا المقاومة للمضادّات الحيوية (١٤).

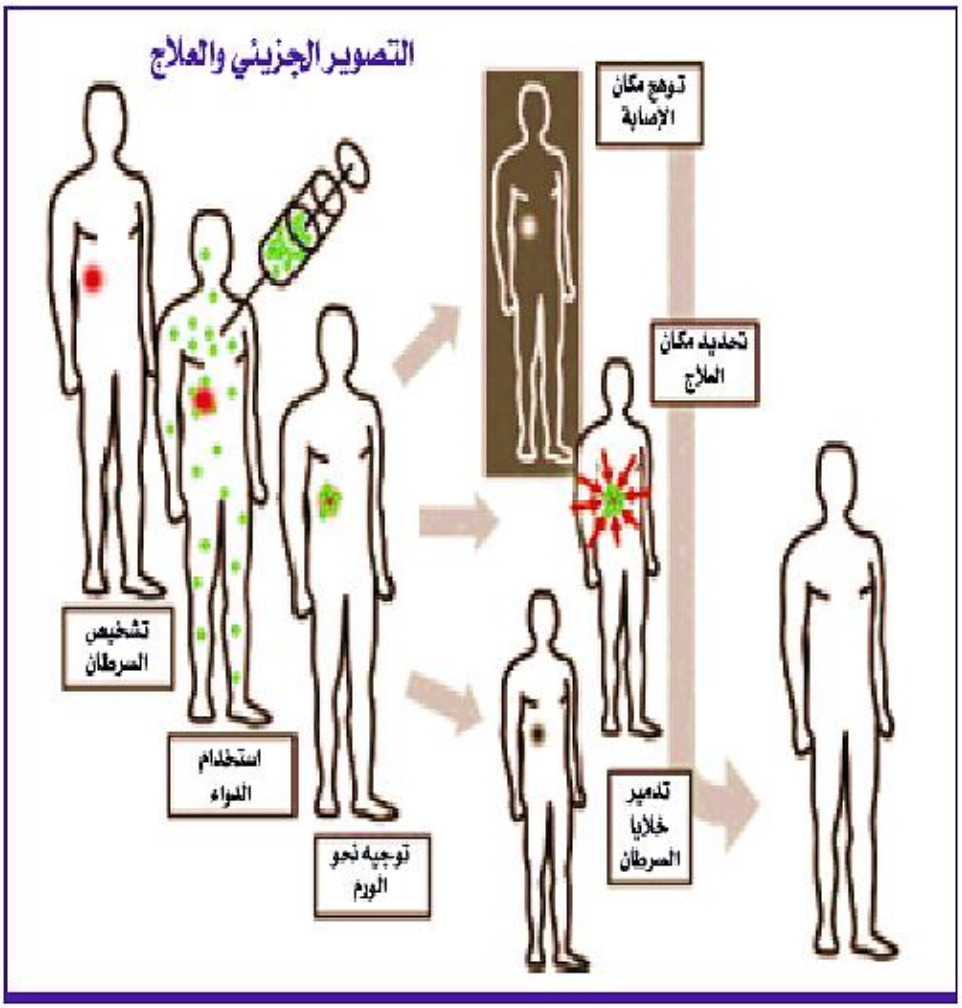
كما ذكرت الأبحاث أيضًا دور هذه التقنية في صنع الأجهزة الطبية المستخدمة في غرف العمليات، والعناية المركزة؛ لتسلط ضوءًا ساطعًا على فائدتها في تقليل العدوى الناجمة عن المستشفيات، وانتقال الجراثيم إلى المرضى، وهو ما طرَحَه الدكتور «بروس غيبينس» في مؤتمر أبحاث النانو بولاية أريجون الأميركية، حيث وضّح الفكرة بوضعه طبقة رقيقة على مستوى النانو من الفضة فوق أسطح الأدوات الطبية، وذلك على نحو لا يعطي مجالاً للمكروبات أن تلتصق بها، وتعدّ هذه الخطوة من أولى الخطوات الصحيحة؛ للحد من العدوى الناجمة عن المستشفيات حسب قوله.

وقد بدأت فعلاً بعض الشركات اليابانية طرح منتجاتها في السوق الخليجية ( غسالات مطلية بطبقة من الفضة بسماكة نانو متر واحد، مستفيدة من اجتذاب البكتيريا إلى الفضة، وخنق معدن الفضة البكتيريا الملتصقة به) (٥٤).

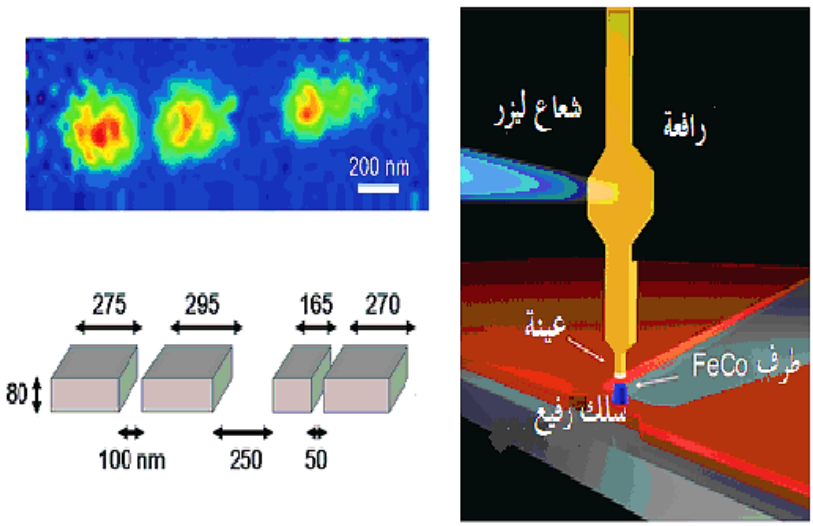
### (٤-٢-٣) التشخيص بتقنية النانو (Diagnostic by nanotechnology)

إنّ هدف الطب الأساس هو اكتشاف المرض في مراحل مبكرة قدر المستطاع، حتى يمكن القضاء عليه قبل أن يتسبب في أعراض جانبية، أو مضاعفات. وباستخدام تقنية النانو تصبح الاختبارات الحيوية لقياس وجود أو نشاط المواد المختبرة أسرع، وأكثر دقة ومرونة. فيمكن دمج جزيئات النانو المغناطيسية مع الأجسام المضادة المناسبة، واستخدامها كعلامات على وجود جزيئات محددة، أو ميكروبات، وكذلك استخدام جزيئات الذهب المدمجة مع مقاطع قصيرة من الحمض النووي؛ للتعرف على تسلسل من الجينات في عينة ما. وهناك أيضًا تقنية ثقوب النانو المستخدمة في تحليل الحمض النووي، وتحوّل تسلسل وحداته مباشرة إلى إشارات كهربية، فتتوهج بعض الجسيمات النانوية (انظر:الشكل رقم ٤-٥) مثل: سيلينايد الكادميوم (وهي نقاط كمية)، وذلك عندما تتعرض لضوء الأشعة فوق البنفسجية، وبذلك يستطيع الطبيب الجرّاح أن يرى التوهج في المنطقة المصابة بالسرطان، فيستفيد من ذلك في التحديد الدقيق للمنطقة المصابة المراد استئصالها. كما يمكن للطبيب الاستفادة من رقائق محسّات الاختبار النانوية التي تمتلك قابلية على تحسين البروتينات، والمعلمات الحيوية الأخرى التي تخلفها الخلايا السرطانية، ويأمل الأطباء الاستفادة من هذه المحسّات في التشخيص المبكر لمرض السرطان، وذلك بواسطة فحص بضع قطرات من بول المريض(٢٧).

وباستخدام جزيئات النانو كعوامل للتباين ( كبديل عن الصبغة )، نحصل على صور بالرنين المغناطيسي (انظر:الشكل رقم ٤-٦) ، بالأشعة فوق الصوتية ذات تباين وتوزيع أفضل من ذي قبل، بل إنّ جزيئات النانو المضيئة تستطيع أن تساعد الجرّاح أثناء العملية الجراحية في التعرف على مكان الورم، ومن ثمّ تجعل عملية استئصاله أمرًا أكثر سهولة. وهذا الجهاز أكثر دقة من الجهاز التقليدي بحوالي ٦٠٠٠٠ مرة(٥٥).




شكل رقم(٤-٥) رسم توضيحي يبين كيفية علاج منطقة مصابة بالسرطان بواسطة جسيمات نانوية تحقن في جسم المصاب (٥٥).




شكل رقم(٤-٦) ميكروسكوب الرنين المغناطيسي بتقنية النانو (٥٤).

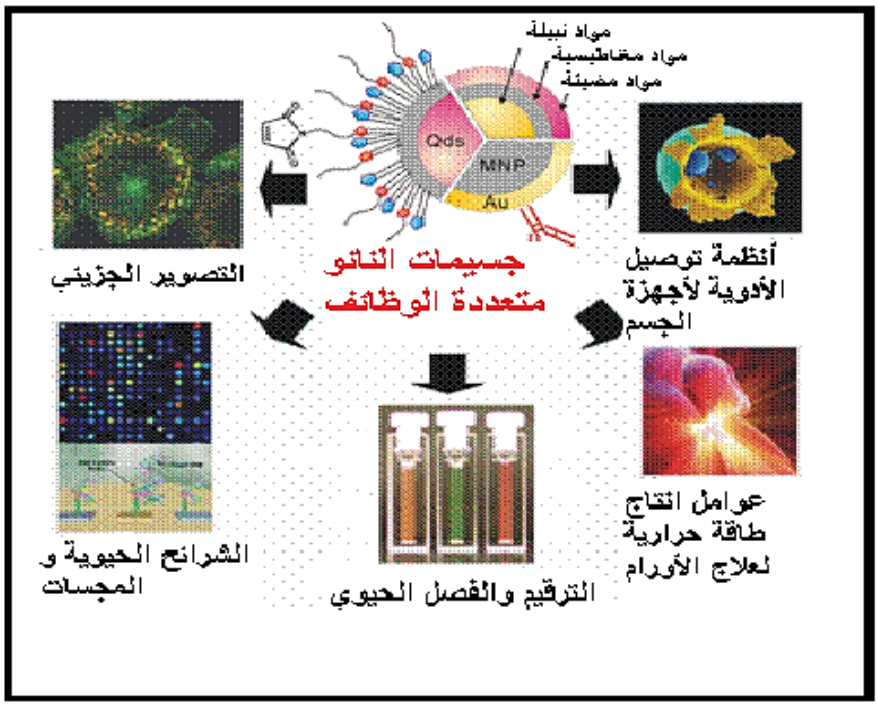
## (٤-٢-٤) تقنية النانو والصيدلة (Nano and pharmaceutical)

تقنية النانو في عالم الصيدلة واسعة الاستخدام، وذلك بدءًا من طرق إنتاج الدواء، ومرورًا بوسائل حفظه، ثمّ انتهاءً بكيفية إعطائه المريض في هيئة تتفوق بمراحل على الطرق الحالية. فتقنية النانو توصلت في أبحاثها اليوم إلى وضع طرق أفضل لفاعلية الأدوية المستخدمة، وطريقة توصيلها داخل أنسجة الإنسان(٢٧).

### (٤-٢-٤-١) توصيل الأدوية إلى الأنسجة

إنّ إحدى مزايا تقنية النانو التي أفادت فروعًا كثيرة من فروع الحقل الطبي، وتعدّ من أولويات البحث في مجال طب النانو، وتعتمد على تصنيع مواد دقيقة في حجم النانو؛ لتحسين التوافر الحيوي للدواء(Bioavailability)، هي وجود جزيئات الدواء في المكان المستهدف من الجسم، حيث تعمل بأقصى فاعلية، ومن ثمّ ينخفض معدل استهلاك الدواء، وأعراضه الجانبية، والتكلفة الإجمالية للعلاج. مثال على ذلك: المواد التي تحتوي على ثقوب بحجم النانو، وتستطيع أن تحمل جزيئات الدواء إلى المكان المرغوب فيه (انظر:الشكل رقم ٤-٧).

كما أنّ أحد التطبيقات المهمّة لتلك التقنية علاج السرطان باستخدام جزيئات الحديد، أو الذهب التي تتراكم في الخلايا السرطانية دون غيرها من الخلايا، وتتسبّب في موتها دون تأثير في الخلايا الطبيعية متلافية أضرار العلاج الكيميائي، والإشعاعي، الأمر الذي مازال في طور البحث، ويمثل أملاً كبيرًا في وجود علاج آمن للسرطان(٢٧).

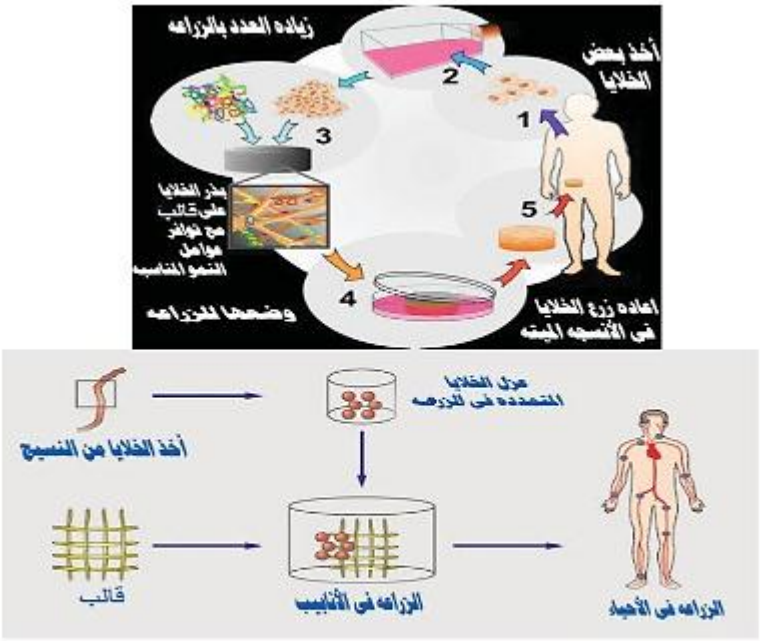



شكل رقم (٤-٧) بعض تطبيقات النانو في الحقل الطبي (٢٧).

### (٤-٢-٥) هندسة الأنسجة (Tissue engineering)

تستطيع تقنية النانو الإسهام في عملية إعادة تصنيع، أو إصلاح الأنسجة التالفة؛ لأنّ هندسة الأنسجة تستغل عملية تكاثر الخلايا المثارة صناعيًّا بواسطة جزيئات النانو، وعوامل النمو. وقد تصبح تلك التقنية في يوم ما بديلاً عن نقل الأعضاء، أو الأعضاء الاصطناعية.

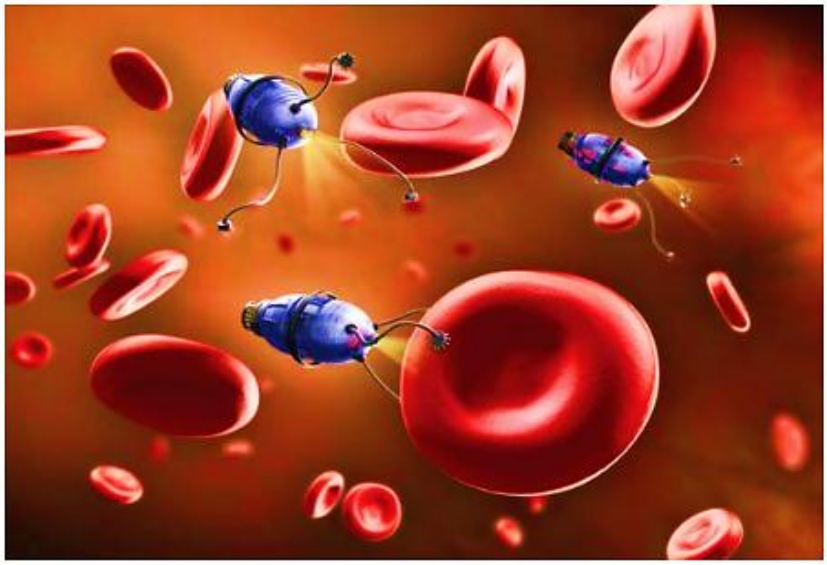
كما تظل هندسة الأنسجة من جهة أخرى أسيرة الجدال الأخلاقي المتعلق باستخدام الخلايا الجذعية (انظر:الشكل رقم٤-٨) (٥٦). وبحسب رؤية العالم كريلمان فإنّ علم النانو يوحّد جميع أنواع العلوم، ويضمّها إلى احتمالات لا حدّ لها، ولا يمكن التنبؤ بنتائجها. وقد تمكن العلماء اليابانيون من نحت ثور يمكن عدّه من أصغر منحوتة في العالم، بحيث يمكن وضع ثلاثين من أقرانه في حيّز لا يزيد قطره عن قطر النقطة، واستخدموا من أجل تحقيق ذلك التقنيات الليزرية، وكان الهدف من ذلك الحصول على مركبة نانوية؛ لاستخدامها في الجراحة الروبوتية الخلوية.




**شكل رقم (٤-٨) هندسة الأنسجة التي تعدّ من تطبيقات تقنية النانو (٢٧).**

### (٤-٢-٥) ربوتات النانو (Nanorobots)

وهناك مثال آخر يدلّ على استخدام هذه التقنية في المجالات الطبية العلاجية والوقائية، وهو استخدام أجهزة، مثل: نانو ربوت (انظر:الشكلين رقم ٤-٩، و٤-١٠) حيث ستمكن الجرّاحين من السيطرة على الأجهزة الدقيقة أثناء إجراء العمليات الجراحية الدقيقة والحرجة، إذ يستخدم الجرّاح عصاة التحكم التي تمكنه من التحكم بذراع الروبوت الذي يحمل الأجهزة الدقيقة، وكاميرا مصغرة؛ وذلك ليحوّل التحركات الكبيرة إلى تحركات صغيرة، وهذا يتيح مزيدًا من الدقة الجراحية(٢٧).



شكل رقم (٤-٩)نانو ربوت طبّي (٩٢).

## (٤-٣) أغذية النانو (Nano foods)

يحتل الغذاء أهمية بارزة، حيث يعدّ التحدي الأول للإنسان منذ الأزل، وفي عصرنا الراهن. ومع التطورات الكبيرة في مجال الزراعة والازدياد المطرد في عدد السكان، صارت قضية الأمن الغذائي من أهم القضايا التي تهم جميع الشعوب؛ لذا فانّ التطورات العلمية الحديثة تجد في الغالب تطبيقات في هذا المجال الحيوي، فاستخدمت الأشعة في إطالة حفظ الأغذية، وأنتجت الأغذية المحوّرة وراثيًّا.

كما أدلت تقنيات النانو بتطبيقاتها المختلفة دلوها في مجال الأغذية، حيث إنّ أغذية كثيرة معتمدة على تقنية النانو (Nano-based foods) أصبحت موجودة في الأسواق، كما أنّ المئات منها في طور الإنتاج، فهناك كبسولات النانو؛ لتنشيط نكهة الأغذية، وصهر الإستيرويدات النباتية؛ لاستبدال كلسترول اللحوم بأنابيب وجزيئات النانو، مثل: الجيلاتين، ومواد اللزوجة، وجزيئات النانو؛ لإزالة الكيميائيات، والمسببات المرضية في الغذاء.

وإذا نظرنا إلى ما يخصّ عبوات الحفظ للأغذية، فالنانو تكنولوجيا أيضًا لها تطبيقاتها في هذا المجال، ومن ذلك إيجاد أغلفة مزودة بجزيئات نانو مضادة للميكروبات والفطريات من معادن الفضة، والماغنسيوم، والزنك، حيث إنها أغلفة أخف وزناً، وأكثر متانة، وأكثر مقاومة للحرارة من جزيئات النانو المأخوذة من السليكا.

كما توجد مستشعرات كهربائية كيميائية، تعتمد على تكنولوجيا النانو؛ لتقدير غاز الإيثلين، وكذلك تمثل شرائح النانو مواد عازلة؛ لمنع فساد الغذاء، وامتصاص الأكسجين(٥٧).

لقد أنشأت شركة كرافت المتخصصة في الأغذية اتحادًا لأقسام البحوث العلمية؛ لاختراع مشروبات مبرمجة لا لون لها، ولا طعم. إذن يمكننا قريبًا شراء مشروب لا لون له، و لا طعم، بحيث يتضمن نانو يحمل جزيئات للون والطعم، وعندما نضعه في الميكروويف على تردد معين يصبح لدينا عصير ليمون، وعلى تردد آخر يصبح هو نفسه عصير تفاح، وتسمى هذه الأنواع من الأغذية بالأغذية الجذابة (Attractive food) حيث يغيّر الغذاء وفقاً للحاجة والمبدأ في هذه الأغذية؛ لأنّ بها الآلاف من كبسولات النانو التي تحتوي على محفزات النكهة واللون، أو عناصر تغذية مضافة، مثل: الفيتامينات التي تكون سائدة في الغذاء، وتحرر فقط عند رغبة المستهلك.

كما تستخدم الرقائق البلاستيكية التي تحتوي على جزيئات نانو سيلكاتية (Silicate nano particles) كحاجز يمنع دخول الغازات والرطوبة. وهناك جزيئات النانو التي توزع الفيتامينات والعناصر الغذائية الموجودة في الأغذية، أو المشروبات دون التأثير في طعمها، أو مظهرها. وقد طوّر باحثون أوروبيون جهاز استشعار محمول (Portable nano sensor) يستشعر السّموم والكيميائيات والميكروبات الممرضة في الأغذية (٥٧).