

الباب الثامن

الأثار البيئية والصحية لتكنولوجيا النانو

الباب الثامن

الأثار البيئية والصحية لتكنولوجيا النانو

١- المخاطر الصحية المعروفة والمحتملة

منذ عرف العالم الامكانيات التطبيقية المتعددة وغير التقليدية للنانوتكنولوجيا فهناك تسابق عالمي في الانفاق علي التطوير الصناعي لكافة المجالات التطبيقية لتكنولوجيا النانو وأصبح هناك العديد من المنتجات المطروحة في الأسواق والتي تعتمد علي تكنولوجيا النانو منها ما يختص بالاستخدام اليومي للانسان مثل معاجين الأسنان ومواد التجميل والمنسوجات التي لا تتسخ وبعض المنتجات الغذائية الي المواد الصناعية مثل بعض أجزاء السيارات وخاصة الاطارات ومواد الطلاء وليس من المنتظر أن تقف تطبيقات تكنولوجيا النانو عند حد معين أو صناعة بذاتها بل من المنتظر أن تمتد الي آفاق غير تقليدية في القريب باذن الله.

وبالرغم من التركيز علي العائد الاقتصادي والتطبيقي الايجابي لتكنولوجيا النانو الا أن المخاطر المحتملة من إستخدامها علي البيئة وعلي صحة الانسان لم تدرس دراسة كافية ومازالت في مراحلها الأولية الا أن ما توافر من معرفة في هذا المجال نشأ عنه جبهة تطالب بالتريث في الماضي قدما في تطبيقات النانوحتي يتم تقييم مخاطرها الصحية بصورة أفضل ووضع الضوابط اللازمة للتقليل من الأثار السلبية لها.

وقد وجد أن مواد النانو غير الغذائية مثل أنابيب الكربون النانو، الفضة، السليكا، أكسيد التيتانيوم وأكسيد الزنك تكتسب خواصا لا توجد في ذات المواد بحجم أكبر وهو ما قد ينشأ عنه مشاكل في سلامتها والمخاطر غير المتوقعة من إستخدامها. فعلى سبيل المثال فإن أكسيد الألومنيوم المستخدم في حشوات الأسنان نظرا لخموله قد ينفجر تلقائيا عند تحضيره علي المستوى النانو وحاليا يتم إختباره كوقود محتمل للصواريخ. وهناك عدد محدود من الحوادث التي تشير الي مخاطر حبيبات النانو. ففي مارس ٢٠٠٦ عاني أكثر من ٧٠ شخصا من مشاكل في الجهاز التنفسي وتم تحويلهم الي المستشفيات بعد إستخدامهم لأحد منظفات الحمامات المعتمدة علي تكنولوجيا النانو.

فمن ناحية المخاطر الصحية فإن الدراسات تشير الي قدرة مواد النانو علي دخول جسم الانسان من عدة مناطق فقد تدخل عن طريق الرئتين أثناء انتاج المواد النانو لتنتقل الي باقي أجزاء الجسم بسرعة عن طريق الدم. وعلي مستوى الخلية فقد وجد أن مواد النانو لها القدرة للسلوك كجزء جيني *gene* vector فمحقوق الكربون الأسود ذو الحجم النانو له القدرة علي التداخل والتشويش علي إشارات الخلية.

وبالنسبة للمواد الغذائية فإن التركيب البنائي الطبيعي لها يحتوي علي كثير من المركبات بأحجام النانو الي حجم الميكرون فعلي سبيل المثال فالبروتينات ذات شكل حبيبي بأحجام تتراوح بين ١٠-١٠٠ نانومتر أي بأحجام نانو حقيقية. كذلك فإن السكريات العديدة ذات السلاسل المستقيمة عادة ما تكون بسمك لا يتعدى ١ نانومتر وهي بالطبع لا توجد مخاطر صحية من تناولها. غير أن هناك محاولات عديدة لتصنيع مواد غذائية بأحجام النانو ومن غير المعروف ما اذا كانت خواص هذه المواد سوف تحدث آثار ضارة غير متوقعة. غير أن كثيرا من الدراسات أظهرت أن طرق تحضير المواد الغذائية النانو وتصميمها لا

تؤدي بالضرورة الي إنتاج مواد ضارة بالإنسان فعلي سبيل المثال فان سمية بعض المواد مثل السلينيوم نقل بصورة واضحة عند تصغير حجم حبيباتها الي المستوي النانو. كذلك ذكر أن غمر أنابيب الكربون النانو في النيتروجين السائل يقلل من سميتها وهو ما يفتح الباب نحو إستخدام هذه التكنولوجيا في مواد التعبئة والعبوات الغذائية.

وفي هذا الجزء سوف نتناول بعض الدراسات التي إجريت لمعرفة المخاطر الصحية لمواد النانو .

٢- مناطق دخول حبيبات النانو الي الجسم

يمثل الجلد والرئتين والقناة الهضمية أكثر أماكن الجسم تعرضا لدخول حبيبات النانو الي جسم الانسان نظرا لتعرضها المباشر للبيئة المحيطة بما تحمله من مكونات. وقد نتجت معظم المعلومات المتوافرة في هذا المجال من دراسة أساليب توصيل العقاقير الي الجسم (البحوث الصيدلانية) وعلم السموم.

يمثل الجلد عازل طبيعي لجسم الانسان يحد من إنتقال أي مكون للجسم من خلاله (سوي الأشعة اللازمة لتكوين فيتامين د) في حين أن الرئتين يتم من خلالهما تبادل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون وبخار الماء مع الجو الخارجي أما القناة الهضمية فهي معرضة لكل المواد التي يتم تناولها عن طريق الفم ومن خلالها يتم تبادل كل المغذيات (ماعدا الغازات) بين الجسم والمحيط الخارجي.

وتختلف هذه الأجهزة في تعرضها للجو الخارجي إختلافا كبيرا من الناحية الهيستولوجية علي النحو التالي:

١- يغطي جسم الانسان البالغ بطبقة من الجلد تبلغ مساحتها ١.٥ م^٢ وفي معظم الأماكن فان الطبقة السطحية من الجلد تكون سميكة (١٠ ميكرون)

تتكون من الخلايا الميتة الكرياتينية والملتصقة ببعضها البعض بمواد دهنية. ومن الصعب نفاذ المواد الأيونية والذائبة في الماء من هذه الطبقة.

٢- تتكون الرئة من جزئين مختلفين وهما الممرات الهوائية (airways) (الناقلة للهواء من والي الرئة) والحوصلات الهوائية (منطقة تبادل الغازات) وتحتوي رئة الإنسان علي ٢٣٠٠ كم من الممرات الهوائية وحوالي ٣٠٠ مليون حويصلة هوائية ويبلغ مسطح الرئتين ١٤٠ م^٢ في البالغين. وتمثل الممرات الهوائية موانع جيدة نسبيا فهي مغطاة بطبقة طلائية نشطة تحميها طبقة مخاطية لزجة. أما الحوصلات الهوائية فان الحواجز بين جدران الحويصلة والشعيرات الدموية رقيقة جدا حيث لا يبعد الهواء في الحويصلة عن مسار الدم في الشعيرات سوي ٥٠ ميكرون. ونظرا للمسح الكبير للحوصلات والتداخل الشديد بين الهواء والدم في هذه المنطقة فان الحوصلات أقل حماية من التأثيرات البيئية عن الممرات الهوائية.

٣- تمثل القناة الهضمية نظام تبادل/حاجز أكثر تعقيدا من الممرين السابقين فهي المدخل الأكثر أهمية للجزيئات الكبيرة كي تنتقل الي الجسم من المعدة. ويمكن للجزيئات الصغيرة فقط من النفاذ من الطبقة الطلائية للأمعاء. تغطي الأسطح الداخلية للأمعاء الدقيقة والغليظة بطبقة من الهدبيات villi تساعد علي زيادة مسطح إمتصاص المواد المهضومة ويبلغ مساحة المسطح الداخلي للقناة الهضمية حوالي ٢٠٠ م^٢.

٢-١ الرئتين "الاستنشاق والتطهير الرئوي للمواد الصلبة"

يتوقف التأثير الباثولوجي للمواد الصلبة المستنشقة أساسا علي تحقيق درجة كافية من العبء علي الرئة lung burden والذي يقدر كنسبة بين ما يترسب الي

ما يزال من المواد الصلبة في الرئة. فمن المنطقي ان الوصول الي مرحلة الثبات يتم عندما يصل معدل الترسيب/معدل الازالة للغبار والألياف من الرئة الي نقطة الاتزان ويتم ذلك عادة عندما لا تتداخل المواد الصلبة المستنشقة مع ميكانيكية الازالة. وقد تؤثر الخواص الكيماوية والطبيعية للمواد المستنشقة علي معدل إزالتها من الرئة. وبالنسبة للمواد ذات الشكل المستدير فيمكن إستنشاقها إذا كان قطرها أقل من ١٠ ميكرون وكلما قل قطر هذه الكريات كلما أمكنها الوصول الي مناطق أعمق في الرئة. فالحبيبات ذات القطر الأقل من ٢٥٠ ميكرون قد تصل الي قرب الحويصلات الهوائية وعلي ذلك فان الحبيبات فائقة الدقة مثل حبيبات النانو تترسب أساسا في الحويصلات الهوائية. يطلق أسم الألياف علي المواد الصلبة التي تكون النسبة بين طولها وقطرها ٣:١ علي الأقل. ويتوقف إختراق الألياف للرئة علي خواصها الديناميكية الهوائية aerodynamics وعلي ذلك فالألياف ذات الأقطار الصغيرة تنفذ الي أعماق بعيدة في الرئة أما الألياف الطويلة فتتعلق غالبا بالممرات الهوائية.

تناولت دراستان حديثا سمية أنابيب الكربون النانو في الفئران. أشارت كلا الدراستين الي تكون تجمعات وبعض الالتهابات الداخلية (شكل ١-٨)



شكل (١-٨) تأثير إستنشاق الحبيبات النانو علي الرئة حيث يلاحظ تكون تجمعات granuloma (باللون الداكن) في الفحص الهيستولوجي للرئة.

وفي حين أن الدراسة الأولى أشارت الي أن التجمعات قد لا يكون لها مدلول فسيولوجي وأنها قد ترجع الي تجمع أنابيب الكربون فان الدراسة الثانية تشير الي أن أنابيب الكربون أكثر سمية من الكربون الأسود والكوارتز. وتجب الاشارة هنا الي ضرورة أخذ نتائج الدراستين بحذر حيث أن المعهد القومي للسلامة المهنية والصحة بالملكة المتحدة قد أظهر أنه لا يتم إستنشاق أي من أنابيب الكربون من الهواء أو إستنشاق جزء ضئيل جدا غير مؤثر منها.

ولا تتوقف إزالة المواد الصلبة من الرئة علي الوزن الكلي للحبيبات المستنشقة بل علي حجمها النسبي وعلي مسطح الحبيبة. ففي دراسة علي إستنشاق أكسيد التيتانيوم فائق النعومة (٢٠ نانومتر) بواسطة الفئران مقارنة بأكسيد التيتانيوم الناعم (٢٠٠ نانومتر) فان إزالة أكسيد التيتانيوم فائق النعومة تتم بسرعة أبطأ من إزالة أكسيد التيتانيوم الناعم من الرئة. كما أن حبيبات أكسيد التيتانيوم فائق النعومة تصل الي الفراغات الداخلية للحويصلات الهوائية والتي لا تصلها حبيبات أكسيد التيتانيوم الناعم. كذلك وجد أن سمية الكربون المستنشق تتوقف علي مسطح الحبيبات.

ونخلص من ذلك الي أن معظم حبيبات النانو الكروية تدخل الي الرئتين لتصل الي الحويصلات الهوائية بسهولة ويمكن إزالتها من الرئتين طالما لم تؤثر علي ميكانيكية الازالة. غير أن حبيبات النانو تؤخر من عملية الازالة مما يتسبب في زيادة العبء علي الرئة مع إحتمال ظهور تأثيرات مزمنة. وتجب الاشارة هنا الي أن تأثير حبيبات النانو المستديرة يتوقف علي المساحة السطحية لها. كذلك يمكن للألياف ذات الأقطار النانو (أقل من ١٠٠ نانومتر) من الوصول الي الحويصلات الهوائية. وتتوقف إزالة الألياف من الرئة علي طولها.

وقد أكدت الدراسات الخوف من التأثيرات غير المحددة لألياف الكربون النانو علي الرئة.

٢-٢ القناة الهضمية

عرف منذ زمن بعيد أن الحبيبات يمكن أن تنتقل من التجويف المعوي من خلال تجمعات للأنسجة الليمفاوية المعوية والمعروفة بأسم payer patches والمحتوية علي خلايا M (خلايا بلعمية خاصة) ولا يقتصر إنتقال الحبيبات من خلايا M فقط بل من خلال الخلايا المعوية العادية أيضا. وقدما أشارت الدراسات الي عدم تمييز خلايا M لانتقال الحبيبات تبعاً لنوعها أو حجمها الا أن الدراسات الحديثة تشير الي أن تحويل الخواص الطبيعية والكيمائية للحبيبات مثل الحجم والشحنة السطحية وأماكن الالتصاق أو تغطيتها بالمواد النشطة سطحيا توفر إمكانية أن تستهدف مناطق محددة في القناة الهضمية لانتقال الحبيبات.

ويعتمد إنتقال الحبيبات في الأمعاء علي عدة عوامل منها الانتشار والأتاحة والاتصال المبدئي بخلايا M وتجب الإشارة هنا الي أن الحبيبات المحملة بشحنات مثل حبيبات النانو لكربوكسيالات البولي ستيرين أو المكونة من بوليمرات تحمل شحنة موجبة تظهر إتاحة حيوية ضعيفة من خلال تناولها بالفم ويرجع ذلك الي التآفر الكهروستاتيكي والاحتواء في المخاط. ويظهر تأثير حجم الحبيبات واضحا في بعض الدراسات التي تشير الي أن الحبيبات ذات حجم ٤١ نانومتر تنفذ من خلال الغشاء المخاطي لتصل الي الخلايا المعوية للقولون في دقيقتين بينما تأخذ الحبيبات ذات قطر ٤١٥ نانومتر حوالي ٣٠ دقيقة أما الحبيبات ذات أقطار ١٠٠٠ نانومتر فلا تستطيع النفاذ من الحاجز المخاطي. وفي هذه الدراسة وجد أن الحبيبات التي تنفذ تلتصق علي سطح الخلايا ولا تنفذ

الي داخلها وأنها تنفذ الي الأغشية الضامة التي تقع تحت الطبقة الطلائية في عدة أيام.

وإذا ما وصلت الحبيبات الي الأنسجة التي تقع تحت الغشاء المخاطي فانها تصبح قادرة علي الانتقال الي الخلايا الليمفاوية والشعيرات الدموية. ومن المحتمل أن تصبح الحبيبات التي تنجح في الوصول الي الخلايا الليمفاوية قادرة علي حث الجهاز المناعي في حين أن تلك التي تصل الي الشعيرات الدموية يمكنها الانتقال الي أعضاء أخرى في الجسم.

وبالرغم من الارتباط الواضح بين مرض Crohn's disease والتعرض للذرات الحبيبية فان المعرفة بدور محدد للخلايا البلعمية للطبقة الطلائية للأمعاء في هذا المرض ضئيل. ومن ناحية أخرى فان هناك أمراض أخرى بخلاف المرتبطة بالقناة الهضمية أمكن اثبات تأثير التعرض للحبيبات عليها. فامتصاص حبيبات النانو للبولي ستيرين ذات قطر ٢ ميكرون من الأنسجة المعوية يزيد نسبة مرض السكر ١٠٠ ضعف في الفئران المستحث فيها المرض عن الفئران الطبيعية.

وخلاصة القول أن حبيبات النانو المهندسة يمكنها الانتقال الي الجسم من خلال القناة الهضمية. وبصفة عامة فان الدراسات علي انتقال حبيبات النانو من خلال القناة الهضمية أكثر وضوحا من النتائج المتحصل عليها في حالات الاستنشاق أو من خلال الجلد. وعلي ذلك فمن الممكن التنبؤ بسلوك بعض الحبيبات في الأمعاء مع مراعاة الاحتياط في تفسير النتائج المتحصل عليها.

ولذلك فهناك حاجة مؤكدة لتقييم انتقال حبيبات النانو المصممة والمستخدمة في الأغذية أو كناقل لبعض الأدوية التي يتم تناولها عن طريق الفم من خلال الأغشية المبطنة للأمعاء قبل تسويق هذه المنتجات.

٢-٣ نفاذ حبيبات النانو من خلال الجلد

يمثل الجلد مانعا هاما لحماية الجسم من المؤثرات الخارجية وتختلف قدرة الجلد في الاحتجاز قليلا في المناطق المغطاة بالشعر عن باقي أجزاء الجلد. وقد أهتمت معظم الدراسات علي قدرة المواد علي اختراق الجلد علي قدرة العقاقير علي التخلل في طبقات الجلد باستخدام تركيبات تحتوي مواد كيميائية و/أو مواد حبيبية كمواد حاملة. ومن الأنواع الرئيسية المستخدمة في هذه الدراسات من المواد الحبيبية الليبوزومات والمواد الصلبة شحيحة الذوبان مثل أكسيد التيتانيوم والبوليمرات الحبيبية والمستحلبات تحت الميكرونية علي أن قدرة حبيبات النانو علي اختراق الجلد لم تدرس بشيء من التفصيل.

وقد ذكرت بعض المراجع الحديثة أن حبيبات أكسيد التيتانيوم النانو (٥٠-٢٠ نانومتر) لها القدرة علي اختراق الجلد وقد تتفاعل مع النظام المناعي. وقد ذكرت دراسة أخرى أن الحبيبات بحجم ٥٠-١٠٠ ميكرون وبمساعدة التشرب بالتدليك أن تخترق الطبقة السطحية للجلد لتصل الي الطبقة تحت السطحية epiderm وعادة ما تصل الي طبقة dermis وقد فسرت هذه الدراسة قدرة الحبيبات علي الاختراق الي وجود الطبقة الدهنية بين الخلايا والتي تعمل كمر سهل انتقال الحبيبات من خلالها.

وقد درس اختراق المواد الصلبة غير المعدنية مثل البوليمر المشترك لحمض اللاكتيك والجليكوليك والمحضر علي صورة حبيبات بأقطار ١-١٠ ميكرون للجلد. فقد وجد أن عدد الحبيبات المخترقة للجلد يتناقص مع زيادة العمق في الجلد فعلي عمق ٥٠٠ ميكرون من سطح الجلد لم تشاهد أي من حبيبات البوليمر فيها.

وباستخدام مستحضر Emzeloid™ وهو نوع من المستحلبات تحت الميكرونية مثل الليبوزومات والمواد ذات النشاط السطحي غير الأيونية بقطر ٥٠ نانومتر الي ١ ميكرون في دراسة اختراقه للجلد أمكن الكشف عنه مرتبطا بطبقة الجلد epidermis. وقد ذكرت الدراسة أن مكونات الحبيبة تخترق الفراغات البيئية للخلايا منفردة ثم تعود للتجمع في بعض مناطق الجلد الداخلية علي هيئة حبيبية. وفي دراسة أخرى وجد أن هذا المستحضر له القدرة علي الوصول الي طبقة الميلينوما melanoma بل قد تصل الي نواة خلاياها.

وقد ذكرت دراسة أخرى أن تخلل المواد المعدنية للجلد معقد يعتمد علي عوامل خارجية (مثل الجرعة والمادة الحاملة وفعالية البروتين والتكافؤ) وعوامل داخلية (عمر الجلد والمكان وميكانيكية التحكم) ولم تتمكن الدراسة من وضع معادلات للتنبؤ بالعلاقة بين تركيب المادة وقدرتها علي الانتشار خلال الجلد.

ويمكن تلخيص نتائج الدراسات المحدودة لقدرة حبيبات النانو علي اختراق الجلد فيما يلي:

١. يعتمد إختراق الحبيبات للجلد علي حجمها ومن المؤكد قدرة حبيبات النانو علي الاختراق العميق للجلد عن الحبيبات الأكبر حجما.
٢. وجدت أنواع مختلفة من الحبيبات في الطبقات العميقة للجلد غير أنه لا يمكن التنبؤ حاليا بسلوك الحبيبات في إختراقها للجلد.
٣. أن المواد التي يمكن أن تذوب أو تنفصل من الحبيبات أو تتكسر الي أحجام أصغر يمكنها النفاذ من الجلد ولا توجد أدلة حتي الآن علي أن الحبيبات التي تخترق الجلد تصل الي النظام الداخلي للجسم والملاحظ أن الحبيبات التي تخترق الجلد يتم التهامها بواسطة البلعيمات مثل خلايا Langerhans cells وقد يكون ذلك سببا في الحساسية الجلدية.

مما سبق يتضح أن الرئتين والقناة الهضمية هما المدخلين الأكثر أهمية لنفاذ حبيبات النانو الي الجسم. وبالرغم من التشابه في ميكانيكية إنتقال حبيبات النانو في الرئة والقناة الهضمية الا أن هناك إختلافات جوهرية بينهما تؤثر في مدي إمكانية إنتقال وفعالية حبيبات النانو في كل منهما وتتلخص أوجه الاختلاف بينهما فيما يلي:

١- أن محتوى القناة الهضمية معقد فهي تحتوي بجانب المواد المهضومة المواد التي يتم إفرازها فيها مثل الأنزيمات الهاضمة وأملاح الصفراء والبكتريا خاصة الموجودة في القولون. ولكثير من هذه المكونات القدرة علي التفاعل مع حبيبات النانو المأخوذة عن طريق الأكل مما يقلل من سمية هذه الحبيبات. ففي الدراسات المعملية وجد أن إعطاء حبيبات النانو في بيئة غنية بالبروتين يقلل من سميتها. أما في الرئة فان المواد المخاطية والمواد النشطة سطحيا حيث توجد مضادات الأكسدة فانه يمكن معادلتها بسهولة بالمواد المؤكسدة التي يتم إستئناقها.

٢- أن مرور المواد في القناة الهضمية سريع نسبيا كما أن الخلايا الطلائية للأمعاء يتم تجديدها باستمرار مما يضمن عدم بقاء مواد النانو لمدة طويلة في الأمعاء. وعلي ذلك فوجود مواد النانو في محتويات القناة الهضمية لا يحدث بها التهابات. أما الرئة فان الحبيبات الأقل من ٥ ميكرون تترسب في الحويصلات الهوائية حيث يتم التخلص من المواد غير الذائبة في الماء فقط عن طريق الالتهام بالخلايا البلعية أو تنتقل عبر الخلايا الطلائية الي مسار الدم وفي كلتا الحالتين يصاحبهما حدوث التهابات في الرئة.

٣- تتعرض المواد التي يتم تناولها عن طريق الفم الي الحموضة العالية في المعدة ثم يعقبها التعرض لقلوية عالية في الأمعاء مما يعرض المواد المصاحبة الي إجهاد شديد وهذا يؤثر علي ذوبانها وخواصها الأيونية بدرجة واضحة أما في الرئة فان الظروف ثابتة تقريبا.

٣- توزيع الحبيبات وتأثيراتها الداخلية في الجسم.

يعتمد توزيع الحبيبات في الجسم بدرجة كبيرة علي خواصها السطحية فعلي سبيل المثال فان طلاء حبيبات النانو لبوليمر مثيل ميثاكريلات methyl methacrylate بأنواع مختلفة من المواد النشطة سطحيا يؤثر بدرجة ملموسة علي توزيعها في الجسم. فتغطية الحبيبات بحوالي ١ او ١٠% من مادة polyxime 908 يقلل من تركيزها في الكبد كثيرا (من ٧٥ الي ١٣% من الكمية الكلية المعطاه) بعد ٣٠ دقيقة من الحقن الوريدي. وفي دراسة أخرى وجد أن تحوير سطح حبيبات النانو بمادة كاثيونية (didodecyldimethylammonium bromide) يزيد من المأخوذ من خلال الحقن الوريدي ٧-١٠ أضعاف.

وإذا ما أخذت حبيبات النانو (بولي ستيرين الحبيبي) عن طريق الفم في الفئران (جرعة ٢٥ و ١٠٠ ملجم/كجم/يوم لمدة ١٠ أيام) فان ٧% من الحبيبات (٥٠ نانومتر)، ٤% من الحبيبات (١٠٠ نانومتر) وجدت في الكبد والطحال والدم والنخاع ولم تصل الحبيبات الأكبر من ١٠٠ نانومتر الي النخاع والأكبر من ٣٠٠ نانومتر لم توجد في الدم ولم توجد أي من الحبيبات في القلب أو الرئتين.

وعلي ذلك يمكن القول أنه بصرف النظر عن الطريق الذي تسلكه الحبيبات في دخولها الجسم فان توزيعها في مناطق الجسم المختلفة يعتمد علي حجمها وخواصها السطحية.

تشير الدراسات المسحية الي العلاقة الوثيقة بين التلوث الهوائي (بالحبيبات المعقولة) والتأثيرات السلبية علي القلب والأوعية الدموية. ومن ناحية أخرى فان إستنشاق الحبيبات الكبيرة نسبيا (أكبر من ٤٠٠ نانومتر) يحدث التهابات في الرئة ولكن لا يحدث جلطات بها. وعلي ذلك فان تأثير الحبيبات فائقة النعومة

يعود غالبا الي تسرب جزء منها عن طريق الرئة الي الدم. فملوثات الهواء مثل حبيبات عادم الديزل قد تحدث التهابات ملحوظة في مدي ساعة من ترسبها في الرئة كذلك فانها تحدث دوالي في أوردة الفخذ femoral veins وجلطات وريدية عقب إدخالها عن طريق القصبة الهوائية وأن هذا التأثير يعتمد علي الجرعة المعطاه. وبصفة عامة فان الحبيبات الصلبة فائقة النعومة المستنشقة تمثل عامل خطر للأشخاص الذين يعانون من أمراض القلب.

ومن ناحية أخرى فهناك العديد من الدراسات علي وصول حبيبات النانو الي المستوي الخلوي وهذا متوقع في حالة الخلايا البلعمية والتي تعمل كحاجز/أو ناقل للمركبات الكبيرة غير أن تأثير حبيبات النانو علي الخلايا لم يدرس بعد بعمق.

كذلك وجد أن حبيبات النانو قد تصل الي الكبد وأن تحدث فيه إجهاد تأكسدي oxidative stress وقد وجد أن الحقن الوريدي لجرعة/جرعات متكررة من مادة poly-isobutyl cyanoacrylate (قابلة للتحلل البيولوجي) أو البوليستيرين (غير قابل للتحلل) في الفئران يؤدي الي نقص في مادة الجلوتاثيون والجلوتاثيون المؤكسد وتنشيط نشاط أنزيم superoxide dismutase وزيادة طفيفة في نشاط أنزيم الكاتاليز بالرغم من عدم وجود الحبيبات في خلايا الكبد. ويعزي هذا التأثير الي تنشيط خلايا الكبد البلعمية بعد التهامها لحبيبات النانو. وتشير دراسة أخرى أن نقص الجلوتاثيون في الكبد نتيجة للحقن الوريدي لحبيبات النانو غير كافٍ لاحتاد مشاكل كبدية (لاتحدث أكسدة للدهون) وأنه من الضروري إجراء دراسات لمدد طويلة لمعرفة مدي سلامة استخدام حبيبات النانو حيث أن النقص المزمن في النظام المضاد للأكسدة قد يؤدي الي مشاكل صحية.

الخلاصة

من المؤكد أن الحبيبات بحجم النانو تدخل جسم الانسان عن طريق الرئة والقناة الهضمية وبدرجة أقل حدوثاً عن طريق الجلد. ويتوقف دخول حبيبات النانو الي الجسم علي (١) حجم الحبيبات (٢) خواصها السطحية (٣) نقاط التلامس في الرئة والقناة الهضمية والجلد. ويعتمد توزيع الحبيبات بعد دخولها الجسم علي خواصها السطحية كما أن هناك حجم حرج تقف بعده الحبيبات عن التحرك في الجسم.

ومن الأهمية بمكان إجراء دراسة تفصيلية عن السلوك الفارماكولوجي لحبيبات النانو وإنشاء قواعد بيانات عن المخاطر المصاحبة لكل من حبيبات النانو (علي سبيل المثال الجزء المستهدف في الجسم/النسيج/الخلايا) ويجب أن يؤخذ في الاعتبار وجود شوائب معدنية في حبيبات النانو ودورها في التأثيرات الصحية لتلك الحبيبات.

وتحتاج زيادة مخاطر الاصابة بأمراض القلب والرئتين الي وضع معايير محددة لكل من حبيبات النانو المستحدثة حيث لا توجد قاعدة عامة يمكن تطبيقها علي كل حبيبات النانو بمعنى آخر أنه يجب معاملة كل منتج جديد يحتوي حبيبات نانو بصورة مستقلة فيما يتعلق بالمخاطر الصحية. وفي هذا المجال عادة ما تثار مدي كفاءة الاختبارات الحالية التي تجري لتحديد مدي سلامة المواد من إمكانية تطبيقها للكشف عن مخاطر حبيبات النانو. فاذا ما ثبت عدم كفاءتها يقع علي الجهات الرقابية والتشريعية والصناعية عبء إستحداث إختبارات جديدة لتقييم سلامة إستخدام حبيبات النانو من المخاطر الصحية، علي أن التحدي الأكبر في هذا المجال أن تكون تلك الاختبارات سريعة وغير مكلفة دون المساس بكفاءتها ودقتها في تقييم المخاطر ويجب أن تلقي حبيبات النانو المصممة لتوصيل العقاقير في الجسم أو كمكون غذائي إهتماماً خاصاً عند تقييم مخاطرها الصحية.