

## **التقنية الطبية الحيوية النانوية: التحديات المالية، والقانونية، والسريية، والسياسية، والأخلاقية، والاجتماعية التي تواجه تطبيقها**

### **Nanobiomedical Technology: Financial, Legal, Clinical, Political, Ethical, and Societal Challenges to Implementation**

ستيفين أ. إدواردز Steven A. Edwards

#### **Introduction المقدمة ١٦,١**

ما العقبات التي تحول دون تطبيق "الطب الحيوي النانوي"؟ هل هناك حواجز معينة تمثل تهديداً كبيراً لتنمية هذا المجال، والتي يصفها الكثيرون بأنها "تحويل" للتقنية، والتي من شأنها أن تُغير إلى الأبد الطريقة التي نضع بها الأشياء، وربما حتى الطريقة التي ننظر بها لأنفسنا؟ أم أنها قضية الطب الحيوي النانوي الذي سيتفوق بشكل كبير على الصناعات التقليدية بصناعات أكثر رسوخاً، مثل التقنية الحيوية، وصناعة الأجهزة الطبية التي يمكن زراعتها؟

بعد تقديم مفهوم الطب الحيوي النانوي لأول مرة، بشكله الحالي والذي يصف لماذا أصبحت تقنية النانو جذابة للكثير من الاستخدامات، فإن هذه المقالة ستصف تباعاً التحديات المالية، والقانونية، والتنظيمية، والتشغيلية، والسريية التي

تواجه تطبيق الطب الحيوي النانوي، متبوعة بالتحديات السياسية، والأخلاقية، والاجتماعية، باعتبارها مجموعة واحدة، نظراً لعدم إمكانية فصل هذه المجموعة بسهولة.

أولاً: دعونا نشترط أنه قد تم اتخاذ بعض الخطوات الصغيرة بالفعل، وتمت الموافقة على عقاقير مصاغة على شكل بلورات نانوية، مثل رابامون وإميند Rapamune and Emend [1] وهما الآن على الرفوف. كما تمت الموافقة على عقار الجسيم النانوي المسمى بالإستراسورب Estrasorb من شركة نوفافاكس NovaVax، والذي يوصل هرمون الأستروجين عبر الجلد. وتم بالفعل حقن نقاط الكم الفلورية التي تعد نوعاً من الجسيمات النانوية في بعض المرضى، كوسيلة مساعدة تجريبية للجراحين للتعرف على الغدد الليمفاوية [2]. وبالفعل تم إدخال الاختبارات التشخيصية التي تستخدم الأجهزة النانوية والموائع النانوية في عملية اكتشاف العقاقير [3]. ولم تكن هناك أي احتجاجات سياسية أو اضطرابات اجتماعية حدثت، فيما يتعلق بهذه التطورات الخاصة بتقنية النانو. وفي الحقيقة، لقد تطورت تقنية النانو كثيراً وبشكل سريع غير ملحوظ، ومن الصعب فعلاً حمل الناس على الاعتقاد بأن تقنية النانو ليست مجرد تقنية للمستقبل، ولكنها تقنية يجري استخدامها بالفعل.

ماذا نعني عندما نقول: "الطب الحيوي النانوي؟" نحن سنقبل التعريف العام لتقنية النانو كهندسة وتصنيع الأجسام بمقياس من ١ حتى ١٠٠ نانومتر، وهو مقياس يتضمن جزيئات وتراكيب فوق جزيئية، مثل الريوسومات أو الفيروسات. والطب الحيوي النانوي يستخدم أي شيء من تقنية النانو في الممارسات الطبية الحيوية التقليدية. يوضح الجدول رقم (١٦.١) أن الأجسام المصنعة حالياً، تقع ضمن مقياس الجزيئات الحيوية والتراكيب الجزيئية البيولوجية. وعلى سبيل المثال، يعد بوكمنستر فوليرين buckminsterfullerene الجسم الأيقوني لتقنية النانو بقطر ١ نانومتر. والجزيء

المؤسس للتقنية الحيوية، هو الحمض النووي DNA الذي قطره ٢ نانومتر. كما يتراوح قطر نقاط الكم المستخدمة بالفعل في تشكيلة واسعة من الاختبارات البيولوجية، والتي يتم تصنيعها كجسيمات من ٢-١٠ نانومتر. ويصل قطر الحمض النووي إلى ٢ نانومتر، بينما يكون قطر الأنبوب النانوي أحادي الجدار أكبر قليلاً من ذلك. ويتراوح قطر البروتينات عموماً من ٥-٥٠ نانومتراً. وتقع الديندريمرات، والتي تسمى أحياناً بـ"البروتينات الاصطناعية"، في مدى الحجم نفسه، على الرغم من أنها قد تتجمع ذاتياً إلى أجسام أكبر من ذلك بكثير. كما تكون الفيروسات مماثلة في الحجم لجسيمات نانوية من صنع الإنسان.

الجدول رقم (١، ١٦). مقاسات الأجسام النانوية- الطبيعية مقابل الصناعية.

الكائن	القطر
ذرة الهيدروجين	٠,١ نانومتر
بكمستر الفولرين (C60)	١ نانومتر
ست ذرات كربون مصطفة	١ نانومتر
الحمض النووي DNA	٢ نانومتر
أنبوب نانوي	٣-٣٠ نانومتر
البروتينات	٥-٥٠ نانومتر
نقطة الكم CdSe	٢-١٠ نانومتر
سمات ليثوغرافية بتغطيس القلم النانوية	١٠-١٥ نانومتر
دينديمر Dendrimer	١٠-٢٠ نانومتر
أنيبب (أنبوب دقيق)	٢٥ نانومتر
ريبوسوم	٢٥ نانومتر
فيروس	٧٥-١٠٠ نانومتر
جسيمات نانوية	٢-١٠٠ نانومتر
سمات شريحة أشباه الموصلات	٩٠ نانومتراً أو أكثر

تابع الجدول رقم (١٦،١).

القطر	الكائن
١٠٠-١٠٠٠ نانومتر	حويصلة إفرازية
٥٠٠-١٠٠٠ نانومتر	الميتوكوندريا
١٠٠٠-١٠٠٠٠ نانومتر	البكتيريا
٨٠٠٠ نانومتر	شعرية (قطر)
١٠٠٠٠ نانومتر	خلية الدم البيضاء

ما هي التطبيقات الطبية الحيوية داخل المؤسسات التي نعتقد بأنها ستتأثر بتقنية النانو؟ لقد كانت هناك محاولات عديدة لتحديد ذلك، ولقد قام ريتشارد فريتاس Richard Freitas في عمله التطلعي بتأليف ثلاثة مجلدات في الطب النانوي [4]، وقد ركز بشكل كبير على "التصنيع الجزيئي"، والذي كان يعني شيئاً مشابهاً لرؤية إريك دريكسلر Eric Drexler الأصلية لتقنية النانو، كما وصفها في كتابه *محركات الإبداع Engines of Creation*. وامتلاً عمل فريتاس بالإشارات إلى الخلايا الاصطناعية والآلات النانوية المعقدة، التي لم توجد حتى الآن.

وقام نيل جوردون Neil Gordon وأوري ساجمان Uri Sagman بمحاولة أكثر واقعية بعض الشيء لتعريف "علم تصنيف الطب النانوي" [5] في وثيقة أعدت لمؤتمر تحالف الأعمال النانوية الكندي، والذي يركز على تطبيقات قيد التطوير حالياً. وقدم أس. أ. إدواردز S. A. Edwards [6] تقريراً لشركة اتصالات الأعمال BCC حول تطبيقات أجهزة النانو في المجالات الطبية الحيوية، والتي وضعت بشكل مستقل الخطوط العريضة لتطورها من الاستخدامات الطبية لتقنية النانو بطريقة مشابهة لطريقة جوردون وساجمان، ولكنها تختلف في تسمية فئات وأقسام منها (الجدول رقم ٦،٢). وكانت فئات جوردون وساجمان، هي: *الصيدلانيات الحيوية biopharmaceutics*: التي تشمل العقاقير، وتوصيل العقاقير، واكتشاف العقاقير؛ *والمواد القابلة للزرع*

*implantable materials*، والتي تشمل إصلاح الأنسجة واستبدالها، وتركيبات تجديد الأنسجة، ومواد زراعة هيكلية أو تركيبية؛ والأجهزة القابلة للزرع في الجسم *implantable devices*، والتي تتضمن الحساسات، وزرع شبكية العين، وزراعة القوقعة، والوسائل المساعدة الجراحية *surgical aids*، بما في ذلك الأدوات الذكية والروبوتات الجراحية، والأدوات التشخيصية *diagnostic tools*: وتشمل التصوير، والفحص الجيني؛ وفهم العمليات الحيوية الأساسية *understanding basic life processes*: وتتضمن تطبيق تقنية النانو على البحوث الأساسية. ولقد شمل تصنيف إدواردز معظم فئات جوردون وساجمان، ولكنه قسمها بشكل مختلف نوعاً ما. وتسمى الصيدلانيات الحيوية بالعقاقير وتوصيل العقاقير، ولكن تم طي اكتشاف العقار ضمن التشخيص الموضوعي العام والتحليلات. وأعطى التصوير - الذي قام جوردون وساجمان بوضعه في نفس فئة أدوات التشخيص - العنوان المنفصل "التصوير والأدوات النانوية". وقام إدواردز أيضاً بشمل موضوع النمذجة الجزيئية، والذي يمكن التفكير به كأدوات للبرمجيات النانوية، كما استبدل مصطلح "الأجهزة الاصطناعية" بالأجهزة القابلة للزرع.

الجدول رقم (٢، ١٦) ما الطب الحيوي النانوي؟

إدواردز [6]	جوردون وساجمان [5]
العقاقير وتوصيل العقاقير	الصيدلة الحيوية
الأعضاء الاصطناعية	الأجهزة القابلة للزرع في الجسم
التشخيص والتحليلات	أدوات التشخيص
المواد الحيوية	المواد القابلة للزرع في الجسم
تقنية النانو الحيوية العامة	المساعدات الجراحية
التصوير والأدوات النانوية	فهم العمليات الحيوية الأساسية
النمذجة الجزيئية	

وبمطالعة القوائم في الجدول رقم (١٦،٢)، نجد أن تطبيقات تقنية النانو في الطب الحيوي مشابهة من حيث الغرض مع غيرها من التقنيات المطبقة في الطب الحيوي. إن أهداف الطب لا تتغير عموماً بتطبيق التقنية الجديدة. وعلى أية حال، فهناك مناقشات أخلاقية سيتم مناقشتها لاحقاً في هذه الدراسة، والتقنية النانوية قد تجعلها أكثر حدة، مثل الفرق بين الطب "المعياري" والطب في الممارسة؛ لتحقيق أداء أكبر من الأداء الطبيعي.

وإذا لم تتغير أهداف الطب كثيراً باستخدام تقنية النانو، فلماذا نقلق كثيراً إذاً حول التحديات السياسية، والاجتماعية، والقانونية، والأخلاقية لممارسة الطب النانوي؟ ولعل هذا يرجع جزئياً للأصل الخاص لتقنية النانو فيما يتعلق بتوعية الجمهور.

## ١٦،٢ دريكسلر والمُجمّع العالمي المخيف

### Drexler and the Dreaded Universal Assembler

لقد حاز مصطلح "تقنية النانو" اهتماماً واسع النطاق، بعد نشر كتاب إريك دريكسلر، "محركات الإبداع" [7]، في عام ١٩٨٦ م. وكان الهدف الرئيس لتقنية النانو من وجهة نظر دريكسلر في ذلك الوقت، إنشاء المُجمّع، وهو جهاز مبني على نطاق جزئي يستطيع أن يجمع الأجهزة الأخرى، جزئياً بجزئياً. وبالبرمجة المناسبة، يستطيع المجمع أيضاً وبشكل افتراضي أن ينسخ نفسه. إن مزايا مثل هذا الجهاز واضحة وبديهية، ولكن المشكلة التي حيرت دريكسلر، هي كيفية السيطرة عليه. وقد فحص ما يسمى بسيناريو "جو جراي" "gray goo"، الذي تستطيع فيه المُجمّعات أن تنسخ نفسها بشكل خارج عن السيطرة كشكل من أشكال الحياة الجديدة. وما زالت هذه الفرصة واردة في المستقبل، لكن على الرغم من هذا، فهي المسؤولة عن بعض من الانبهار بتقنية النانو من قبل الصحافة والجمهور. ويعد مثل هذا المنسوخ الهارب أيضاً

فرضية من إحدى روايات الخيال العلمي لمايكل كريشتون Michael Crichton، والتي صدرت في الآونة الأخيرة بعنوان الفريسة [8].

وعلى الرغم من أننا سنتجنب عموماً مناقشة السيناريوهات الأكثر احتمالاً، فنحن نرغب في مناقشة المجمع - جهاز افتراضي قادر على التصنيع الجزيئي - مثلما حازه الرائد في مجال تقنية النانو رالف ميركيل Ralph Merkle بالتقاط الجزيئات سوياً بطريقة عمل كتل ليغو Lego. وبرغم أن مثل هذا الجهاز لم يُخصص بالضرورة للتطبيقات الطبية الحيوية، إلا أنه قد يكون مفيداً بالتأكيد في تصنيع الآلات الطبية الحيوية النانوية، وقد يؤدي إلى تصنيع الأجهزة التي ستكون باهظة الثمن للغاية، وغير عملية في حالة استخدام طريقة أخرى لتصنيعها.

إن عالم الرياضيات جون فون نيومان John von Neumann، هو الأكثر شهرة نتيجة إسهاماته بالأفكار المبكرة في مجال الحوسبة ونظرية الألعاب، وكان مسؤولاً كذلك عن التصورات المبكرة للمجمع. ويتألف المجمع الخاص به من عنصرين مركزيين: حاسوب شامل، وبنّاء شامل. ويقوم الحاسوب الشامل بتوجيه سلوك البنّاء الشامل، في حين يستعمل البنّاء الشامل بدوره لتصنيع كل من الحاسوب والبنّاء الشامل الآخر. ويتم نسخ شفرة البرنامج الموجود في الحاسوب الشامل الأصلي وتنفيذها على الحاسوب الشامل الجديد.

"إن التجميع الذاتي والنسخ أو التكرار، ونماذج علم الأحياء الجزيئية والخلوية، ينظر إليها بشكل متزايد كأهداف مرغوبة للهندسة"، نقلاً عن فيليب بول Phillip Ball [6] Nature. "وما زال البديل لذلك - تصنيع يدوي شاق لتراكيب فردية - طريقة تصنيع الأجهزة الإلكترونية والميكانيكية الدقيقة المستخدمة حالياً من خلال سلسلة من الترسيب، والزخرفة والحفر، أو المعالجة الميكانيكية التي تصبح أصعب دائماً، كلما تقلص الحجم، وزادت كثافة الجهاز المساحية".

إن التجمع الذاتي خاصية محددة أو مميزة، ولعلها الخاصية المميزة للحياة. والزيادة المستمرة في تعقيد التجمع الذاتي، تشبه سمات التطور. وبالتأكيد لم يتم تصور الطريقة الباروكية baroque للاستنساخ المستخدمة من قبل البشر في الزمن الذي بدأ فيه تكاثر الخلايا البدائية الأولى في الرواسب الطينية الأساسية، منذ ما يقرب من أربع مليارات سنة مضت. وكما سيخبرك أي أحيائي جزئي أن أي بكتيريا، وأي خلية حقيقية النواة، وأي كائن حي، حتى الإنسان، هو في الأصل آلة رائعة متناغمة. وحتى القدرة على قراءة هذه الكلمات، هي نتيجة لأجزاء متحركة صغيرة وجزيئات البروتين والتيارات الكهربائية والموائع النانوية.

إن مجمع إريك دريكسلر حالة خاصة من الهندسة المعمارية الشاملة لفون نيومان، ولكنها متخصصة للتعامل مع الأنظمة المصنوعة من الذرات. مع التأكيد هنا (بعكس اقتراح فون نيومان) على الحجم الصغير. وقد تم تقليص الحاسوب والبناء إلى المستوى الجزيئي. كما يجب أن يكون البناء قادراً على التعامل مع التراكيب الجزيئية بالدقة الذرية. وللبناء الجزيئي قدرة موضوعية، ونوع من الكيمياء الديناميكية في طرف ذراعه، ويكونا قادرين على التعامل مع الذرات الفردية، وبعبارة أخرى ذراع ويد. والخاصية الضرورية الأخرى، هي وجود بعض الوسائل لبرمجة المجمع. كما سيكون من المستحسن وجود واجهة عيانية للمشغل البشري، وبموجبها يستجيب المجمع لأوامر المشغل، أو يبلغه احتياجاته.

"كيف سنرى قريباً الروبوتات النانوية التي تصورها إريك دريكسلر وغيره من تقنيي تقنية النانو الجزيئية؟" سؤال طرحه الحائز على جائزة نوبل ريتشارد سمالي Richard Smalley بشكل بليغ [9] في مقالة شهيرة بالعلوم الأمريكية الآن. وقال: إنه يحتفظ بالجواب أولاً. إنه يزعم أن هناك مشكلتين أساسيتين، ويشير إليهما مثل "أصابع دهنية" و"أصابع لزجة". ويزعم سمالي أن الروبوت لن يكون قادراً على التعامل مع

الجزيئات داخل المسافات الجزيئية؛ لأنه لا يمكن بناء الملاقط بالأبعاد المطلوبة، نظراً لأنه يجب أن تكون مصنوعة أيضاً من الجزيئات. كما يزعم أن الروبوتات النانوية ستكون قادرة على ربط أصابعها إلى جزيء معين من خلال أحد أنواع الكيمياء بشكل افتراضي، ولكنها لن تكون قادرة بالضرورة على ترك الجزيء؛ مما يجعل عملية التجمع مستحيلة. وأن المطلوب لصنع المجمع الشامل، هو حقاً "أصابع سحرية"، وفقاً لزعم سمالي.

وسواء تم بناء المجمع الشامل أم لا، فإن تقنية النانو موجودة بالفعل لبقى عدد من تطبيقات المواد النانوية، والأدوات النانوية، وحتى التجارب الحيوية، موجودا بالفعل في السوق. وعلى أية حال، قد يتأخر تطبيق تقنية النانو المتقدمة في مجال الطب الحيوي بعدد من العوامل: قلة رأس المال المغامر، والمشاكل الفنية غير المتوقعة، ونقص العمالة الماهرة، ومقاومة من قبل الجمهور، أو الإفراط في القوانين من قبل الحكومة على الأبحاث والمشاريع. وفيما يلي سرد لبعض العوامل التي نعتقد بأنها ذات صلة بالتطوير المستمر لتقنية النانو.

### ١٦,٣ النواحي المالية Financial

"إن تقنية النانو تعدُّ تصميمًا لمنصات صغيرة جداً، والتي تُستغل لجمع مبالغ طائلة"، وفقاً لتعريف مفضل من قبل ليتا نيلسون Lita Nelson، رئيس مكتب ترخيص تقنية MIT's Technology Licensing Office MIT.

إن شركات تقنية النانو، وتقنية النانو الحيوية معظمها شركات تجارية صغيرة، لا تستطيع دعم أنفسها، وتعتمد على العائدات الجارية إلى الآن. ويأتي تمويلها من كل من المنح الحكومية، ورأس المال المغامر. ولقد كانت وكالة بحوث الدفاع المتقدمة (DARPA) نشيطة جداً في تمويل بعض الاستخدامات الأكثر مضاربة من تقنية النانو.

ولكن بشكل عام، تستخدم وكالة بحوث الدفاع المتقدمة DARPA منحاً محددة المدة، لا يمكن تجديدها. وستذهب معظم المليارات الخارجة من مبادرة تقنية النانو الوطنية، والتي وصلت إلى ٣.٧ مليار دولار في عام ٢٠٠٤م إلى بناء البنية التحتية، أو لدعم البحوث الأكاديمية. وسيمر القليل نسبياً إلى أيدي الشركات الصغيرة، والتي تكافح حالياً من أجل تسويق تقنية النانو.

وعلى الرغم من كونها صغيرة جداً، إلا أن تقنية النانو ليست رخيصة التكلفة. "حتى في حالة تعاملك مع شركة في مرحلة بدائية جداً في تقنية النانو، تجد أن الميزانية لعمل حقوق الملكية الفكرية، والميزانية السنوية، قد تتراوح ما بين ٢٥٠,٠٠٠ إلى ٢ مليون دولار سنوياً، وتعد كبيرة بالنسبة لشركة ناشئة"، من وجهة نظر هاريس تشارلز، الرئيس التنفيذي لشركة هاريس، وهاريس للاستثمار المغامر [10].

لقد تبذرت بعض رؤوس الأموال المغامرة بانهيار الإنترنت وفضائح الشركات، وتم إيقاف الكثير من الشركات؛ بسبب الدعاية المفرطة من قبل المروجين لتقنية النانو. وكانت المبالغة في الدعاية لتقنية النانو مخزية بأي معيار من المعايير. وعلى سبيل المثال، فالجملة التالية من إعلان تم نشره لشركة تحظى بالاحترام:

"هناك إثارة لعملاق التقنية تجري على قدم وساق... إذا كنت تريد أن تجني الأرباح المستقبلية، يجب عليك كتابة هذا الاسم الآن، وتذكر أنك قرأته هنا أولاً: تقنية النانو".

وتوجه الإعلان إلى القول بأن تقنية النانو، كانت على وشك أن تجعل تقنيات التصنيع الحالية تقنيات قد عفا عليها الزمن.

ومن الغريب أن بعضاً من هذه الدعاية تأتي من مصادر حكومية، مثل التقدير المقتبس غالباً من قبل المؤسسة الوطنية للعلوم، أن تقنية النانو ستأخذ في الحسبان سلعا تبلغ قيمتها تريليون دولار خلال عقد من الزمن. وبناء على طلب من المجلس الوطني

للعلوم والتقنية، والمؤسسة الوطنية للعلوم، وقسم التجارة، صدر مؤخراً تقرير بعنوان: *تضافر التقنيات لتحسين الأداء البشري* [11]، وبالنسبة للجزء الأكبر من التقرير، فإنه ينتمي إلى فئة الخيال العلمي، على الرغم من حقيقة أنه تم تمثيل عدد من الباحثين المحترمين في هذا التقرير. وقد تُمثل المطالبة المفرطة لتقنية النانو نوعاً من جهد الكسب من جانب مسؤولي الوكالة، والذي يهدف إلى اجتذاب الجوانب العسكرية لإدارة بوش. وفي الواقع، فإن تقنية النانو تباع بالطريقة القومية نفسها التي يبيع بها برنامج الفضاء في أوائل الستينيات. وأضاف: "إذا لم نفعل ذلك، فسوف يقوم بذلك الصينيون أو اليابانيون، أو الأوروبيون أو الإسرائيليون..."؛ مما يؤدي - بطبيعة الحال - إلى فقدان هيمنة التقنية الأمريكية. وبالطبع يمكن أيضاً أن تسمع الخطاب القومي الشديد نفسه في أوروبا؛ دفاعاً عن تقنية النانو الأوروبية، أو في اليابان؛ دفاعاً عن تقنية النانو اليابانية. وقد ساهمت أوروبا والولايات المتحدة، واليابان بما يقرب من ٦٠٠-٨٠٠ مليون دولار في دعم بحوث تقنية النانو في عام ٢٠٠٣ م.

وعلى الجانب الأمريكي من المحيط الأطلسي، فإن جهد الكسب من قبل المؤسسة الوطنية للعلوم وغيرها، مثل تحالف أعمال النانو، أثبت نجاحاً كبيراً لتمريره مشروع قانون تقنية النانو في عام ٢٠٠٤ م. ولعل الجانب السلبي، هو أن التخيلات السايبورغانية (السايبورغ cybor: عبارة عن كائن حي مزروع فيه أجهزة إلكترونية) cyborgian، المنبثقة عن المؤسسة الوطنية للعلوم قد تخيف رأس المال الخاص من أي شيء مسمى تقنية النانو، والتي تعاني بالفعل من هالة الخيال العلمي.

ولقد أصيبت الشركات الريادية في مجال تقنية النانو بانفصام فيما يتعلق بتبني، أو نفي الادعاءات المبالغ فيها. ولقد قامت بعض الشركات بإعادة تعريف مشاريعها الجارية، والخاصة بتقنية النانو، وذلك من أجل الاستفادة من اهتمام الجمهور؛ لأنهم يرون التطوير في هذه الكلمة المشهورة خاصة. وأصبحت كلمة النانو بادئة جذابة

لربطها بأسماء الشركات: Nanogen ، Nanophase ، Nanosphere ، NanoInk ، Nanomet ، Nanobio ، Nanosciences Bioforce ، Nanospectra Biosciences ، NanoProprietary ، و Altair Nanomaterials .... إلخ. وهناك شركات أخرى قد تحت كلمة تقنية النانو من مفرداتها اللغوية ، على الرغم من أنها تعمل في مشاريع نانوية. وعلى الرغم من أن العديد من شركات رأس المال المضاربة خائفة ، إلا أن هناك عددا قليلا من الشركات لا تركز على أي شيء تقريبا ، سوى تقنية النانو ، بما في ذلك شركة كابيتال لوكس Lux Capital ، وشركة هاريس وهاريس ، وغيرهما ، مثل أرديستا Ardesta ، وبولاريس Polaris ، ودرابر Draper ، وفيشر Fisher ، وجوفيستون Jurvetson ، حيث إن لها تركيزا قويا على التقنية النانوية في محافظهم الاستثمارية. وابتداء من مارس ٢٠٠٤م ، تبدو الاقتصاديات العالمية والأمريكية في مرحلة انتعاش ، واستعادت أسواق الأسهم المالية نموها إلى ٢٠٠٣م ، وتبدو أنها ستكون على الأقل مستقرة في عام ٢٠٠٤م. إن طرح الاكتتاب العام الأولي (IOP) في السوق ضروري جداً من أجل التعزيز ، والحفاظ على رأس المال المغامر المتوفر للمشاريع المضاربة ، التي لم تتعاف تماماً من كارثة انهيار التجارة الإلكترونية في مطلع الألفية وفضائح الشركات. وخاصةً أنه لم يتم إلى الآن طرح الاكتتاب العام الأولي من الشركات التي تركز على تقنية النانو. وحتى يتم فتح عملية الاكتتاب ، فليس لدى المستثمرين المغامرين إستراتيجية خروج سهلة من الأزمات المالية ، وسيستمرون في تمويلهم لشركات تقنية النانو بشكل محافظ.

وقد تُؤخر القيود المالية تطبيق الطب الحيوي النانوي على مستوى التمويل الخاص ، ولكن ليس من المرجح أن تمنعها لفترة طويلة. وبافتراض أن العقبات الأخرى لا تجهض ثورة تقنية النانو ، فإن الحكومات تواصل دعمها ، وتدفع المكافآت المغرية المحتملة ؛ لكي تواصل تقنية النانو صعودها. ويقدر تشارلز هاريس أن عدد شركات

"التقنية الصغيرة جداً" (الذي يتضمن بعض شركات المقياس الدقيق، التي تعمل في مجال الأنظمة الإلكترونية ميكانيكية الدقيقة)، يبلغ حوالي ٦٥٠ شركة في جميع أنحاء العالم. وقد أجاب هاريس وهاريس على ٥٠ استفساراً من تلك الشركات في الثلاثة أشهر الأولى من عام ٢٠٠٤ وحده.

#### ١٦,٤ النواحي القانونية والتنظيمية Legal and Regulatory

لقد ذكر هاريس في مقابلة مع ميريل لينش Merrill Lynch، "أن ما يعده المرء مشروعاً رأسمالياً مغامراً، هو عندما يفكر في العقاقير النانوية، وبعد أن تقوم بالعناية الواجبة بهذا المشروع، فإنك لا تفكر حقاً في تقنية النانو. إنك تفكر في شأن شركة التقنية الحيوية النموذجية. إن الاقتصاد والقرارات التجارية، هي المعيار للتعامل مع شركات التقنية الحيوية". ويمكن أن يقال الشيء نفسه عن الجوانب القانونية والتنظيمية للتعامل مع الطب الحيوي النانوي؛ لذلك سنقوم بوصف القواعد العامة للتعامل مع الأدوية أدناه، والتشخيص، والأجهزة الطبية، والتي ربما تمثل التحدي الأكبر على المدى القريب لتطبيق الطب الحيوي النانوي. كما سنصف بعض المحاولات الأولية لتنظيم صناعة تقنية النانو عموماً.

إن إدارة الغذاء والعقاقير في الولايات المتحدة تصنف المنتجات الطبية التي تحقق الغرض المقصود منها، بدون أن تتم عملية الأيض، وبدون إجراء التأثير الكيميائي على الجسم، مثل "الأجهزة". وتعد المنتجات الأخرى إما "عقاقير" أو "مواد بيولوجية"، كما تتضمن الفئات الأخيرة منتجات العلاج الجيني، والخلايا التي تم معالجتها خارج الجسم الحي، بالإضافة إلى الصيدلانيات البروتينية.

إن العديد من الأجهزة النانوية تقع تحت فئة الأجهزة الطبية، ومع ذلك، فهناك الكثير من الأجهزة ذات الطبيعة البحثية، كأجهزة الفحوصات المستخدمة في

اكتشاف العقاقير، والتي لا تقع تحت تنظيم إدارة الغذاء والعقاقير. ويجب أن تصدق أولاً إدارة الغذاء والعقاقير على الأجهزة التي يتم إعدادها للتشخيص أو للزراعة في الجسم قبل تسويقها. وسيتم تنظيم أجهزة توصيل العقاقير، مثل الجسيمات النانوية التي يتم بلعها أو حقنها كجزء من صياغة العقار؛ لذلك يتم تصنيفها كعقاقير. وبعض جسيمات الفوليرين الجزيئية الكبيرة النانوية، مثل تلك التي يجري تطويرها من قبل شركة تقنية النانو الحيوية C-60، هي في الحقيقة ذات طبيعة أيضية نشطة، وبالتالي تُصنف كعقاقير. ويمكن اعتبار البروتينات المصممة والمستخدمة لأغراض علاجية- مثل الأجسام المضادة- مواد بيولوجية، حتى إذا كانت معدلة جوهرياً بالخروج عن ما يمكن رؤيته في الطبيعة.

هناك مساران من إجراءات مراجعة إدارة الغذاء والعقاقير FDA للأجهزة الطبية، حيث يتطلب أي جهاز جديد، إما بند إخطار قبل التسويق (510K)، أو طلب الموافقة قبل التسويق (PMA). ويتطلب "510K" أن يقوم مسوّق الجهاز بإثبات أن الجهاز مكافئ إلى حد كبير لجهاز تم تسويقه قبل ٢٨ مايو ١٩٧٦م، أو أن الجهاز يعادل جهازاً آخر تم تسويقه بعد ذلك التاريخ، وتم تصنيفه بالفعل من الفئة الأولى I أو الثانية II. ويتم تعريف الفئة الثالثة III للأجهزة، مثل تلك التي تقع ضمن أجهزة إدامة الحياة أو دعم الحياة، تلك التي قد تمنع الضعف الشديد في الصحة، أو قد تشكل مخاطر المرض أو إصابات خطيرة. ولهذا يكون تُطلب الموافقة قبل التسويق (PMA). وتندرج معظم الأجهزة الإلكترونية الدقيقة المزروعة بالإنسان تحت هذه الفئة.

وعادة ما تتطلب الموافقة قبل التسويق (PMA) إثبات الكفاءة السريرية لعمل الجهاز، مع توافر شروط السلامة به، وشرح مقنع لمعايير التصنيع الجيدة الجارية (cGMP) ومعايير الجودة. وتتطلب الدراسات السريرية إثبات أمان وفعالية الجهاز من الفئة الثالثة III أولاً، ويكون ذلك بتعبئة نموذج طلب فحص واستثناء الجهاز (IDE).

وينبغي أن يتضمن نموذج طلب الفحص والاستثناء نتائج الاختبارات قبل السريرية، والبروتوكولات السريرية، ونماذج الموافقة، ومعلومات عن التوافق الحيوي، ومعلومات عن طرائق التصنيع ومراقبة الجودة. وقد يتطلب إجراء المزيد من الاختبارات السريرية على الجهاز، حتى بعد تسليم الموافقة قبل التسويق PMA، كنتيجة من النتائج السريرية غير المتوقعة، أو يكون من الطلبات التي تحتاجها اللجنة الاستشارية لإدارة الغذاء والعقاقير FDA. وستمنح إدارة الغذاء والعقاقير FDA الموافقة على تسويق الجهاز، عندما ترضى تماماً عن الفاعلية السريرية والأمان للجهاز، وأنه قد استوفى كافة معايير الأداء والتصنيع. وأي تغيير في تصميم الجهاز، سيتطلب موافقة منفصلة على نموذج ملحق من قبل قسم الموافقة قبل التسويق PMA. ومن المرجح اعتبار الأجهزة النانوية المشاركة في توصيل العقاقير جزءاً من صياغة العقاقير من قبل إدارة الغذاء والعقاقير، أكثر من كونها أجهزة منفصلة، والتي يمكن استخدامها مع أية عقاقير بطريقة المزج والملاءمة.

إن عملية الموافقة على العقاقير والمواد البيولوجية عملية شاقة ومعقدة؛ حيث تستغرق في المتوسط ١٢ عاماً، ليخرج العقار من الدراسات البحثية قبل السريرية إلى مرحلة الإنتاج، بالرغم من أن تقنيات اكتشاف العقاقير الجديدة من المرجح أن تُقصر هذه الفترة. ويتم الموافقة فقط على منتج واحد من كل خمسة منتجات تدخل التجارب السريرية.

وحتى قبل العيادة، فهناك أطواق يجب القفز من خلالها، ويجب أن تجرى التجارب قبل السريرية على الحيوانات؛ لإثبات تأثير محتمل من المنتج بدون أخطار لا داعي لها على البشر. ويجب تعبئة نموذج طلب فحص عقار جديد، ويتضمن مثل هذا الطلب معلومات عن الباحثين، ومعلومات عن الكيمياء، والتكوين، وعلم العقاقير، وعلم السموم للمنتج، وعن أي اختبارات بشرية سابقة، تم إجراؤها باستخدام المنتج.

ويجب تقديم البروتوكول والتصميم السريري، جنباً إلى جنب مع الاتفاقيات المبرمة بين الأطراف المعنية، وخطاب الموافقة من مجالس المراجعة للمؤسسات المشاركة في تلك الدراسات.

وعادة ما يتطلب ذلك ثلاثة مراحل من التجارب السريرية، فالمرحلة الأولى I تكون في المقام الأول لاختبار الأمان، ودرجة التحمل البشري للمنتج على عدد صغير من المتطوعين، على الرغم من أنه قد يمكن جمع المعلومات عن الفعالية والجرعة. وتعتبر المرحلة الثانية II من التجارب فعالية المنتج، باستخدام عدد أكبر من المواضيع، وتم تصميم دراسات لتحديد الجرعة المثلى. وتتكون المرحلة الثالثة III من التجارب السريرية من اختبار إضافي للفعالية، وعادة ما تتم في مراكز متعددة. وتتطلب تعبئة طلب عقار جديد IND منفصل لكل دراسة سريرية منفصلة. وعادة ما تثير اختبارات المرحلة الثالثة III مخاوف جديدة لإدارة الغذاء والعقاقير FDA التي قد تتطلب اختباراً إضافياً.

وبعد إكمال المرحلة الثالثة III من التجارب، فإما أن يتم تعبئة طلب عقار جديد، أو تعبئة طلب ترخيص التأسيس، وطلب ترخيص المنتج بالنسبة للمواد البيولوجية. وبالنسبة لبعض المواد البيولوجية، فإنه يمكن الجمع بين هذه الطلبات في طلب الترخيص البيولوجي (BLA). وتتطلب جميع أنواع الطلبات بيانات عن الأمان، والفعالية، والحركية الدوائية البشرية للمنتج، ومعلومات المريض، ومعلومات المصنقات، ومعلومات عن التصنيع، والكيمياء، ومراقبة الجودة، بالإضافة إلى عينات من المنتج موضع الاختبار. وقد يتطلب كذلك بيانات عن التأثير البيئي المتعلق بالتصنيع أو بنقل المنتج. وبعد أن تجري إدارة الغذاء والعقاقير FDA مراجعتها، فعادة ما يتم استدعاء لجنة مستقلة من خبراء الطب؛ لمراجعة جميع البيانات ذات العلاقة. وقرارات اللجان الاستشارية غير ملزمة لإدارة الغذاء والعقاقير FDA. وإذا نجح مقدم الطلب في

حل جميع المسائل المتعلقة بالأمان والفعالية بشكل يرضي إدارة الغذاء والعقاقير، فسوف تتم الموافقة على تسويق المنتج.

وحتى بعد الحصول على الموافقة، يجب على الشركات تقديم تقارير دورية لإدارة الغذاء والعقاقير عن الآثار الجانبية، أو ردود الأفعال المعاكسة، كما يجب الاحتفاظ بسجلات مراقبة الجودة. وفي بعض الحالات، ستطلب إدارة الغذاء والعقاقير دراسات المرحلة الرابعة IV، بعد الموافقة على اختبار التأثيرات طويلة المدى للعقار أو المادة البيولوجية.

#### ١٦,٤,١ التشخيص Diagnostics

من حيث المبدأ، موافقة إدارة الغذاء والعقاقير FDA ضرورية من أجل تسويق اختبار يدعي تشخيص الأمراض البشرية. وكما هو الحال مع الأجهزة الطبية، يجب إجراء التجارب السريرية، والسعي في الحصول على موافقة قبل التسويق PMA، أو بند إخطار قبل التسويق (K)510. وعلى أية حال، فمنذ عام ١٩٩٧م، سمحت إدارة الغذاء والعقاقير ببيع "كواشف محددة الخلية" (ASRs) "analyte specific reagents"، مثل الأجسام المضادة أحادية السلالة أو أليغونوكليوتيدات معينة، وهي مكونات الأدوات التشخيصية FDA. ويجب أن تُصنَّع كواشف محددة الخلية ASRs بممارسات تصنيع جيدة، ولكن ما عدا ذلك، فقد تكون مسوقة عموماً بدون الحصول على موافقة إدارة الغذاء والعقاقير. وكانت النتيجة أن العديد من المصنعين، ولا سيما فيما يتعلق بتشخيص الحمض النووي DNA، قد تخطوا إدارة الغذاء والعقاقير FDA، وباعوا مكونات كواشف محددة الخلية ASRs، كما سمحوا للطبيب أو فني المختبر بوضعها معاً. والخيار الآخر هو طرح الأداة أولاً، وذلك من خلال الكواشف محددة الخلية ASRs، وبعدها يتقدم بطلب للحصول على موافقة إدارة الغذاء والعقاقير FDA للأداة التشخيصية في وقت ما في المستقبل، وبشكل فعال يتم اختبار الأداة عملياً في

الوقت نفسه. وقد يتوقع المرء أن موافقة إدارة الغذاء والعقاقير ستكون نقطة بيع جيدة، ولكن يتم أخذ السعر أيضاً بعين الاعتبار. وتفضل بعض شركات التأمين أن تدفع سعراً أقل للاختبارات التي تجرى بأداة الكواشف محددة الحليلة ASRs، بدلاً من دفع مبالغ كبيرة للحصول على موافقة إدارة الغذاء والعقاقير لأداة التشخيص.

## ٢, ٤, ١٦ اللائحة الأوروبية والكنديّة European and Canadian Regulation

بشكل عام، عمليات الموافقة في البلدان الأخرى تعد أقل صرامة مما هو عليه في الولايات المتحدة، وخاصة بالنسبة للأجهزة. ورغم أن هذه الأسواق أصغر وأقل ربحاً، إلا أنها توفر فرصة لاكتساب الخبرة السريرية الإضافية مع المنتج قبل مراجعته من قبل إدارة الغذاء والعقاقير FDA. ونموذجياً، سيتم تسويق منتجات الزرع الجديدة - على سبيل المثال - في أوروبا وكندا بمدة تتراوح من ٢-٣ سنوات، قبل حصولها على موافقة التسويق في الولايات المتحدة.

لقد أسس الاتحاد الأوروبي (EU) لجنة للمنتجات الطبية الامتلاكية (الملكية) Committee for Proprietary Medical Products، التي تنظم معظم الأجهزة الطبية. ويتم تصنيف الأجهزة الطبية تحت توجيهاتها (اتجاهاتها) كفئة أولى I، وفئة ثانية (أ) IIa، وفئة ثانية (ب) IIb، وفئة ثالثة III، أو أجهزة طبية قابلة للزرع حديثة، حسب درجة زيادة الخطر. إن "هيئات الإبلاغ" داخل كل بلد قد تتجاوز الحكم على جهاز معين. إن الاعتبارات الرئيسة لهيئة الإبلاغ، هي عما إذا كان الجهاز مُصنَّعاً وفقاً للمعايير المعمول بها (عادة معايير الأيزو ISO)، وعما إذا كان المنتج فعالاً وآمناً. ولدى اللجنة نظرياً فترة مراجعة قصوى ٢١٠ أيام، وخلال تلك الفترة تقوم اللجنة بتوجيه أية أسئلة بخصوص سلامة المنتج أو كفاءته، ومن ثم تمتلك الشركة الحق في وضع "علامة CE" على منتجاتها، والتي تسمح بتسويقها في كافة أنحاء الاتحاد الأوروبي، (وبعض البلدان غير الأعضاء في الاتحاد الأوروبي، مثل سويسرا، والتي تُقدر علامة

الجودة CE). وبعد حصول المنتج على علامة CE، توجد هناك استعمالات للمنتج "خارج العلامة"، بتنظيم أقل شدة من تلك المستخدمة في الولايات المتحدة الأمريكية. وفي أوروبا عموماً، يجب إثبات أن المنتج آمن، ويؤدي وظيفته كما هو معلن عنها. وإن معايير التنظيم الأوروبية تكره أن تخبر الأطباء عن كيفية ممارسة فنهم، والتأكيد على مبدأ السلامة أكثر من الكفاءة.

ومثل إدارة الغذاء والعقاقير FDA، وضعت المفوضية الأوروبية المبادئ الإرشادية التي تتطلب الإعلان عن الأحداث المناوئة المتعلقة بجهاز طبي. وتشمل الحوادث الناتجة عن أي خلل أو تدهور للجهاز، بالإضافة إلى أوجه القصور في وضع العلامات، أو التعليمات التي قد تؤدي إلى الموت، أو الضرر البالغ على صحة المستخدم، أو ربما أدت إلى الوفاة أو الإصابة الخطيرة. وخلافاً لإدارة الغذاء والعقاقير FDA، فإن السلطات الأوروبية لا تسمح بالتقييمات ذات الأثر الرجعي لدعم تطبيق موجود بالفعل.

### ٣, ٤, ١٦ اللائحة العامة لتقنية النانو General Regulation of Nanotechnology

لقد استفادت تقنية النانو بشكل معاكس من بعض نقادها في فهم أنها تقنية متقدمة جداً، وأنها نوع من تقنية الخيال العلمي، وما زال الطريق متسعاً أمامها إلى ما وراء الأفق، وهذا ليس صحيحاً بالضرورة. ومن حيث حجم الأموال أو الدولارات - على سبيل المثال - فإن أكبر استخدام لجسيمات النانو يكون في الكريم المضاد للشمس. وإن صانع مستحضرات التجميل لوريال L'Oreal يعد من بين أكبر أصحاب براءات الاختراع في تقنية النانو.

وكان هناك فعلاً رد فعل بين بعض اختصاصي حماية البيئة، واختصاصي الأخلاقيات البيولوجية bioethicists، واختصاصي علوم المستقبل futurologists فيما يتعلق بالقدرة التدميرية لتقنية النانو. وبينما نشعر أن الخوف من النسخ المتماثلة

(المنسوخات) الهاربة سابقاً لأوانه، ومبالغ فيه، فهناك في الواقع مشاكل محتملة أخرى لها أساس أكبر، فعلى سبيل المثال، فإن أجساماً أساسها الفوليرين، تكون أصلب من الماس وأقوى من الفولاذ، وخاملة كيميائياً، وغير قابلة للتدمير تقريباً. بينما نجد أن أنابيب الفوليرين النانوية، وجسيمات الماس النانوية -كما تبين سابقاً- تعد منتجات طبيعية موجودة في منتجات النفط الخام، وترسبات الأبخرة الكيميائية. والآثار البيئية لإنتاج كميات كبيرة من هذه المواد لم تحسب بعد. ويتم استخدام الأنابيب النانوية بالفعل في عدد صغير من الأجهزة التجارية، وسيكون على الأرجح لها تطبيق عام في مجال الإلكترونيات، ولذلك قد يتحول التخلص من هذه المواد إلى مشكلة خطيرة.

لقد بدأت الوكالات التنظيمية الحكومية الآن بالتركيز على تقنية النانو. وقد حقق بالفعل فريق عمل اللوائح الأفضل، الذي يقدم المشورة لحكومة المملكة المتحدة، بعض التوصيات العامة. ووفقاً لفريق العمل هذا، ينبغي على الحكومة تنفيذ الآتي:

- تمكين الجمهور من خلال المناقشة الواعية، لاعتبار المخاطر على أنفسهم، ومساعدتهم على اتخاذ قراراتهم الخاصة بأنفسهم، وذلك من خلال توفير المعلومات المناسبة.

- الانفتاح على كيفية اتخاذ القرارات، ومعرفة أين توجد الشكوك (نقاط عدم التأكد).

- التواصل مع الجمهور، والعمل على إشراكه بقدر الإمكان في عملية صنع القرار.

- التأكد من أنه يطور قنوات الاتصال في اتجاهين.

- أخذ زمام المبادرة القوية في معالجة أي قضايا للخطر، وخاصة بند المعلومات

وتنفيذ السياسات.

ورغم أن توصيات السياسة العامة معتدلة بما فيه الكفاية، إلا أن اعتبار تقنية النانو من قبل فريق العمل، يضعها في فئة العلوم نفسها، مثل الخلايا الجذعية والهندسة الوراثية لكائنات الغذاء الحية، وهي المجالات التي عانت بالفعل بشدة على أيدي صانعي السياسات، والسياسيين، ومجموعات المصالح العامة.

لقد كتب جلين هارلان رينولدز Glenn Harlan Reynolds، أستاذ القانون بولاية تينيسي Tennessee مقالا استعراضيا لمعهد بحوث المحيط الهادي [12]، يسمى للأمام نحو المستقبل *Forward to the Future*: تقنية النانو والسياسة التنظيمية، ولعله أول نظرة جدية غير تحريضية في هذه القضية في الولايات المتحدة. وفي هذا المقال الاستعراضى، يطرح رينولدز ثلاثة سيناريوهات محتملة لتنظيم تقنية النانو في الولايات المتحدة: (أ) الحظر (المنع). (ب) تقييد للجيش. (ج) تنظيم معتدل للاستخدام العام. ويرى أن الحظر غير عملي؛ لأن بذور هذه التقنية تم توزيعها بالفعل على نطاق واسع، كما أنها متوافرة. وسيكون الحظر مبددا للفوائد التي تعود على المجتمع، والذي يجب عليه أن يتخلى عنها. ويعد رينولدز الاحتكار العسكري خطيرا جدا، خاصة في تلك الإصدارات العسكرية من تقنية النانو، التي ستضمن على الأرجح أنظمة أسلحة قوية، وستكون تحت سيطرة بيروقراطي وزارة الدفاع الأمريكية (البنجاجون)، الذين يشكلون قوة في حد ذاتهم. إنه يراه نظاما أكثر فائدة، مع التأكيد على التنظيم المتواضع للبحوث الميدانية والمسؤولية المهنية.

و"مع كل التقنيات الجديدة التي تدخل نطاق ملف التصنيع، يجب على المرء أن يقيم، ويحاول التنبؤ بتأثيرها على البيئة والبشر، ويحدد سبلا لمنع تلوث الحقول السمراء، أو الماء والهواء"، حسب قول كيلبي كيركباتريك Kelly Kirkpatrick [10]، وهو مستشار رأس المال المغامر، وأحد واضعي مبادرة تقنية النانو الوطنية (NNE). و"حتى مع مبادرة تقنية النانو الوطنية، فقد كانت هناك جهود من المبكر جداً أن تنظر

إلى الجوانب الأخلاقية والقانونية والاجتماعية لتقنية النانو، وما الآثار المحتملة في المستقبل. وسيكون الهدف تخفيف بعض المشاكل المحتملة في المستقبل، وتبسيط الضوء على بعض المناهج التي قد يهتم بها علماء الاجتماع، والبيئيون وعلماء البيئة، وكذلك لإعطاء علماء وفيزيائيين وكيميائيين المواد فرصة لتطوير الأجهزة، أو العمليات التي تستخدم مواد حميدة، ذات تأثير ضار قليل على الأرض".

وعلى أية حال، لقد أشار روبن فريتويل وويلسون Robin Fretwell Wilson، من كلية الحقوق - جامعة كارولينا الجنوبية South Carolina، إلى أن وكالة حماية البيئة (EPA) تأسست كوكالة تفاعلية، بدلاً من أن تكون وكالة استباقية. فوكالة حماية البيئة موجودة لتنفيذ تشريعات بيئية صدق عليها الكونغرس، ويتم تمرير مثل هذه القوانين عادة فقط، بعد أن يتم التعرف على مشاكل خطيرة في البيئة، مثل أزمة الـ "دي دي تي" DDT، أو المشاكل الصحية في أعقاب تلوث قناة لاف Love Canal. ولقد ركزت وكالة حماية البيئة في الآونة الأخيرة فقط على تقنية النانو كصناعة منفصلة عن الكيمياء. وقامت بعقد اجتماعات في عام ٢٠٠٣ م مع قادة صناعة تقنية النانو؛ للتعود على أنواع التنظيمات التي قد تكون مطلوبة في المستقبل.

إن رأيي الشخصي يتطابق مع الرأي المعبر عنه مؤخراً من قبل أريك دريكسلر (مقتبس في المرجع [6]): "الأدوات اللازمة لتطوير تقنيات النانو عادة ما تكون صغيرة ومخفية. وإن وتيرة الأبحاث تتسارع في جميع أنحاء العالم. ويقترح بعضهم إيقافها، ولكن من الصعب أن نتخيل كيف. وهكذا يبدو أن هذه التقنية بكل ما فيها من تحديات وفرص جزء مستحيل تجنبه من مستقبلنا".

## ١٦,٥ النواحي التشغيلية Operational

إن الحكومات سواء هنا أو في الخارج، تدعم تقنية النانو بسخاء، والأبحاث الأكاديمية في هذا المجال متعافية جداً. وعلى أية حال، فهناك نقص في هذا النوع من المهارات متعددة التخصصات المطلوبة للانتقال من التقنية إلى التطوير الطبي الحيوي العملي في الوقت الحاضر. ووفقاً لتقرير صدر مؤخراً عن المفوضية الأوروبية (مقتبس في المرجع [6]) فهناك ندرة في الخبراء القادرين على إدارة ومكاملة مختلف التخصصات المشاركة في الوسط الفاصل، من مفهوم وتطوير منتجات التقنية الحيوية الطبية، إلى الممارسة السريرية. وهذا صحيح بالنسبة لكل الجوانب الأكثر علمية، وعلى سبيل المثال التعامل مع الجزيئات غير المستقرة، مثل (البروتينات) وتوصيلها، أو مع الأعضاء والأنسجة المعقدة، فضلاً عن المكونات التقنية والإدارية المشاركة في التطوير، والاختبار والتنظيم". وكما يقول لوري بريسمان Laurie Pressman، مستشار رأس المال المغامر [10]: "مثالياً، تحتاج لأن يكون لديك الكثير من الأشخاص متعددي اللغات، وأشخاص تتحدث في الفيزياء والكيمياء وعلم الأحياء، وكذلك أشخاص يتحدثون في العلوم والأعمال والقانون؛ لكي يدركوا إمكانية هذه الاختراعات بالكامل".

إن الوضع معضل خصوصاً في حالة الأجهزة الطبية النانوية، التي تتطلب موافقة من السلطات الرقابية، مثل إدارة الغذاء والعقاقير FDA الأمريكية. وبصرف النظر عن أفضل المقاصد، فلدى إدارة الغذاء والعقاقير FDA نقص في الأيدي العاملة والتمويل فيما يتعلق بمهمتها، ولديها ما يكفي من مشاكل مواكبة صناعة الأدوية والابتكارات الحديثة، مثل العلاج بالخلايا الجذعية. وتقنية النانو هي المجال الذي لم يكن لدى الوكالة الوقت الكافي لتطوير أي خبرة فيه، ومن المرجح حدوث تأخير في عملية الموافقة، كما ستخطئ إدارة الغذاء والعقاقير من جانب الحذر.

وتمثل قلة الخبراء معضلة خاصة في مكتب براءات الاختراع الأمريكي، وهي الوكالة الحاسمة لتطوير الطب الحيوي النانوي. وقد رفضت هذه الوكالة إنشاء وحدة واحدة للتعامل مع تقنية النانو، مدعية أن هذا المصطلح فضفاض، حيث يشمل جميع التقنيات عملياً، على الرغم من أن لديهم الوحدات التي تتعامل بشكل محدد مع براءات التقنية الحيوية، على سبيل المثال.

إن التصنيف عمل صعب، وبالفعل تم إصدار أكثر من ١٠٠٠ براءة اختراع تتعامل مع الديندريمرات، وهو جزيء تقنية النانو الأيقوني. وعلى أية حال، تعود براءات الاختراع الأقدم في هذا المجال إلى الثمانينيات، قبل أن يُنظر لتقنية النانو بشكل بسيط، كمجال في حد ذاته.

ويجب أن تستند مطالبات الملكية الفكرية PI لتقنية النانو على خصائص جديدة، أو حل مشاكل جديدة باستخدام المواد القديمة. وعلى أساس "الوضوح"، فمجرد جعل بنية المادة أصغر، لا يعد براءة اختراع، وأنابيب الكربون النانوية مثال جيد على ذلك. إن الصيغة الكيميائية لأنابيب الكربون النانوية، هي  $C_{(n)}$  فقط، تماماً مثل الجرافيت. وبالتالي للدعاء بأنها مادة جديدة، يجب على المرء أن يقدم خواص جديدة من هذا الشكل الكربوني الجديد. وبالطبع، فلأنابيب النانوية العديد من الخواص غير العادية، من حيث التركيب، والتوصيل الكهربائي، والقوة، والصلابة... إلخ، التي لا يستطيع المرء أن يجدها في الجرافيت، ولكن هناك حالات أخرى قد لا تكون واضحة المعالم كذلك.

وقد أشار تيموثي هسية Timothy Hsieh - وهو شريك في شركة مين وهسية وهاك Min, Hsieh, and Hack LLP - إلى أن وضع التقنية النانوية الآن، كما كانت عليه التقنية الحيوية في أوائل الثمانينيات وذلك فيما يتعلق بمكتب براءات الاختراع. وكما هو الحال مع التقنية الحيوية، فقد تكون براءات الاختراع المعطاة في وقت مبكر موسعة

بشكل مفرط، ولا تواجه التحدي الحالي. و"إن الطبيعة المتأصلة في التقنية النانوية" كما قال: "ستشير بعض القضايا التقنية والقانونية الجديدة التي يلزم على المخترعين أن يعوها وسيؤل أي نظام براءة إلى الحل في نهاية المطاف". وهذه معضلة بالنسبة لشركات التقنية النانوية الصغيرة، التي تنفق نسبة كبيرة من رأس مالها للحصول الملكية الفكرية، والقيمة، وقابلية الدفاع عنها والتي لم تتأسس بعد.

### ١٦,٦ النواحي السريية Clinical

إن المواد النانوية ليست تقنية صغيرة بقدر ما يتعلق الأمر بالطب، فالجزيئات الصغيرة، كالأيونات الوحيدة تستخدم بالفعل طبياً، وكذلك الجزيئات الحيوية الكبيرة، مثل الكربين المناعي (الجلوبولين المناعي) حوالي ١٥٠٠٠٠٠ دالتون. ومن حيث مقياس الحجم، تقطن الأجهزة والمواد النانوية المنطقة بين الكربين المناعي، والليبوسومات تحت الميكرونية، والتراكيب الغروية (المذيلات)، التي تُستخدم بالفعل كأجهزة لتوصيل العقاقير. وكما هو مناقش سابقاً في المقطع (١٦,٤)، فسوف تطبق الإجراءات التي تمت بالفعل في إدارة الغذاء والعقاقير على الأدوية النانوية أو الأجهزة الجديدة، وليس من الضروري وضع إجراءات جديدة لمعالجة الطب النانوي في حد ذاته. وبالفعل، فهناك أنواع معينة من الديندريميرات والنقاط الكمية تم اعتمادها في المرحلة الأولى I، وكما هو مذكور، فالجسيمات النانوية موجودة بالفعل في السوق كأجهزة توصيل للعقاقير.

إن الشروط الأكثر أهمية بخصوص المواد النانوية، فيما يتعلق بالطب النانوي، هي عما إذا كانت هذه المواد الجديدة متوافقة حيويًا أم لا. وتكون الأجهزة النانوية في المدى الذي يمكن للمرء أن يتوقع رد الفعل المناعي، فقد يرى الجسم هذه الأجهزة كغزاة، وتبعاً لذلك يكون رد الفعل. وفي حالة الإخفاق في إزالة المواد بالهجوم

المناعي والخلايا البلعمية، فإن الجسم قد يكتسب encyst الجهاز، ويمنع عمله، أو يسبب مشاكل طبية أخرى. كما تميل تجمعات المواد الغريبة إلى التجمع في شبكة عمل دقيقة داخل الجسم، مثل الحويصلات الهوائية في الرئتين، أو الكبيبات في الكلى، حيث يمكن أن تصبح مصدر خطر على الحياة.

وهناك بالطبع تاريخ طويل لأبحاث المواد المرتبطة بتأسيس المواد المختلفة، كالتوافق الحيوي. ويراعى أن تصنع أجهزة الزرع الطبي - مثل أجهزة تنظيم نبضات القلب، أو المفاصل الاصطناعية - من مواد مثل التيتانيوم أو التفلون، والتي تكون خاملة من حيث عملية الأيض. كما يجب إجراء عمل علم السموم قبل السريري على المواد النانوية الجديدة، مثلما يحدث مع أي دواء جديد. وقد ثبت أن أجهزة الفوليرين تمثل إشكالية، كما يجب أن يفرق المرء بين كرات بوكي buckyballs المختلفة (C<sub>60</sub>, C<sub>70</sub>)، وأنابيب الكربون النانوية. وعلى أساس عمل بدائي جداً، تبدو كرات بوكي خاملة من حيث عملية الأيض، ومخفية عن جهاز المناعة، وغير ضارة على الجسم، بينما قد تتجمع أنابيب الكربون النانوية داخل الجسم، وخصوصاً في الرئتين، وتسبب ضرراً بالغا.

تُصنع حالياً النقاط الكمية المتوافرة تجارياً من سيلينيد الكاديوم، وهي مادة ضارة بشكل مضاعف؛ لأنها سامة جداً، وعديمة الذوبان في الأوساط المائية؛ ولذلك تتصدى الشركات المصنعة لهذه المشكلة عن طريق طلاء نقاط الكم بكبريتات الزنك، وذلك لمنع ذوبان بلورات سيلينيد الكاديوم، ومن ثم تغلف ببوليمر محب للماء. وللغلاف الأخير ميزة أنه يمكن ربط الجزيئات الحيوية الوظيفية به.

لقد تم تطوير نوع آخر من الجزيئات النانوية من قبل شركة كيروس Kereos، واستبدل مذيل الدهون/البيرفلوروكربون بجادولينيوم محلي وليجانادات استهداف لاستخدامها كعامل تباين في التصوير بالرنين المغناطيسي MRI. كما تم تطوير مذيل

البيرفلوروكربون أصلاً من جانب الصيدلانيات المتحالفة في منتج بديل الدم، ومصدّق على استخدام الجادولينيوم المخلي حالياً للاستعمال في عوامل تباين التصوير بالرنين المغناطيسي. وقد تكون ليجانداً الاستهداف أجساماً مضادة أحادية السلالة، أو ليجانداً هرمونية النوع. وتجمع الجزيئات النانوية عدداً من العناصر المستخدمة بالفعل في الطب، والمعروفة أصلاً في علم السموم، وتتكرر الجزيئات النانوية بسرعة. ويُفرز الجادولينيوم المخلي في البول، ويغادر البيرفلوروكربون الجسم عن طريق الرئتين، ويتم إعادة تدوير الدهون كدهون خلوية. ورغم أن هذه قطعة من تقنية النانو، إلا أنها تستخدم بالفعل عناصر معروفة جيداً في الطب.

وخلاصة القول: ليس هناك سبب إلى الآن لاعتبار الأدوية الحيوية النانوية نوعاً مختلفاً عن الأدوية الأخرى. وحتى نبدأ بالحديث عن الأجهزة الذكية الذاتية أو ذاتية الاستنساخ (وهذا المؤلف ليس على استعداد للقيام بذلك)، فإن الأدوية الحيوية النانوية، لا تشكل تحديات سريية فريدة من نوعها.

## ١٦,٧ التحديات الاجتماعية والأخلاقية والسياسية

### Political, Ethical and Social Challenges

لقد كان إريك دريكسلر Eric Drexler [7] أول من حذر من إمكانية فقدان السيطرة على تقنية النانو، على الرغم من أنه كان من الداعمين المتحمسين. وفي محركات الخلق (الإبداع)، أشار إلى بعض الإمكانيات البائسة بوضوح:

"فأوراق النباتات" ليست أكثر كفاءة من الخلايا الشمسية، التي قد تكون اليوم خارج منافسة النباتات الحقيقية، وتزاحم المحيط الحيوي بخضرة (أي أوراق شجر) غير صالحة للأكل. وقد تكون البكتيريا القارئة (المقتاتة بالمواد الحيوانية والنباتية معاً) omnivorous القوية، خارج منافسة البكتيريا الحقيقية،

فهي تستطيع الانتشار مثل حبوب اللقاح الهبوب ، وتتكاثر بسرعة شديدة ، وتحول المحيط الحيوي إلى غبار في ظرف أيام.

لقد كتب بيل جوي Bill Joy - رئيس تقنية المعلومات في حاسبات صن ، وهو واحد آخر من الذين تتباهم المخاوف - مقالة في مجلة ويرد Wired بعنوان: "لماذا لا يحتاج لنا المستقبل؟" [14]:

إن تقنيات القرن الحادي والعشرين - علم الوراثة ، وتقنية النانو ، وعلم الروبوتات (GNR) - قوية جداً ، بحيث يمكنها أن تفرخ أصنافاً جديدة كاملة من الحوادث والانتهاكات. والأكثر خطورة وللمرة الأولى أن هذه الحوادث والانتهاكات تكون على نطاق واسع في متناول أفراد أو مجموعات صغيرة ، وأنهم لن يحتاجوا لمنشآت كبيرة أو مواد خام نادرة ، فالمعرفة بمفردها ستمكنهم من استخدامها. وهكذا لدينا الإمكانية ، ليس فقط من أسلحة الدمار الشامل ، ولكن لدينا المعرفة التي تمكنا من التدمير الشامل (KMD) ، وتتضخم هذه القوة التدميرية بشكل هائل عن طريق مقدره الاستنساخ الذاتي."

"... ولقد أفرغتني قراءتي مرة ثانية لعمل دريكسلر ، بعد مرور أكثر من عشر سنوات ، لأدرك كم كان قليلاً ، فلقد تذكرت ذلك المقطع الطويل "الأخطار والآمال" "Dangers and Hopes" ، بما في ذلك مناقشة كيف تصبح تقنيات النانو "محركات للدمار". وفي الحقيقة و خلال إعادة قراءتي لهذه المادة التحذيرية اليوم ، أذهلني كيف غرني بعض من تظاهر مقترحات حماية دريكسلر ، وكيف عظمت حكمي على المخاطر ، لتبدو أكثر مما كانت عليه في ذلك الحين.

ومن المهم التذكير بأن دريكسلر وجوي لم ينشرا دعاية تحطيم مجموعات الهيبيز المتراجعة، بل على العكس تماماً، فهما من بين القادة في المجالات الرئيسية للتقنية، فضلاً عن أنهم أناس أذكاء جداً. وهكذا، فإن الأخطار التي تعرضها التقنية، وخاصة عندما تندمج بالعلوم الحيوية، ينبغي أن تؤخذ على محمل الجد. ويشير راي كورزويل Ray Kurzweil، مؤلف كتاب "عصر الآلات الروحية" *The Age of Spiritual Machines* [15]، ومؤيد تقنية النانو عامةً، إلى إمكانية سوء الاستخدام المتعمد لتقنية النانو:

"...إن الخطر الأكبر، هو الاستخدام العدائي المتعمد لتقنية النانو، فحينما تتوفر التقنية الأساسية، لن يكون من الصعب تهيتها كأداة للحرب أو للإرهاب.... فالأسلحة النووية بكل إمكانياتها التدميرية، على الأقل تأثيرها محلي نسبياً. وطبيعة الاستنساخ الذاتي لتقنية النانو، تجعلها خطراً أعظم من ذلك بكثير".

وليس أقل من قوة نفوذ مجلة أخبار الأمن الدولي جين *Jane's International Security News*، التي رددت مخاوف كورزويل.

ولقد ظهر قلق آخر أكثر إلحاحاً، وهو التأثيرات البيئية المحتملة من إنتاج المواد النانوية على نطاق كبير. وطرحت باربرة كارن Barbara Karn - المسؤولة عن توجيه أبحاث تقنية النانو في وكالة حماية البيئة EPA - سؤالاً على الباحثين مؤخراً، عن إمكانية أن تسبب الجسيمات النانوية ضرراً للبيئة. ووفقاً لما قاله مارك ويسنير Mark Wiesner - أستاذ الهندسة المدنية والبيئية في جامعة رايس Rice University - لقد أظهرت التجربة أن الجسيمات النانوية تحترق الخلايا الحية، وتتراكم في كبد حيوانات التجارب. إنه يشعر بالقلق خصوصاً بشأن مشتقات الفوليرين، مثل أنابيب الكربون النانوية المستقرة للغاية؛ ولذا يمكن التوقع بأن تتراكم في البيئة مع مرور الزمن، بينما تستعد

شركات مثل شركة كربون فرونتير Frontier Carbon Corp ، ومعهد أبحاث تقنية نانو الكربون لصنع أطنان من الأنابيب النانوية.

ولقد أشارت مراراً وتكراراً فيكي ل. كولفين Vicki L. Colvin - المديرة التنفيذية لمركز تقنية النانو البيولوجية والبيئية في جامعة راييس (مركز قوة التقنية النانوية)- إلى أنه لا يوجد هناك تقريباً أي بحث في مجال علم السموم المحتمل عن الجسيمات النانوية. وعلى أية حال ، وبدون أدنى شك فإن كولفين من المؤيدين لهذه الصناعة. وفي شهادتها أمام مجلس النواب ، ناقشت المخاوف الأخيرة حول تقنية النانو ، وذكرت رواية مايكل كريشتون "الفريسة" [8] ، والتي توضح قولها: " إن رد الفعل الذي يمكن أن يركع صناعة تقنية النانو المتنامية على ركبتيها: هو الخوف. والتصور بأن تقنية النانو ستسبب دماراً بيئياً أو أمراضاً بشرية ، يمكن بنفسه تحويل حلم صناعة التريليون دولار إلى كابوس من رد فعل الجمهور".

ودعا تقرير صادر عن عبد الله دار Abdallah Daar ، وبيتر سينجر Peter Singer - من جامعة تورنتو Toronto ، المركز المشترك لأخلاقيات علم الأحياء- إلى فرض حظر شامل على انتشار المواد النانوية ، على أساس أن الآثار الأخلاقية والقانونية والاقتصادية والبيئية المترتبة على تقنية النانو ، لم يتم أخذها على محمل الجد ، ولم تتابع على نطاق كبير بما فيه الكفاية إلى الآن.

إن مجموعة ال Etc (تُلفظ et cetera) ، هي لجنة من لجان رقابة التقنية المنظمة ، والتي برزت في الكفاح ضد الكائنات المعدلة وراثياً والتقنيات الناشئة ، وقد وضعت بصرها الآن على تقنية النانو. ولقد نشرت تقريراً يحتوي على ٨٤ صفحة [16] بعنوان: "الهبوط الكبير- تقنية الذرة" "The Big Down - Atomtech" : التقنيات التي تتلاقى في مقياس النانو. وليس من المستغرب ، أنهم وجدوا تقنية النانو مزعجة :

"إن الدعاية المحيطة بتقنيات مقياس النانو اليوم، تشبه بشكل مخيف سلسلة الوعود المبكرة للتقنية الحيوية. وقالوا لنا هذه المرة: إن تقنية النانو ستتأصل الفقر من خلال توفير السلع المادية (خالية من التلوث!) لجميع شعوب العالم، وعلاج المرض، ووقف الاحتباس الحراري العالمي، وتمديد فترات الحياة، وحل أزمة الطاقة. وتطبيقات تقنيات الذرة لتحدث مجموعة ال Etc عن التقنية النانوية[ الحالية والمستقبلية بأنها مفيدة فعلاً وجذابة اجتماعياً. ولكن حتى أكبر المتحمسين لتقنية الذرة يحذرون من أن العجائب الصغيرة، قد تعني مشاكل هائلة. ومجاهيل تقنية الذرة، بدءاً من المخاطر الصحية والبيئية من تلوث الجسيمات النانوية، إلى الجو جراي Gray Goo والسايبورغات، إلى تضخيم أسلحة الدمار الشامل؛ تشكل أخطاراً لا حصر لها.

تقدم مجموعة ال Etc كمفهوم إرشادي في مبدأها الوقائي، للعلم: "ينص المبدأ الوقائي على أن الحكومات تتحمل مسؤولية اتخاذ الإجراء الوقائي؛ لتفادي وقوع ضرر على صحة الإنسان أو البيئة، وحتى قبل ثبوت اليقين العلمي من الضرر. وفي إطار المبدأ الوقائي، تكون مناصرة للتقنية الجديدة، بدلاً من الجمهور الذي يتحمل عبء البرهان". وتريد ال Etc تعليقا فوريا للإنتاج التجاري من المواد النانوية الجديدة. وتقول المجموعة: إن التصنيع الجزيئي يشكل "مخاطر بيئية واجتماعية هائلة، ويجب عدم الاستمرار- حتى في المختبر- في غياب الفهم والتقييم الاجتماعي الواسع".

لا يمكن تجاهل ال Etc ومجموعات مثلها؛ لأنهم أظهروا فقط القدرة على التأثير في الرأي العام. وفي إطار تجسيده السابق، حيث تم منح أعضاء مجموعة ال Etc، وال RAFI ائتماناً لوضع حد لمونسانتو Monsanto، ما يسمى بـ "بالتقنية المنهية أو القاطعة"، وهي طريقة الهندسة الوراثية لحماية حقوق براءات اختراع التقنية الزراعية،

من خلال جعل الجيل الثاني من البذور عقيماً. ولقد رجحت الـ Etc متحولاً قوياً مؤخراً، هو الأمير تشارلز- من إنجلترا، في مفارقة تاريخية حية- والذي شن هجوماً حاداً من قبل على أهوال الهندسة المعمارية الحديثة، وكذلك "أطعمة فرانكن" "Frankenfoods". ويمكن أن يأخذ الرأي السياسي العام أهمية كبيرة جداً، ولقد تعلمت شركات الخلايا الجذعية والتقنية الزراعية من خلال التجربة المريرة.

إن السيناريو المرعب للمستثمرين في تقنية النانو، هو أن- كما هو الحال مع الأطعمة المهندسة وراثياً- الجمهور سيأتي متأخراً لتقدير تهديدات حقيقية أو متخيلة، ويطلب تشريعا، وتعليقا، أو حظرا تاما لتقنيات النانو، أو تقنيات النانو ذات صلة معينة. وهكذا بعد عشرات السنوات، وعشرات أو مئات الملايين من تكاليف التطوير، قد تجد الشركة نفسها غير قادرة على تصنيع المنتج أو تسويقه.

يسرد الجدول رقم (١٦،٣) بعض المخاوف العرب عنها عموماً حول تطوير تقنية النانو. وهناك مبالغة بعض الشيء في المخاوف لأغراض المناقشة، ومع هذا يعكس الجدول رقم (١٦،٣) بدقة مضمون المناقشة بين النسبة المئوية الصغيرة لعامة السكان الذين يدركون تقنية النانو. وتتعلق معظم هذه المخاوف إلى حد ما بتطوير الطب الحيوي النانوي.

الجدول رقم (١٦،٣). المخاوف السياسية، والاجتماعية أو الأخلاقية المتعلقة بتطوير تقنية النانو.

١. سيناريو الجو جراي- كارثة بيئية نتيجة للاستنساخ الذاتي.
٢. سيناريو الجو جرين- سيطرة الكائنات المعدلة وراثياً GMO على أنحاء العالم.
٣. كارثة بيئية بسبب استنشاق الجسيمات النانوية أو هضمها.
٤. نهاية الاقتصاديات القائمة على الاحتكار (النقص).
٥. "الناس سيعيشون للأبد؛ مما أدى للانفجار السكاني".
٦. "سيعيش الأغنياء فقط للأبد": تعود فوائد التقنية النانوية فقط على أولئك القادرين عليها مادياً.
٧. "تقنية النانو ستحولنا إلى سايبورغات (كائنات معدلة)".
٨. "يمكن استخدام تقنية النانو لصنع أسلحة دمار شامل مدهشة".

### ١٦,٧,١ سيناريو الجو جراي The Gray Goo Scenario

إن سيناريو الجو جراي- قد نوقش بالفعل- وهو الافتراض القائل بأن عامل تقنية النانو المصمم بشكل ذكي بمخاوص الاستنساخ الذاتي المتماثل، قد يهرب إلى البيئة العامة، ويبيد المحيط الحيوي، وذلك من خلال عزل بعض العناصر أو المواد الضرورية، وجعلها لنفسها مدى الحياة. وتم مناقشة هذا كثيراً من قبل الآخرين، سواءً من جانب أنصار تقنية النانو أو المعارضين لها. وأفضل سبب لتصديق هذا السيناريو المستبعد، هو أن المحيط الحيوي بالفعل مليء بالعوامل ذاتية الاستنساخ، على مدى بلايين السنين من التطور، وهذه الكائنات الحية استحواذية جداً فيما يتعلق بمواد إدامة الحياة. وهناك الكثير من الجدل حول هذا التصميم الذكي، والذي قد يكون ضد نظرة الأمل هذه. وعلى أية حال، فأنا عازم على مواصلة النقاش الجاد بشكل دقيق لهذا الاحتمال، مشيراً بأن سيناريو الجو جراي، ليس له أي علاقة بالطب الحيوي النانوي كأحد فروع تقنية النانو.

### ١٦,٧,٢ سيناريو الجو جرين The Green Goo Scenario

إن سيناريو الجو جرين- إلى حد ما هو الأرجح، وذلك لأنه أكثر سهولة في الوصول إلى تحقيقه- يقترح بأن الكائن الحي الاصطناعي المعتمد على الحمض النووي، قد يهرب من المختبر، ويتسبب في أضرار بيئية هائلة. وبالطبع، فالكائنات الحية المعدلة جينياً موجودة منذ السبعينيات. ومنذ وقت مبكر، عرّف الأحيائيون (علماء الأحياء) الخطر، ووضعوا قيوداً للحفاظ على الكائنات الحية من الهرب، والتي من المحتمل أن تكون خطيرة، مثل مسببات الأمراض المعدلة. وفي الآونة الأخيرة، تم إعادة تعريف التقنية الحيوية من قبل البعض بأنها "تقنية النانو الرطبة" "wet nanotechnology"، التي هي بالتأكيد على أساس فئة الحجم؛ لأن علم الأحياء الجزيئي كان دائماً حول الأحداث والتراكيب على المقياس النانوي.

في العقد الماضي، اهتم عدد من الناس "بالجينوم الاصطناعي"، وكانت الفكرة في ذلك، هي خلق كائن حي يحتوي على العدد الأدنى من الجينات القياسية الضرورية للحياة. وعندئذ يمكن التعديل فيه بناء على الرغبة لخلق كائن حي لأغراض محددة. وكانت عبقرية كريج فنتر Craig Venter وراء الجهود الخاصة الناجحة إلى تسلسل الجينوم البشري، وهو مهتم بخلق مثل هذا الكائن؛ لتقليل اعتمادنا على مصادر الطاقة الهيدروكربونية. وستكون الاستخدامات الأخرى الممكنة لمثل هذا الكائن الحي في تصنيع الأدوية الحيوية بشكل أكثر كفاءة من البكتيريا، أو الخميرة المعدلة المستخدمة في الوقت الحاضر.

وقد تنشأ معضلة أخلاقية، إذا تم حقن مثل هذه الكائنات المشيدة في شخص، بحيث يتم توصيل الأدوية الحيوية التي تقوم بتصنيعها بسهولة أكثر للمكان المحتاج إليها. ويستطيع مثل هذا الكائن - من حيث المبدأ - أن يغزو الخلايا الجرثومية، ويتطور بالاشتراك مع الكائن البشري، مثل (الطريقة التي تطورت بها الميتوكوندريا، بالاشتراك مع حقيقيات النوى eukaryotes)؛ مما يؤدي إلى "الإنسان السوبر" بخصائص البقاء المتزايدة. أو بدلاً من ذلك، قد يقوم الكائن بالتكامل مع الجينوم البشري داخل الخلايا الجرثومية، ويضيف جينات جديدة لتكملة الإنسان، وبالطريقة نفسها التي دخلت بها جينات الفيروسات الانقلابية بالفعل في جينوم عدد من أنواع الثدييات، بما في ذلك البشر.

هل هذا السيناريو مستبعد؟ قد تُفاجأ حينما تعلم أن فيروسات الخلايا البكتيرية السامة المعدلة جينياً، تُستخدم تجريبياً بالفعل لقتل الخلايا السرطانية. ويتم استخدام ناقلات مماثلة لنقل الجينات؛ لتصحيح عيوب وراثية في التجارب السريرية البشرية. وبشكل عام، يتم أخذ الحذر الشديد؛ للتأكد من أن هذه الجينات لا يمكن أن تنتقل أفقياً عن طريق العدوى. ولكن حتى الآن كان هناك فكرة صغيرة نسبياً، أعطت

إمكانية الانتقال عمودياً خلال الجينوم، وذلك عن طريق العبث (التلاعب) الجيني العلاجي. وإن كان هذا بالتأكيد حدث غير محتمل، إلا أن وجود جينات الفيروس الانقلابية في الجينوم البشري، هو برهان على أن مثل هذا الانتقال العمودي ممكن. وإذا كنت تعاني من السرطان أو مرض وراثي، فإن آخر شيء يدور في بالك بالتأكيد، هو ما إذا كان هذا الفيروس قد ينتهي في خلاياك الجرثومية. وبشكل خاص، فإن هذا يعد نقطة خلافية. ولكن كمجتمع، هل هذا شيء ينبغي أن يقلقنا؟ وقد يؤثر هذا النقاش الأخلاقي على بعض مجالات الطب الحيوي النانوي.

### ١٦,٧,٣ الكارثة البيئية بسبب استنشاق أو ابتلاع الجسيمات النانوية

#### Environmental Disaster Due to Inhalable or Ingestible Nanoparticles

لقد سبق أن أشرنا إلى الحقيقة بأن دراسات علم السموم التي أجريت فيما يتعلق بالجسيمات النانوية قليلة. وفي ظاهر الأمر، فهذه مشكلة خاصة بأنابيب الكربون النانوية، برغم استعداد الصناعة بالفعل لإنتاج كميات متعددة الأطنان منها. والاستخدامات المتوقعة -على سبيل المثال- ستكون في مجال الإلكترونيات، وأجهزة انبعاث المجال لأنابيب أشعة الكاثود. والخوف هو أن الأنابيب النانوية أو غيرها من الجسيمات النانوية، ستلوث الهواء أو الممرات المائية؛ مما يؤدي إلى أضرار بيئية على نطاق واسع. ويتم عمل مقارنات بين مرض الرئة السوداء لعمال المناجم من قطران الفحم، وسرطان الرئة الناجم عن تدخين السجائر، أو ورم المتوسطة (نوع من السرطان يصيب الظهارة المتوسطة) mesothelioma، الناجم عن ألياف الأسبستوس. ولا يمكن استبعاد هذه المخاوف بسهولة، فأنابيب الكربون النانوية - على سبيل المثال- تخترق الخلايا بسهولة، إنها أصعب من الماس، وأقوى من الفولاذ، وغير قابلة للتحلل الحيوي.

إن الجسيمات النانوية موجودة بالفعل بكميات كبيرة في البيئة على شكل أسود الكربون، والمعروف أيضاً بأسود الأستيلين، وأسود القناة (السخام)، وأسود الفرن، وأسود المصباح (السناج)، وأسود الحراري. ويستخدم كل ما سبق في الإطارات، والأحبار، والورنيشات (الطلاءات)، وفرش الكربون، والموصلات الكهربائية، والمواد العازلة. ونموذجياً، تقع جسيمات الكربون الأسود ضمن حجم يتراوح من ١٠ - ٤٠ نانومتر للكربون العنصري، بمواد كيميائية مختلفة ممتزة على السطح. وقد يتعرض العمال في مصانع الإطارات لامتزاز هذه الجسيمات النانوية في جلدتهم، وعلى ملابسهم المبلل بعرقهم، حتى بعد مغادرتهم عملهم لعدة أسابيع؛ ولذا فالجسيمات النانوية ليست شيئاً جديداً حقاً. لقد كانت جسيمات الكربون النانوية هنا وهناك كنتاج للاحتراق غير الكامل، منذ أن جلب بروميثيوس Prometheus النار للبشرية.

ونحن سنتعامل على الأرجح مع الأخطار البيئية لتقنية النانو بالطريقة نفسها التي اعتدنا عليها دائماً، بإهمالها حتى تصبح كارثية على نحو واضح. وحتى تطوير مستوى الرقابة، سيكون على أساس كل حالة على حدة. ولا يحتمل أن يكون الطب الحيوي النانوي بطبيعته سبباً رئيساً للأضرار البيئية، حيث سيتم استخدام الجسيمات النانوية والأجهزة النانومترية بشكل مقتصد، مقارنة بالاستخدامات الأخرى - صناعة الإطارات كمثال واضح.

#### ٤,٧,١٦ نهاية الاقتصاد القائم على نقص الاحتياجات

#### End of Shortage-Based Economics

وإحدى إدعاءات المتحمسين لتقنية النانو الأكثر مثالية، أننا سنكون قادرين على التحكم في هذه المادة بالشكل المناسب، وستكون الكائنات المنشودة "في شكل مثالي"، وذلك باستخدام مجتمعات التقنية النانوية لسحب المادة من البيئة. وتدعي نظريات الكارثة لتقنية النانو أن هذه الميزة الواضحة، هي في الواقع علة أو جرثومة، وسوف تعني نهاية الاقتصاد كما نعرفه، وبالتالي نهاية النظام الرأسمالي، أو ما شابه ذلك.

وهذه ليست المشكلة التي تجعلني أقلق منها، فالعالم اليوم ينتج وفرة كبيرة من الغذاء، ورغم ذلك يشعر الناس بالجوع، حتى في الدول الغنية جداً، ولذلك فمن المحتمل أن تكون الاقتصاديات القائمة على الاحتكار آمنة تماماً لفترة قصيرة.

١٦,٧,٥ "سيعيش الناس للأبد؛ مما يؤدي إلى الانفجار السكاني"

**"People Will Live for Ever, Leading to Overpopulation"**

هذا ميزة أخرى مقابل انقسام العلة (الجرثومة). ويعتقد البعض أن الطب النانوي سيتقدم إلى النقطة التي نستطيع بها إصلاح كافة أمراض الشيخوخة، حتى أن الناس سيعمرون لفترة طويلة ويرفضون الموت. وفي تلك الأثناء، سيُصارع جيل الشباب كثيراً، وسيصبح العالم مزدحماً بالمعمرين، ولكنهم سيظلون أصحاء.

لقد كان الانفجار السكاني على ما يبدو معنا منذ أن قام توماس مالثوس Thomas Malthus [17] باختراع هذا المفهوم في عام ١٧٩٨م. وتبين أن الانفجار السكاني مفهوم نسبي، فسكان الهند يقاومون منع الإنجاب (التعقيم) sterilization الإيجابي بنجاح، وكذلك التدابير القهرية من جانب الدولة للسيطرة على السكان. وهذه الأمة المزدحمة بالفعل على الطريق الصحيح، لتضيف ٥٠٪ إلى سكانها بحلول عام ٢٠٥٠، وفقاً لتقرير صادر عن مكتب الإحصاء الأمريكي. ومن ناحية أخرى، لقد خفض الأوروبيون معدلات الإنجاب، لدرجة أن بعض الدول الآن أقل بكثير من قيم الإحلال البشري، فإيطاليا على سبيل المثال - المشهورة فيما مضى بالعائلات الكبيرة السعيدة - هي الآن من بين أدنى المعدلات في العالم فيما يتعلق بمعدلات الإنجاب.

إن لدى الناس الآن قلقاً شديداً من حدوث انهيار في البشرية، ويبدو أن مثل هذا الانهيار مستمر بشكل جيد في جنوب الصحراء الأفريقية، حيث متوسط العمر المتوقع ينخفض إلى ما دون ٤٠ عاماً، وهو انعكاس لا يصدق بسبب وباء الإيدز.

ولعل تلك الزيادة السكانية مهددة بالأوبئة الجديدة، بسبب فيروس نيباه Nipah، أو فيروس سارس SARS، أو الأمراض التي لم تكتشف بعد، والمعلن عنها باستمرار في عناوين الصحف.

وإذا نحينا المخاوف السكانية جانباً، فإن السؤال الأكثر أهمية، هو ما إذا كان الطب الحيوي النانوي يستطيع تحقيق التوقعات بإضافة خاصية طول للعمر إلى حد كبير أم لا. ومع ذلك، فلقد أضاف الطب الحديث لهذه النقطة بشكل كبير من خلال زيادة متوسط العمر المتوقع في الدول الصناعية، ولكن أضاف القليل جداً للعمر المتوقع لأي فرد. ولقد تم إزاحة منحنى الجرس، ولكن حدوده الخارجية بقيت دون تغيير. ويمكن أن يعيش الناس حياة منتجة حتى سبعين سنة، ويمكنهم أن يكونوا نشيطين في عمر الثمانين، ولكن ما زالت قلة محظوظة فقط تصل إلى ذلك العمر المقارب للقرن. وفي الحقيقة قد يساهم الطب الحيوي النانوي في طول العمر الأطول بكثير، بالدمج مع التقنيات الأخرى، مثل الاستنساخ العلاجي الذي يبدو أن لديه حتى إمكانية حالية أكبر، بهذا الخصوص.

لقد أحدث الاستنساخ العلاجي بالفعل عاصفة نارية من الجدل السياسي. ظاهرياً، كان هذا حول ضرورة تدمير "الأجنة" المستعملة لخلق خلايا جذعية جنينية مخصصة لمريض محدد. وفي الحقيقة، تنتج هذه الأجنة من وضع نواة من المريض في بيئة من سيتوبلازم البويضة، ولا يوجد تخصيب متضمن بين الحيوانات المنوية وخلية البويضة، وبالتالي ليس هناك خلق فرد جديد. ولكن البعض يرى تدمير الجنين - بغض النظر عن أنه عبارة عن كرة من الخلايا فقط - بمثابة عملية قتل.

حتى لو كنت لا توافق على وجهة النظر شديدة التحفظ هذه، فإنه من الصحيح أن تلك العملية لديها القدرة على انتهاك ما اصطلح على تسميته "بالطب المعياري". ويسعى الطب المعياري لإعادة المريض من حالة المرض إلى حالته الصحية

"طبيعية". وفي نظر بعض المراقبين، إن إضافة سمات أو أداء، يتجاوز ما يمكن اعتباره طبيعياً لا يعد طبياً.

وبطبيعة الحال، فالطب كما هو ممارس مليء بانتهاكات الطب المعياري، بعضها بسيط إلى حد ما، مثل الجراحة التجميلية لإزالة علامات الشيخوخة، والبعض الآخر جذرية بالفعل، مثل جراحة تغيير الجنس، على سبيل المثال. ومعظم الجراحة التجميلية - على مستوى ما - تشكل خطراً في الواقع على صحة المريض لتحقيق نهاية تجميلية. إن جراحة تغيير الجنس، هي محاولة لتجاوز حدود الطبيعة. وبالمثل، فإن المحافظين يقولون: إن الاستنساخ لأغراض علاجية، يسعى إلى تجاوز حواجز الطبيعة فيما يتعلق بالشيخوخة. وإذا كان ممكناً - على سبيل المثال - إحلال أنسجة القلب بأنسجة قلب جنينية جديدة، والتي تتصرف كما لو أنها حديثة الولادة، فإدًا لم يعد هذا طبياً معيارياً. ونحن نسعى إلى خلق شيء لم يكن موجوداً من قبل، وهو إنسان معمر بقلب وليد.

إن الطب الحيوي النانوي - كما هو مشكل في الوقت الحالي - حميد من الناحية الأخلاقية مقارنة بهندسة الأنسجة، والاستنساخ العلاجي. وعلى أية حال، فمن المرجح أنه كلما سيطرنا على المادة بزيادة مستوى المقياس النانوي، فإن قدرتنا على إصلاح أنسجة الشيخوخة ستزيد أيضاً، فقد مكنت تقنية النانو شبكية العين الاصطناعية - تعد أداة بدائية إلى الآن - من أن تجعل الناس يرون في نطاق الأشعة تحت الحمراء أو الأشعة فوق البنفسجية، على سبيل المثال. وقد يكون لهذا الفرد مزايا معينة، كجندي في ساحة المعركة، على سبيل المثال. وهكذا، فإن القدرات التي يقدمها الطب الحيوي النانوي، ستؤثر في نهاية المطاف على النقاش الدائر حول الطب "المعياري" كمثالية أخلاقية.

١٦,٧,٦ "سيعش الأغنياء فقط للأبد": ستعود فوائد التقنية النانوية فقط على أولئك القادرين عليها مادياً

**"Only Rich people will live forever": Nanotech Benefits Accrue only to those in Charge**

بالتأكيد سيستفيد الأغنياء أولاً بالطب الحيوي النانوي، وهذه هي الطريقة المتبعة في هذا العالم.

ويعد هذا جزءاً من نقاش أكبر حول من يجب عليه تولى السيطرة على فوائد تقنية النانو. ويدعي البعض أنه منذ أن تم تمويل بحوث تقنية النانو من قِبل دافعي الضرائب، فينبغي أن تكون هناك آلية ما لنشر فوائد تقنية النانو بطريقة عادلة. والفجوة في هذا المنطق - حتى الآن - هي أن الفوائد الأكثر وضوحاً من تقنية النانو، كانت في الحقيقية نتيجة استثمارات القطاع الخاص. إن مجهر القوة الذرية، هو نتيجة للجهود التي تمت في مختبر زيورخ IBM. وكانت أنابيب الكربون النانوية نتيجة ملاحظة عرضية من قِبل باحث في شركة كهرباء نيبون، كما جاءت الدنديريرات نتيجة سنوات من البحث في شركة داو Dow للكيمائيات.

لقد استفاد الأغنياء أولاً من التطورات الحديثة في الطب، فأجهزة تنظيم ضربات القلب القابلة للزرع داخل الجسم - للاستشهاد بها كمثال حديث - هي من العناصر باهظة التكاليف جداً، وخاصة عندما نأخذ في الاعتبار نفقات العمليات الجراحية. لا الرعاية الطبية، ولا معظم شركات التأمين ستدفع النفقات لزرعها لكل من يمكنه الاستفادة فعلاً منها، ولن يدفعوا ثمن معظم النماذج الأكثر تقدماً لتلك الأجهزة. ومع ذلك، ستدفع الرعاية الصحية التكاليف لزرع هذه الأجهزة في بعض المرضى، الأشخاص الذين لديهم عدم انتظام في ضربات القلب، والذين عانوا بالفعل من أزمة قلبية، على الأقل بعض المرضى الذين لا يستطيعون تحمل نفقات هذه الأجهزة من مواردهم الخاصة، يمكن منحهم فوائد هذه التقنية. ومثلما تتحسن التقنية،

ستصبح الأجراس والصفارات في الأجهزة المتقدمة في نهاية المطاف قياسية في كل النماذج. إن نهج "التنقيط أو التقطر" "trickle-down" هذا لتوزيع الخدمات الطبية ليس مثالياً، ولكنه هو النظام المطبق حالياً.

ومن الناحية المثالية، ينبغي أن تعود التقنية بالفائدة على جميع الذين يمكنهم الاستفادة منها. وعلى أية حال، فعدم وجود آلية اجتماعية لضمان مثل هذا التوزيع، لا ينبغي اعتباره تحدياً لتطوير التقنية في المقام الأول، فأخصائيو تقنية النانو لا يتحملون أي مسؤولية خاصة لتنظيم المجتمع.

١٦،٧،٧ "ستحولنا تقنية النانو إلى سايبورغات"

#### "Nanotech Will Turn Us Into Cyborg"

يمكننا إعادة صياغة هذا الاعتراض للقراءة، "إن تقنية النانو ستعجل الاتجاهات لتحويلنا جميعاً إلى سايبورغات ("سايبورغ" كان في الأصل اختصار لكلمة "الكائن المعرفي" "cybernetic organism"، ولكننا سنأخذ معناه الممتد أكثر في حلقات مسلسل ستار تريك Star Trek، ككائن حي ميكانيكي جزئياً)". ومنذ أن قام جورج واشنطن بتركيب أسنان خشبية، أصبح لدينا بشر على نحو متزايد مكونون من جزء ميكانيكي وجزء عضوي. كما في أفواهنا حشوات، وتيجان، وقبعات، وجسور، أو أسنان اصطناعية. ومن أجل الرؤية لدينا النظارات أو العدسات اللاصقة، أو جراحة الليزك التي تبدل من شكل مقل عيوننا. ولسمع أفضل، لدينا سماعات الأذن، أو قوقعات السمع المزروعة. وبالفعل، فهناك أشخاص يتجولون حولنا لديهم شبكية مزروعة تمتحهم القليل من الرؤية، وإلا سيكونون مكفوفين بشكل كامل. ولدينا أيضاً أكتاف، وأوراك، ومرافق، ومفاصل الأصابع، ومرافق وركب اصطناعية، وأقراص فقرية اصطناعية. ويحتاج بعض الناس لزراعة مضخات الأنسولين؛ للحفاظ على مستويات السكر في الدم، أو مضخات المورفين للحد من آلام السرطان. كما حلت ماكينات غسيل الكلى محل الكلى الطبيعية لعدد قليل من المرضى مع الأسف.

أما على المستوى الخارجي للكائن الحي (أي الجسم الخارجي)، فقد أصبح الكثير- إن لم يكن الأغلب- منا مرتبطاً بالحاسوب أو الهاتف على الأقل لإنجاز المهام اليومية. وكان البعض منا يدور حول ساحة انتظار السيارات لمدة ٣٠ دقيقة لتجنب المشي مئة ياردة إضافية، لاستبدال الأقدام بالسيارة. ويحتاج العديد من الناس إلى كراسي متحركة للتحرك بسبب الشلل النصفى paraplegia، وصعوبة التنفس، أو الوزن الزائد.

ولقد قام الطب الحيوي النانوي في الواقع بتسريع هذا الاتجاه السايبورغي، والمقاومة غير مجدية لمواجهة ذلك، فالقليل منا سيرفض زرع شبكية العين الممكنة بتقنية النانو، عندما يواجهون البديل العمى. وكذلك القليل منا سيهتم بأننا أصبحنا نعتمد على هذه الماكينات النانوية، إذا ما تبين أنها فعالة في إبعاد السرطان. وليس من الصعب تصور مستقبل العالم الذي ما زلنا نولد فيه عراة، ولكننا نتزود بأجزاء أكثر وأكثر من الأجزاء الإلكترونية والميكانيكية كلما تقدم بنا العمر، حتى نصل إلى نقطة يتم فيها التخلي تماماً عن أصولنا العضوية الأصلية، عند مرحلة ما.

١٦,٧,٨ "يمكن أن تستخدم تقنية النانو لصنع أسلحة الدمار الشامل المدهشة"

"Nanotechnology Can Be Used to Create Incredible Weapons of Mass Destruction"

بعيداً عن فريسة مايكل كريشتون، فهناك معرض وحوش الخيال العلمي sci-fi menagerie للعوامل التدميرية المحتملة التي يمكن إنشاؤها باستخدام تقنية النانو. وتستطيع المخلوقات الميكانيكية الصغيرة أن تميز بعض الناس على أساس المستضدات التوافقية النسيجية، وتمضي (تمتد) نحو جذع دماغهم، وتسيطر على وظائفهم العصبية- لخلق فرضية لحظية للرواية. وعلى أية حال، ينبغي ألا نكون مزيجين (سطحين) حول هذه المخاوف.

وليس من المستحيل إنتاج أسلحة دمار شامل أصغر من أن ترى في نهاية المطاف، (القوة الخبيثة مع ذوي الخبرة في تقنية النانو).

كما أنه ليس من المستحيل أن تستطيع قوة ماثلة خبيثة مسلحة بالتقنية الحيوية، أن تُعيد مرض الجدري مرة أخرى، أو تنتج عامل إرهاب حيوي جديد، استناداً على الفيروسات أو البكتيريا الحالية، لقتل الملايين من الناس. وفي الحقيقة، فإن قسم الأمن الداخلي يخشى مثل هذه الأحداث، ويضع الكثير من المال والجهد في محاولة منع ذلك.

وبناء على ذلك، ليس من المستحيل أن تتمكن مجموعة قوية بما فيه الكفاية، مسلحة بالتقنية النووية من تدمير معظم العالم المعروف حالياً. وعندما كنت طفلاً، علمونا الاعتقاد بأن مثل هذا السيناريو محتمل الحدوث.

ليس هناك نهاية لعدد السيناريوهات الكارثية التي يمكن أن تحدث. وكما يقال: اليقظة الأبدية، هي ثمن الحرية، والأمر متروك لنا ولؤؤسساتنا الحكومية لمنع سوء استخدام هذه التقنية. وسيكون من الخطأ- على أية حال- التخلي تماماً عن تقنية معينة؛ بسبب مثل هذا الخوف. كما أنه ليس من المستحيل أن تخترع هذه التقنية من أجل مصلحة الطب الحيوي النانوي. وعلى سبيل المثال، سنستعجل اليوم عندما ستستعمل القوة الخبيثة التقنية نفسها بشكل مدمر. ومن ناحية أخرى، فإذا لم نقم بتطوير هذه التقنية كمجتمع، فإن قوى غير مجتمعية، قد تكون هي الوحيدة لفهم مثل هذه التقنية واستخدامها. وعند هذه النقطة سنكون عاجزين تماماً.

## ١٦,٨ الملخص Summary

الطب الحيوي النانوي- لدى صغير- موجود بالفعل في شكل الجسيمات النانوية المستخدمة لتوصيل العقاقير، والأجهزة النانوية المستخدمة لأغراض

التشخيص. والتقنية الحيوية التي صنعت بالفعل مساهمة كبيرة للطب على شكل عقاقير، أساسها بروتين وتقنيات التشخيص، وقد تم وصفها على أنها "تقنية النانو الرطبة".

إن اللوائح والسياسات الحالية التي تحكم تقديم العقاقير والأجهزة الطبية، تُطبق أيضاً على منتجات الأجهزة الطبية النانوية.

كما أن العوائق الرئيسية لمزيد من التطوير في الطب الحيوي النانوي عند هذه النقطة، هي الناحية المالية والتشغيلية. ولقد ظهرت القيود المالية للشركات التجارية الصغيرة وتطورت؛ بسبب النقص في رأس المال المغامر. وكان هذا في المقام الأول؛ بسبب تأثير متخلف من انهيار الإنترنت - dot.com، ولكن مضاربي رأس المال المغامر، يخافون أيضاً من بعض الادعاءات المفرطة الموجودة لتقنية النانو. ومن الناحية التشغيلية، يوجد نقص في الأشخاص الذين يستطيعون قيادة (اجتياز) كل التخصصات المختلفة المطلوبة بنجاح؛ لوضع منتجات الأجهزة الطبية النانوية سوياً. وتؤدي الوكالات الفيدرالية في الولايات المتحدة دوراً في تطبيق الطب الحيوي النانوي، مثل إدارة الغذاء والعقاقير، ووكالة حماية البيئة، ومكتب براءات الاختراع الأمريكي، ومعظم هذا الإدارات تشعر بالنقص الحاد في تلك الناحية.

لقد ظهرت بعض المخاوف الاجتماعية والأخلاقية المتعلقة بتطوير تقنية النانو غير ناضجة، وسابقة لأوانها، ولا تنطبق بالضرورة على الطب الحيوي النانوي بشكل خاص. وعلى أية حال، فإنه من المرجح على المدى الطويل، أن يساهم الطب الحيوي النانوي في إطالة الأعمار الوظيفية للبشر؛ مما يؤدي إلى الإجهاد المجتمعي. وهناك أيضاً منتجات حيوية نانوية معينة، قد تكون مكروهة على أساس أخلاقي. وأخيراً- مثل أي تقنية متقدمة- فهناك إمكانية لسوء استخدام الطب الحيوي النانوي من قبل الإرهابيين

أو المتذمرين الآخرين. ويجب على المؤسسات السياسية أن تُطوّر طرائق الحماية من مثل هذه الاستخدامات السيئة.

### الاختصارات Abbreviations

- ASR - كاشف مُحدد الخلية.  
 BCC - شركة اتصالات الأعمال.  
 CEO - المدير التنفيذي للمكتب.  
 DNA - الحمض النووي (حمض ديوكسي ريبونوكليك).  
 DARPA - وكالة الدفاع لمشاريع البحوث المتقدمة.  
 EPA - وكالة حماية البيئة.  
 FDA - إدارة الغذاء والعقاقير.  
 IDE - إعفاء (استثناء) فحص جهاز.  
 IND - فحص دواء جديد.  
 IP - الملكية الفكرية.  
 IPO - طرح (عرض) عام أولي.  
 MIT - معهد ماساتشوستس للتقنية.  
 NSF - المؤسسة الوطنية للعلوم .  
 PMA - الموافقة قبل التسويق.

### المراجع References

- 1 Perkel, J. M., Nanoscience is out of the bottle, *Scientist* 17, 15, 2003.
- 2 Personal communication, A. Watson, Quantum Dot Corp.; also *Technology Review, Emerging Technologies*, Wednesday update, May 12, 2004.
- 3 Personal communication, R. Ellson, Picoliter, Inc., 2003.

- 4 Freitas, R., *Nanomedicine: Basic Capabilities*, Landes Biosciences, Georgetown, TX, USA, 1999.
- 5 Gordon, N., Sagman, U., Nanomedicine Taxonomy, Canadian Nanobusiness Alliance, [www.regenerativemedicine.ca/nanomed/Nanomedicine Taxonomy](http://www.regenerativemedicine.ca/nanomed/Nanomedicine%20Taxonomy) (Feb 2003). PDF, 2003.
- 6 Edwards, S. A., *Biomedical Applications of Nanoscale Devices*, BCC, Inc., Norwalk, CT, 2003.
- 7 Drexler, K. E., *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology*, Anchor Books, New York, NY, 1986.
- 8 Crichton, M., *Prey*, Harper Collins, New York, 2002.
- 9 Smalley, R., *Of Chemistry, Love, and Nanobots*, *Sci. Am.* 2001, Sep, 285 (3), 78–83.
- 10 Interview by John Roy from Merrill Lynch, February 2, 2004.
- 11 Rocco, M., Bainbridge, W., eds., *Converging Technologies for Improving Human Performance*. National Science Foundation report, [www.technology.gov/reports/2002/NBIC/ Part1.pdf](http://www.technology.gov/reports/2002/NBIC/Part1.pdf), 2002.
- 12 Reynolds, G. H., *Forward to the Future: Nanotechnology and Regulatory Policy*, Pacific Research Insitute, [www.pacificresearch.org/pub/sab/techno/forward\\_to\\_nanotech.pdf](http://www.pacificresearch.org/pub/sab/techno/forward_to_nanotech.pdf), 2002.
- 14 Hsieh, T., *Emerging IP Issues in Nanotechnology*, Presented at the NanoBiotech IP Landscape Conference, July, Boston, MA, USA, 2003.
- 15 Joy, W., *Why the Future Doesn't Need Us*, *Wired* 8.04, April 2000.
- 16 Kurzweil, R., *The Age of Spiritual Machines*, Penguin Books, Harmondsworth, 1999.
- 17 *The Big Down–Atomtech: Technologies Converging at the Nanoscale*, Etc Group, [www.etcgroup.org/documents/TheBigDown.pdf](http://www.etcgroup.org/documents/TheBigDown.pdf).
- 18 Malthus, T., *An Essay on the Principle of Population*. Printed for J. Johnson in St. Paul's Churchyard, London, 1798.