

Y HỌC - DƯỢC HỌC

CÔNG NGHỆ NANO - ĐỘNG LỰC CHÍNH CỦA CUỘC CÁCH MẠNG
Y HỌC TRONG THỜI ĐẠI CÔNG NGHIỆP 4.0LƯƠNG MINH CỪ^{1*}, VŨ BÁ DŨNG¹

Tóm tắt

Cách mạng công nghiệp lần thứ tư (Công nghiệp 4.0) là động lực cho sự phát triển bền vững. Trong đó công nghệ nano sẽ được ứng dụng mạnh mẽ trong y học. Y học nano là ứng dụng công nghệ nano vào việc chăm sóc sức khỏe con người. Vật liệu ở quy mô nanomet có các đặc tính vật lý, hóa học và sinh học rất khác so với cùng vật liệu ở quy mô lớn. Công nghệ nano có thể tạo ra các công cụ và phương pháp chẩn đoán và điều trị hiệu quả. Các sản phẩm y học nano có thể được nhắm mục tiêu bởi các robot nano. Các phương pháp điều trị có độc tính cao có thể được thực hiện với độ an toàn được cải thiện bằng cách sử dụng công nghệ nano, chẳng hạn như thuốc trị ung thư hóa trị. Bài viết này thảo luận về một số các kết quả nghiên cứu ứng dụng công nghệ nano cho lĩnh vực y tế trong tương lai gần được dự đoán sẽ tạo ra một cuộc cách mạng y học trong thời đại Công nghiệp 4.0.

Từ khoá: Công nghiệp 4.0; Y học nano; Dược phẩm nano; Robot nano.

Abstract

The fourth industrial revolution (Industry 4.0) is the driving force for sustainable development. In which nanotechnology will be strongly applied in medicine. Nanomedicine is the application of nanotechnology in human health care. Materials at the nanometer scale have very different physical, chemical and biological properties than the same material at larger scales. Nanotechnology and nanomaterials can create the effective diagnostic tools and methods. Nanomedicine products can target by the nanorobots. The highly toxic treatments can be delivered with improved safety using nanotechnology, such as chemotherapy cancer drugs. This article discusses nanotechnology applications for the medical field in the future, which is a main motivation of medicine revolution in the Industry 4.0.

Keywords: Industry 4.0; Nanomedicine; Nanodrug; Nanorobot.

1. Mở Đầu

Công nghệ nano đã và đang thay đổi cuộc sống của chúng ta nhờ vào nhiều đặc

tính đặc biệt. Lợi dụng các đặc tính đặc biệt này, một loạt các ứng dụng trong nhiều ngành khác nhau đã được đề xuất, đặc biệt là các ứng dụng rất quan trọng trong y học. Công nghệ nano gồm các công nghệ mới như công nghệ nano sinh học, hạt nano hóa học, robot nano.

¹ Trường Đại học Cửu Long

* Người chịu trách nhiệm về bài viết: Lương Minh Cừ

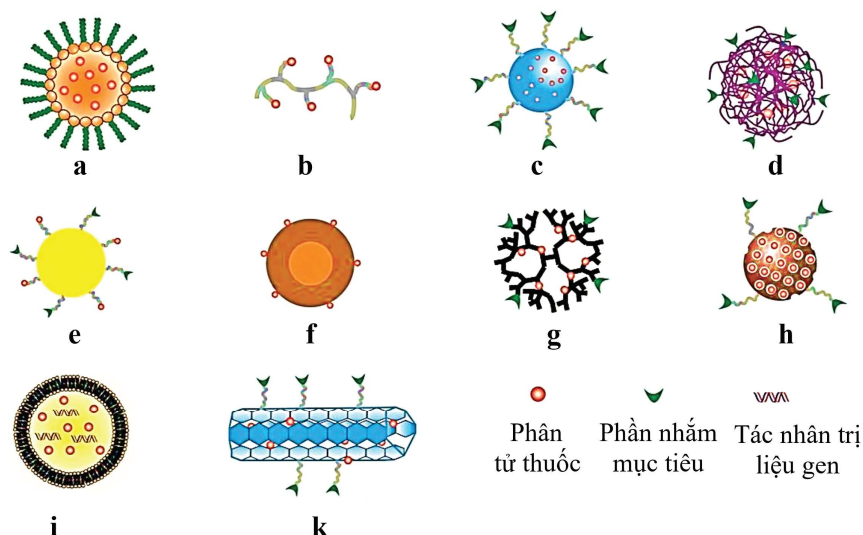
Công nghệ nano giúp cho việc tiếp cận tế bào bị bệnh nhanh chóng. Ứng dụng của công nghệ nano trong y học rất quan trọng trong việc điều trị bệnh với những lợi ích như: Xác định và chẩn đoán bệnh nhanh và chính xác; Tạo ra các dụng cụ, kỹ thuật điều trị mới; Đưa thuốc vào tận tế bào gây bệnh nhanh chóng và chính xác; Khử khuẩn và chống nhiễm trùng; Chỉnh sửa gen và tế bào bị bệnh mà không ảnh hưởng đến các tế bào lành xung quanh. Trong thế giới dược phẩm, các ứng dụng của công nghệ nano là thuốc có chứa hoạt chất có kích thước nano. Một trong những ưu điểm quan trọng nhất của quy mô nhỏ hơn kích thước hạt nhỏ (1 – 100 nm), kích thước nhỏ là cho tỷ lệ các phân tử bề mặt trên tổng số phân tử của hạt tăng. Điều đó có nghĩa là chúng có diện tích bề mặt lớn dẫn đến tăng hoạt động bề mặt và tạo ra những thay đổi về tính chất vật lý và đặc tính sinh học. Một trong các ưu điểm nổi trội của dược phẩm nano là nó có thể được phân phối có đích tới các vị trí xác định trong cơ thể bằng các phương pháp khác

nhau, trong đó có sử dụng robot nano có điều khiển và robot nano tự hành.

2. Ứng dụng công nghệ nano mang tính đột phá trong y học

2.1 Dược phẩm nano

Công nghệ nano đang phát huy tính ưu việt của nó trong y học trong đó có dược phẩm nano. Những khám phá về công nghệ nano và thuốc nano rất rộng lớn làm cho các loại dược phẩm được nâng lên một tầm cao mới trong việc chăm sóc sức khỏe con người. Các hạt nano có tỷ lệ diện tích bề mặt trên thể tích đáng kể do kích thước nano của chúng, cho phép chúng hấp thụ một lượng lớn thuốc và di chuyển nhanh chóng trong máu. Sự gia tăng diện tích bề mặt mang lại cho chúng những khả năng khác biệt vì nó làm tăng chất lượng cơ học, từ tính, quang học và xúc tác của chúng, cho phép chúng được sử dụng nhiều trong dược phẩm vì hiệu quả điều trị rất cao của dược phẩm nano [1-3].

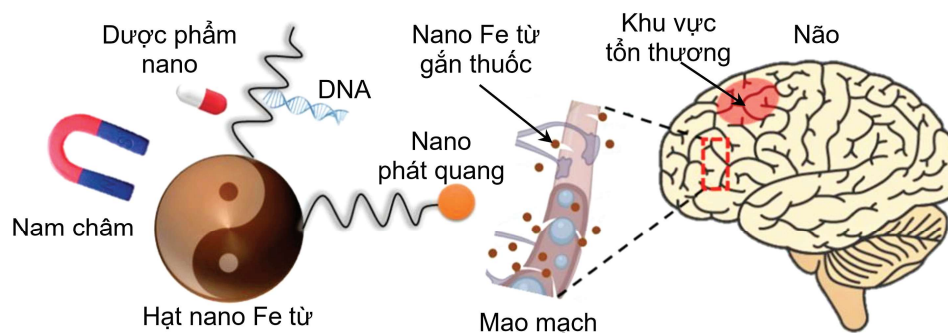


Hình 1. Sơ đồ minh họa các hệ thống dược phẩm nano tiêu biểu điều trị ung thư: a) Siêu phân tử polyme hoặc lipid, b) Liên hợp thuốc-polymer; c) Nano polymer; d) Nano protein; e) Nano vàng; f) Nano từ tính; g) Cao phân tử phân nhánh; h) Nano silica trung tính; i) Liposome; k) Ống nano cacbon.

Một số loại hạt nano có phản ứng với ánh sáng bằng cách tạo nhiệt đủ nóng để tiêu diệt các tế bào ung thư. Dược phẩm nano là loại dược phẩm thông minh là loại thuốc được giải phóng bằng cảm biến tiêu hóa, có thể được quản lý không dây và điều chỉnh để kiểm soát liều lượng thuốc tùy thuộc vào dữ liệu được thu thập trên toàn cơ thể. Sợi nano được sử dụng trong băng vết thương, vải dệt và cấy ghép phẫu thuật, công nghệ mô và các bộ phận cơ quan nhân tạo. Các loại băng thông minh bằng vật liệu nano có khả năng hấp thụ vào mô khi vết thương đã lành. Trong những loại băng thông minh này, các sợi nano có chức năng đông máu, kháng sinh và thậm chí cả cảm biến để phát hiện các triệu chứng truyền nhiễm [1-3]. Trong điều trị kháng khuẩn, hạt nano vàng và chấm lượng tử vàng có thể điều trị kháng khuẩn hiệu quả cao. Công nghệ nano y tế có thể thiết kế các phương pháp cung cấp thuốc hiệu quả hơn, như nhắm mục tiêu trực tiếp vào tế bào. Kết quả của điều trị bệnh được cải thiện và các tế bào khỏe mạnh bị tổn thương ở mức tối thiểu. Các ống nano liên kết với các kháng thể bị các khối u hấp thụ sẽ hấp thụ ánh sáng laser, có thể khiến khối u bị đốt cháy do nhiệt. [1-3].

Sự kết hợp giữa công nghệ nano và từ tính đã tạo ra một công nghệ đặc biệt, có tiềm năng ứng dụng cao trong y học được gọi là công nghệ nano từ [4-6]. Cốt lõi của công

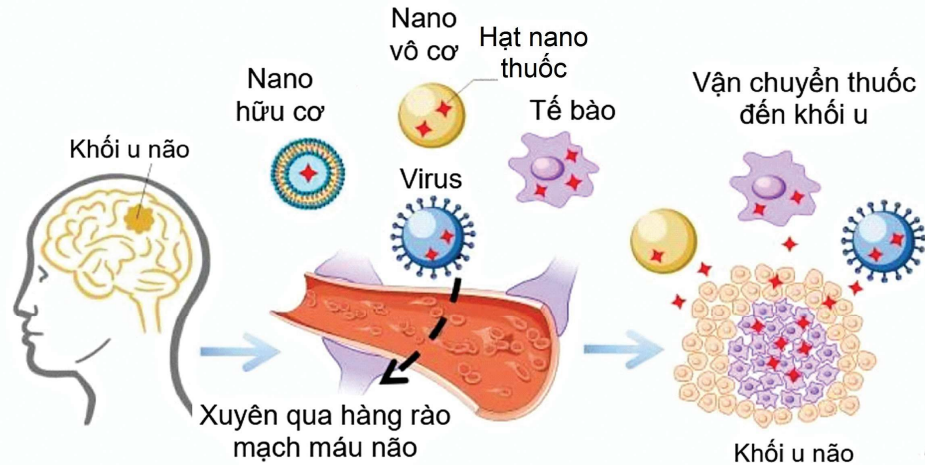
nghệ này là dung dịch nano từ. Nhờ chứa các hạt siêu nhỏ có từ tính nên có thể điều khiển dung dịch này di chuyển khắp mọi nơi bằng tác động của từ trường. Ngoài ra, các vật liệu nano từ tính thể rắn có thể tạo ra nhiệt độ cao để phá hủy các tế bào hay vật cản không mong muốn. Công nghệ nano từ ứng dụng trong lĩnh vực y tế bao gồm: gia tăng chất lượng cộng hưởng từ (MRI); nâng nhiệt cục bộ điều trị tế bào ác tính; phân phối thuốc theo mục tiêu. Các hạt nano từ oxit sắt (Fe_2O_3 và Fe_3O_4) có xu hướng tập hợp lại khi đặt trong từ trường. Trong điều trị bệnh, các hạt nano từ dẫn thuốc được tiêm vào tĩnh mạch, tuần hoàn máu sẽ vận chuyển chúng tới vùng cần điều trị, sau đó từ trường được sử dụng để định vị, tập trung và đưa các hạt vào vị trí xác định trong cơ thể, có thể ở cả những vị trí mà các bác sĩ khó tiếp cận được bằng cách thông thường như mạch máu não, trong ống thận,... để điều trị khối u, ung thư và lưu lại ở đó cho tới khi hoàn thành trị liệu rồi loại ra khỏi cơ thể. Hiệu quả từ tiêm tĩnh mạch các hạt nano từ rất cao, do khi vào cơ thể các hạt được bọc bởi protein huyết tương và chúng có thể thâm thấu từ mạch máu vào các mô và các vị trí bên trong tế bào cơ thể. Các hạt kích thước lớn 50-100 nm không di chuyển bình thường mà bám trên thành mạch huyết quản và di chuyển theo từ trường đến vị trí mong muốn.



Hình 2. Sơ đồ minh họa các hạt nano sắt từ chụp ảnh bệnh não và phân phối thuốc.

Phân phối thuốc nhắm mục tiêu vào não là một trong những lĩnh vực nghiên cứu nhiều thách thức nhất [4-6]. Một trong những lý do chính là sự hiện diện của hàng rào máu não được thiết lập bởi các tế bào nội mô vi mạch ở bề mặt tiếp xúc giữa máu và não, nó cản trở sự xâm nhập của nhiều phân tử thuốc vào não để điều trị các rối loạn hệ thần kinh trung ương khác nhau, bao gồm khối u não, bệnh Alzheimer, bệnh Parkinson, đột quỵ và các bệnh khác. Các hệ thống phân phối dựa trên hạt nano sắt từ đang được nghiên cứu rộng rãi để đưa thuốc đến não một cách hiệu quả để điều trị các rối loạn thần kinh trung ương bằng việc sử dụng các hạt nano sắt từ đưa thuốc vào não và theo dõi hiệu quả phân phối thông qua hình ảnh MRI hoặc hình ảnh hạt từ tính (hình 2). Các hạt nano sắt từ kích thước nhỏ có tính thấm thấu và lưu giữ cao, nên dễ dàng xuyên qua hàng rào mạch máu não (hình 3) [7-10].

Một phương pháp phổ biến và đáng sợ để điều trị ung thư là hóa trị, trong đó một hợp chất độc hại được sử dụng để tiêu diệt tế bào ung thư, nhưng chúng thường phá vỡ các quá trình duy trì sự sống giống nhau cần thiết cho tất cả các tế bào, không chỉ tế bào ung thư, vì hoá chất được đưa đi đến hầu hết các cơ quan trong cơ thể. Do đó, một chủ đề tích cực trong nghiên cứu liệu pháp điều trị ung thư đã tập trung vào việc nhắm mục tiêu thuốc đặc biệt vào khối u trong khi tránh các cơ quan bình thường. Trong đó phương pháp sử dụng nam châm để tập trung một loại thuốc nano có từ tính hoặc được gắn với các hạt nano từ tính, chúng được vận chuyển tập trung vào khối u đang được ưu tiên. Bằng cách này, cần một lượng thuốc độc hại thấp hơn làm cho sự lan truyền toàn thân của thuốc, tức là khả năng tiếp cận hoá chất tại các vùng khỏe mạnh khác của cơ thể bị hạn chế [7-10].



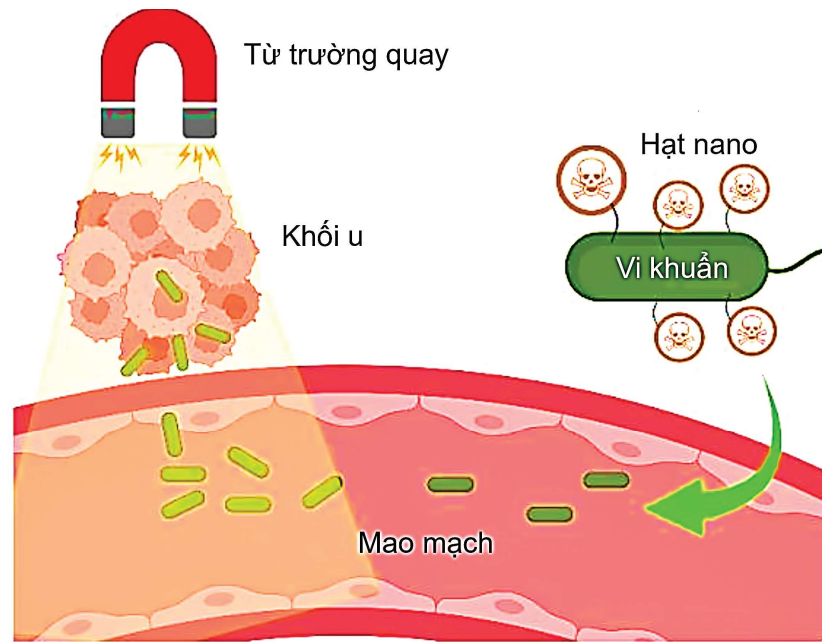
Hình 3. Sơ đồ minh họa các phân tử trị liệu vượt qua hàng rào mạch máu não nhờ các hạt nano sắt từ hoặc virus từ tính.

Một phương pháp mới là sử dụng vi khuẩn có từ tính nhờ nam châm định hướng vi khuẩn mang thuốc đến các vị trí khối u và nhờ từ trường quay mà vi khuẩn từ tính vượt qua hàng rào tế bào và xâm nhập vào khối u một cách hiệu quả (hình 4). Phân phối thuốc

nhắm mục tiêu vào não là một trong những lĩnh vực nghiên cứu nhiều thách thức nhất [4-6]. Một trong những lý do chính là sự hiện diện của hàng rào máu não được thiết lập bởi các tế bào nội mô vi mạch ở bề mặt tiếp xúc giữa máu và não, nó cản trở sự xâm nhập của

nhiều phân tử thuốc vào não để điều trị các rối loạn hệ thần kinh trung ương khác nhau, bao gồm khối u não, bệnh Alzheimer, bệnh Parkinson, đột quỵ và các bệnh khác. Các hệ thống phân phối dựa trên hạt nano sắt từ đang được nghiên cứu rộng rãi để đưa thuốc đến não một cách hiệu quả để điều trị các rối loạn

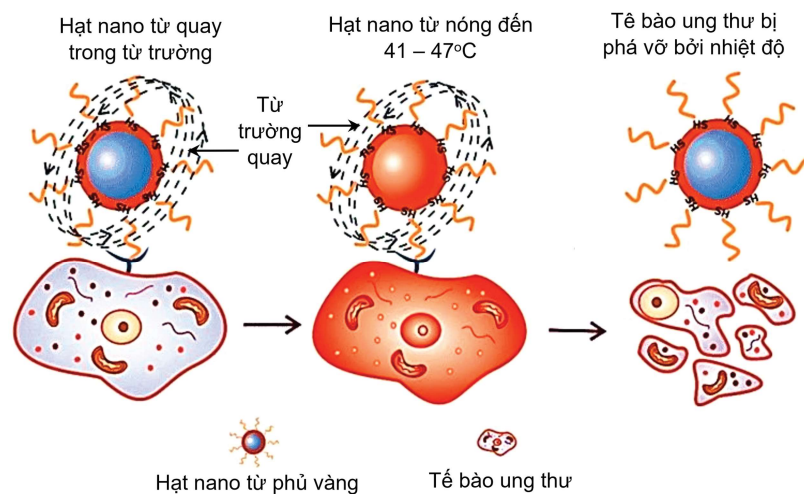
thần kinh trung ương bằng việc sử dụng các hạt nano sắt từ đưa thuốc vào não và theo dõi hiệu quả phân phối thông qua hình ảnh MRI hoặc hình ảnh hạt từ tính. Các hạt nano sắt từ kích thước nhỏ có tính thấm thấu và lưu giữ cao, nên dễ dàng xuyên qua hàng rào mạch máu não [7-10].



Hình 4. Phương pháp vận chuyển dược phẩm nano đến đích bằng vi khuẩn có từ tính.

Các hạt nano sắt từ còn được ứng dụng điều trị ung thư trực tiếp nhờ từ trường đưa chúng tích tụ tại vị trí khối u, sau đó dùng

từ trường xoay chiều làm nóng các hạt nano sắt từ lên đến nhiệt độ $42-47^{\circ}\text{C}$ để đốt chết các tế bào bị bệnh tại khối u (hình 5).

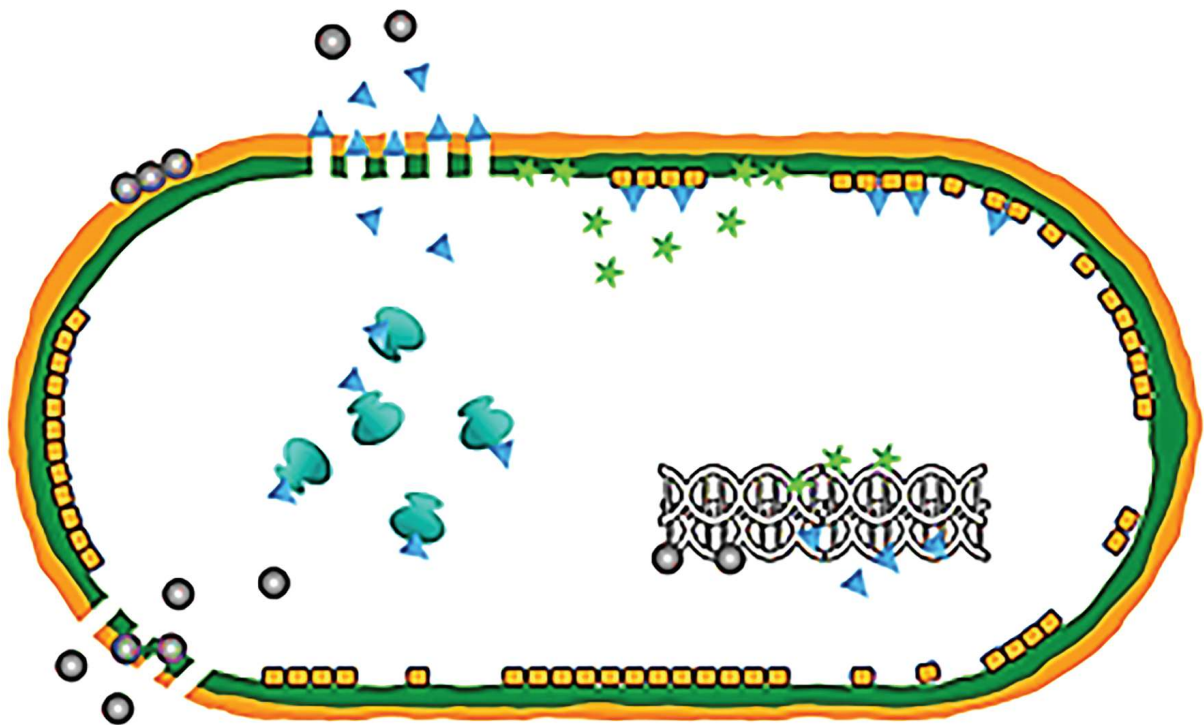


Hình 5. Liệu pháp tăng nhiệt bởi từ trường biến thiên.

Lợi ích của liệu pháp tăng nhiệt bởi từ trường so với hóa trị là nó nhắm mục tiêu đặc biệt vào khối u và không làm tổn thương các mô khỏe mạnh xung quanh, do đó có hiệu quả cao hơn so với hóa trị. Ngoài ra, các tế bào ung thư có độ nhạy cảm với nhiệt độ cao hơn các tế bào khỏe mạnh [7-10].

Một sản phẩm nano nổi bật nhất trong y học nano là nano bạc. Các hạt nano bạc thường nhỏ hơn 100 nm và chứa 20–15000 nguyên tử bạc. Ở kích thước nano, bạc có

những biểu hiện đặc biệt về vật lý, hóa học và sinh học. Do hoạt tính kháng khuẩn mạnh, lớp phủ nano bạc được sử dụng để điều trị vết thương, vết bỏng. Nano bạc có tác dụng kháng khuẩn trên cả vi khuẩn Gram âm, Gram dương và các chủng vi khuẩn kháng sinh phổ biến như: *Staphylococcus aureus* (tụ cầu vàng), *Streptococcus*, *E. Coli*, *Coliform*, *P. aeruginosa*, *Ac. baumannii*, *Vibrio cholerae* (phẩy khuẩn tả), *Enterococcus faecalis* (khuẩn liên cầu), *N. gonorrhoeae* (lậu cầu) [11, 12].

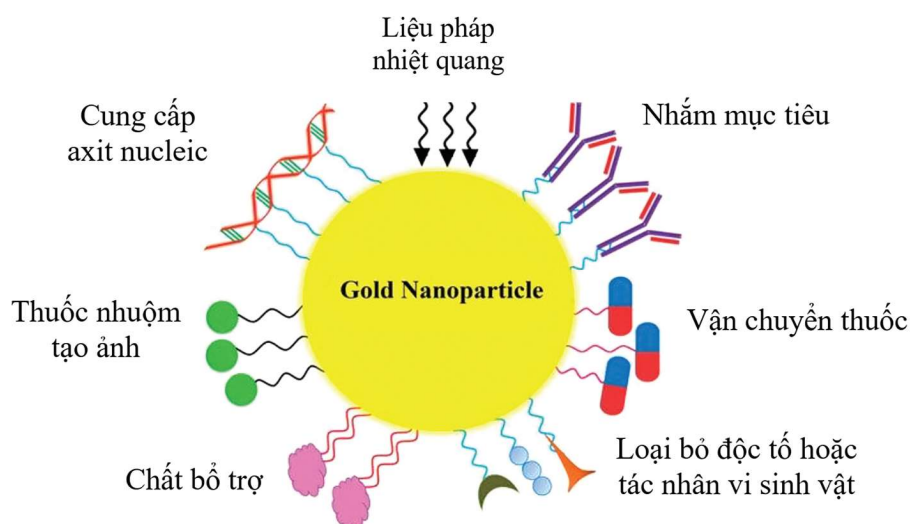


Hình 6. Cơ chế kháng khuẩn của nano bạc: Tác dụng kháng khuẩn của hạt nano bạc (AgNP).

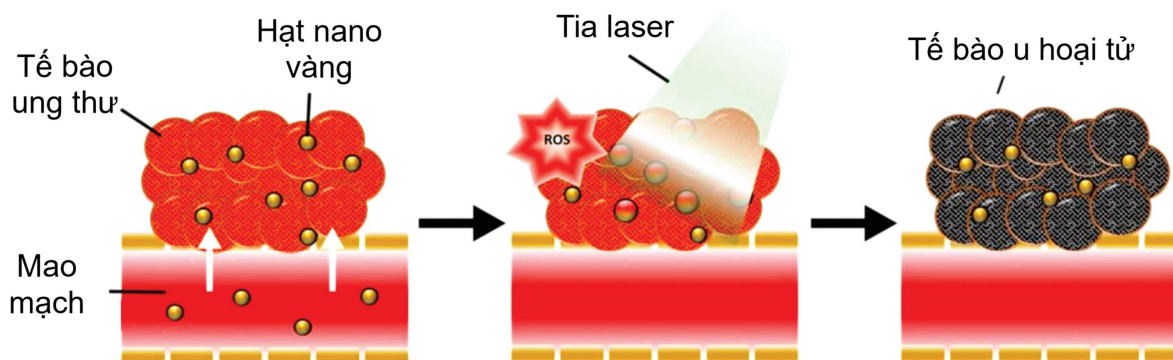
1) Phá vỡ thành tế bào và màng tế bào chất: các ion bạc (Ag^+) do hạt nano bạc giải phóng bám vào hoặc xuyên qua thành tế bào và màng tế bào chất. 2) Biến tính ribosome: ion bạc làm biến tính ribosome và ức chế tổng hợp protein. 3) Gián đoạn sản xuất adenosine triphosphate (ATP): Việc sản xuất ATP (có tác dụng vận chuyển năng lượng cho tế bào) bị chấm dứt do các ion bạc vô hiệu hóa enzyme hô hấp trên màng tế bào chất. 4) Sự phá vỡ màng do các loại oxy phản ứng: các loại oxy phản ứng được tạo ra bởi chuỗi vận chuyển điện tử bị đứt gãy có thể gây ra sự phá vỡ màng. 5) Sự can thiệp của sao chép của DNA: các loại bạc và oxy phản ứng liên kết với axit deoxyribonucleic và ngăn chặn sự sao chép và nhân lên của tế bào. 6) Biến tính màng: các hạt nano bạc tích tụ trong các hố của thành tế bào và gây biến tính màng. 7) Thủng màng: các hạt nano bạc di chuyển trực tiếp qua màng tế bào, giải phóng các bào quan ra khỏi tế bào.

Hiệu quả của các hạt nano bạc phụ thuộc vào nồng độ và kích thước của chúng. Nồng độ cao có hiệu quả tốt hơn. Hạt có kích thước nhỏ có thể diệt khuẩn ở nồng độ thấp. Các hạt nano bạc bám và thâm nhập vào thành tế bào vi khuẩn, làm thay đổi cấu trúc màng của chúng. Nano bạc là một chất chống nấm hiệu quả. Nó có tác dụng trên nhiều loại nấm như *Candida albicans*, *Candida glabrata*, *Trichophyton mentagrophytes*, *Aspergillus*,

Saccharomyces... Cơ chế chống nấm được lý giải do chúng có thể phá vỡ màng tế bào và ức chế quá trình nảy chồi. Tại nồng độ 0,1mg/lít (tương đương 0,1ppm) nano bạc có khả năng kháng nấm. Với mật độ 105 tb/lít nấm *Candida albicans* bị vô hiệu hóa hoàn toàn sau 30 phút tiếp xúc. Nano bạc cũng là một chất có khả năng chống virus HIV- 1, virus viêm gan B, virus hợp bào hô hấp, virus herpes simplex, virus đậu mùa.



Hình 7. Một số ứng dụng nano vàng trong y tế: liệu pháp nhiệt quang, nhắm mục tiêu, vận chuyển thuốc, loại bỏ độc tố hoặc tác nhân vi sinh, làm chất hỗ trợ, nhuộm màu trong chẩn đoán hình ảnh, phân phối DNA.



Hình 8. Sơ đồ Phương pháp trị liệu nhiệt quang bằng nano vàng: Một lượng lớn các hạt nano vàng tích tụ do mạch máu bị rò rỉ của khối u, dẫn đến hiệu ứng quang nhiệt để phản ứng với ánh sáng cận hồng ngoại (NIR) và các loại oxy phản ứng (ROS) được tạo ra bởi chất cảm quang thứ cấp (PS), cuối cùng gây ra hoại tử mô khối u.

Cơ chế tác dụng trên virus nhờ khả năng ức chế các giai đoạn phát triển của tế bào virus. Nano bạc được coi là một tác nhân phổ rộng chống lại nhiều chủng virus và không gây đề kháng. Nano bạc được ứng dụng nhiều trong chẩn đoán các bệnh liên quan đến tim mạch và ung thư. Nano bạc giúp xác định sớm đặc điểm của xơ vữa động mạch và bệnh lý tim mạch ở cấp độ phân tử và cấp độ tế bào. Nano bạc trong y tế còn được ứng dụng trong: Khử trùng dụng cụ, buồng bệnh; Chăm sóc vết thương; Phòng ngừa lây lan dịch bệnh; Cấy ghép tim mạch (làm tim giả bằng silicon phủ nano bạc); Điều trị nha khoa [11, 12].

Nano vàng tùy vào kích thước, hình dạng mà chúng được dùng vào các mục đích khác nhau. Các hạt nano vàng được sử dụng trong y tế gồm: liệu pháp quang nhiệt, nhắm mục tiêu, phân phối thuốc, nhuộm màu tạo ảnh, phân phối axit nucleic, loại bỏ độc tố và tác nhân vi khuẩn và làm chất hỗ trợ (hình 7) [13-15].

2.2 Chẩn đoán nano

Các tác nhân chẩn đoán hoặc điều trị đã được thiết kế có sự hỗ trợ vật liệu nano có thể vượt qua các rào cản sinh học để tiếp cận các phân tử, điều chỉnh các tương tác phân tử và theo dõi những thay đổi trong môi trường vi mô [16]. Vật liệu nano có thể được chế tạo thành nhiều hình dạng, kích thước, thành phần, đặc tính hóa học bề mặt và cấu trúc rỗng hoặc đặc khác nhau dựa trên các đặc tính quang học, điện tử, từ tính và sinh học có thể điều chỉnh được của chúng [17]. Những đặc tính này sẽ giúp vật liệu nano có đủ điều kiện để có những ứng dụng quan trọng trong chẩn đoán y khoa [18, 19]. Chẩn đoán phân tử là một phần thiết yếu trong sự phát triển của y học, trong đó rất phù hợp với chẩn đoán tại điểm chăm sóc. Trong loại chẩn đoán này, đầu dò kích thước nano phù hợp để có thể phân tích chi tiết các thành phần của tế bào sống. Để chẩn đoán và

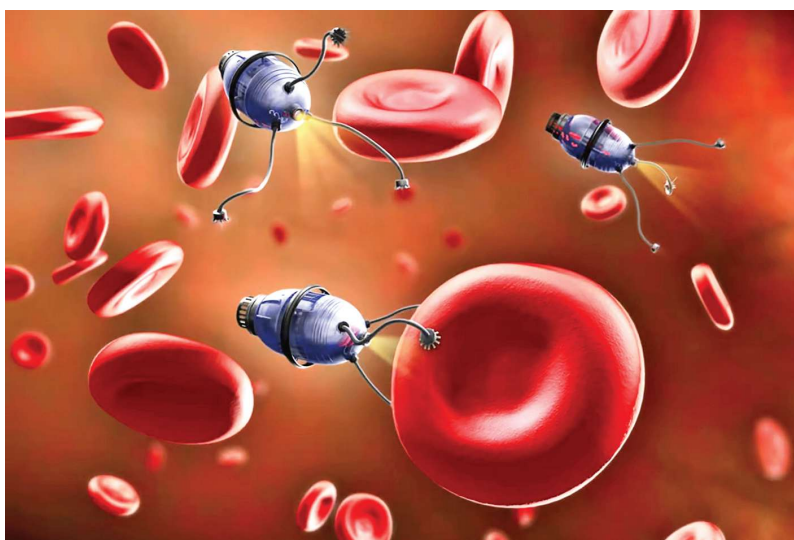
điều trị kết hợp, thiết bị nano có thể được cấy ghép như một biện pháp phòng ngừa và dự phòng trong chẩn đoán bệnh sớm. Ưu điểm của việc áp dụng công nghệ nano trong chẩn đoán phân tử là: chỉ cần một lượng nhỏ vật liệu mẫu nhưng nhanh hơn và nhạy hơn. Một số hạt nano đã được sử dụng để chẩn đoán bệnh ở cấp độ phân tử. Trong số này, được sử dụng thường xuyên nhất là các chấm lượng tử QD (Quantum Dots). Tinh thể vô cơ CdSe (gồm 200-10000 nguyên tử cadmium selenide), được phủ ZnS (kẽm sunfua) là một QD phát huỳnh quang khi được chiếu bằng ánh sáng năng lượng thấp. Kích thước của các QD quyết định bước sóng (màu sắc) ánh sáng phát ra. QD có ứng dụng cho chẩn đoán và xác định kiểu gen. Các ứng dụng tiềm năng quan trọng của QD là chẩn đoán ung thư [20-22]. Trong chẩn đoán nano, các hạt nano sẽ cần phải được lai dắt bởi các tác nhân khác, một trong các tác nhân đó là các động robot nano hoặc các động cơ phân tử. Các hạt nano phát huỳnh quang hoặc các hạt thuốc nano có thể được chế tạo, điều khiển để trở thành các động cơ nano tự hành, tự nó di chuyển đến các địa điểm xác định trong cơ thể, để chẩn đoán hoặc điều trị bệnh [23, 24].

2.3 Nano robot y học

Robot nano y sinh là những thiết bị thu nhỏ và chuyên môn cao có khả năng thực hiện các nhiệm vụ chính xác trong cơ thể con người. Các robot nano có thể được ứng dụng làm phương tiện vận chuyển thuốc có lực đẩy riêng, có khả năng kiểm soát điều hướng, vận chuyển thuốc một cách chính xác, xuyên qua các mô và giải phóng thuốc tại điểm đến được chỉ định. Ứng dụng robot nano trong phẫu thuật đã cho phép các bác sĩ giảm mức độ xâm lấn của các thủ thuật thông thường đồng thời duy trì độ chính xác, tính linh hoạt và khả năng kiểm soát cao nhất quán trong suốt quá trình phẫu thuật. Robot nano đã chứng tỏ khả năng

thực hiện chẩn đoán bệnh chính xác bằng cách phân lập và phát hiện nhiều mục tiêu sinh học, từ protein đến axit nucleic và tế bào ung thư. Có thể chế tạo ra các robot nano chuyên dụng có thể xâm nhập trực tiếp vào máu (hình 9). Sau khi xuất hiện trong máu, những nanobot này có thể xác minh nồng độ của thành phần trong máu và thông báo cho các nhà cung cấp

dịch vụ chăm sóc sức khỏe về bất kỳ bệnh nào có thể xảy ra. Loại công nghệ này có tiềm năng đặc biệt dành cho bệnh nhân tiểu đường vì những thiết bị robot nano này có thể được sử dụng để theo dõi lượng đường trong máu và cho biết khi nào mức đường trở nên thấp hoặc cao đến mức nguy hiểm đối với những bệnh nhân.



Hình 9. Các robot nano có thể được thiết kế để có khả năng di chuyển trong chất lỏng cơ thể một cách tương đối dễ dàng để làm nhiệm vụ chẩn đoán và điều trị bệnh đúng vị trí.

3. Kết luận

Trong thời đại Công nghiệp 4.0, một cuộc cách mạng chăm sóc sức khỏe được thúc đẩy bởi công nghệ nano. Công nghệ nano giúp giải quyết vấn đề quản lý điều trị tập trung, giảm nguy cơ tác dụng phụ và tối đa hóa hiệu quả điều trị, trong đó có điều trị ung thư bằng liệu pháp gen. Trong y học nano có một ứng dụng hứa hẹn nhất là robot nano. Các ứng dụng của robot nano bao gồm một số lĩnh vực, chẳng hạn như tạo ra vắc xin, phân phối thuốc, thiết bị đeo, thiết bị chẩn đoán và hình ảnh cũng như các sản phẩm kháng khuẩn. Công nghệ nano là động lực chính cho sự phát triển các loại thuốc hiệu quả hơn và cải tiến các thiết bị để phát hiện sớm các bệnh khác nhau. Vật liệu

nano trong đó có nano từ tính, nano bạc, nano vàng đóng vai trò chủ chốt phát triển các loại được nano hiệu quả điều trị cao. Công nghệ nano là một trong những động lực chính cho một cuộc cách mạng y khoa trong thời đại Công nghiệp 4.0.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] A.Haleem, M. Javaid, R Pratap Singh, S. Rab, R. Suman (2023), Applications of nanotechnology in medical field: a brief review, *Global Health Journal* 7 (2), pp. 70-77.
- [2] S. Malik, K. Muhammad and Y. Waheed (2023), Emerging Applications of Nanotechnology in Healthcare and Medicine, *Molecules* 28 (18), p. 6624.

- [3] H. Ibrahim (2020), Nanotechnology and Its Applications to Medicine: an overview, *QJM: An International Journal of Medicine*.
- [4] L.L. Israel, A. Galstyan, E. Holler, J.Y. Ljubimova (2020), Magnetic Iron Oxide Nanoparticles for Imaging, Targeting and Treatment of Primary and Metastatic Tumors of the Brain, *J. Control Release* **320**, pp. 45-62.
- [5] R.R. Qiao, C.H. Yang, M.Y. Gao (2009), Superparamagnetic Iron Oxide Nanoparticles: From Preparations to in vivo MRI Applications, *J. Mater. Chem.* **19**, pp. 9286–9286.
- [6] M. Jeon, M.V. Halbert, Z.R. Stephen, M. Zhang (2021), Iron Oxide Nanoparticles as T1 Contrast Agents for Magnetic Resonance Imaging: Fundamentals, Challenges, Applications, and Prospectives, *Adv. Mater.* **33**, p. 1906539.
- [7] A.G. Roca, R. Costo, A.F. Rebolledo, S. Veintemillas-Verdaguer, P. Tartaj, T. Gonzalez-Carreno, M.P. Morales, C.J. Serna (2009), Progress in the Preparation of Magnetic Nanoparticles for Applications in Biomedicine, *J. Phys D Appl Phys* **42**, p. 224002.
- [8] H. Wei, et. Al. (2017), Exceedingly Small Iron Oxide Nanoparticles as Positive MRI Contrast agents, *PNAS* **114** (9), pp. 2325-2330.
- [9] H.E. Daldrup-Link (2017), Ten Things You Might Not Know about Iron Oxide, *Nanoparticles Radiology* **284**, pp. 616-629.
- [10] B. Wilson (2019), Drug Targeting Strategies into the Brain for Treating Neurological Diseases, *J. Neurosci Meth* **311**, pp. 133-146.
- [11] V. P. Sameena, J. E. Thoppil (2022), Green synthesis of silver nanoparticles from Euphorbia and its biological activities, *Nanotechnology for Environmental Engineering* **7**(1), pp. 277-392.
- [12] I. X. Yin, J. Zhang, I. S. Zhao, M. L. Mei, Q. Li, C. H. Chu (2020), The Antibacterial Mechanism of Silver Nanoparticles and Its Application in Dentistry, *International Journal of Nanomedicine*, pp. 2555–2562.
- [13] Z. Yang, H. Liu, M. Hao, S. Kan, D. Liu, W. Liu (2022), The Applications of Gold Nanoparticles in the Diagnosis and Treatment of Gastrointestinal Cancer, *Sec. Cancer Genetics* **11**, <https://doi.org/10.3389/fonc.2021.819329>.
- [14] S. Bagheri, M. Yasemi, E. Safaie-qamsari, J. Rashidani (2018), Using gold nanoparticles in diagnosis and treatment of melanoma cancer, *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology* **46**(1), pp.1-10.
- [15] J. Milan, K. Niemczyk and M. Kus-Liśkiewicz (2022), Treasure on the Earth-Gold Nanoparticles and Their Biomedical Applications, *Materials* **15**(9), p.3355.
- [16] M. Chakravarty, A. Vora (2021), Nanotechnology-based antiviral therapeutics, *Drug Deliv. Transl. Res.* **11**, pp. 748–787.
- [17] E. Fattal, F. Fay (2021), Nanomedicine-based delivery strategies for nucleic acid gene inhibitors in inflammatory diseases, *Adv. Drug Deliv. Rev.* **175**, p. 113809.
- [18] M. Singh (2018), Application of Metallic Nanomaterials in Nanomedicine, *Adv. Exp. Med. Biol.* **1052**, pp.83–102.

- [19] M. Zhou, Y. Zhou, Y. Cheng, Y. Wu, J. Yang, Z. Lv (2020), Application of Gold-Based Nanomaterials in Tumor Photothermal Therapy and Chemotherapy. *J. Biomed. Nanotechnol.* **16**, pp. 739–762.
- [20] T. Kubik, K. Kubik and M. Sugisaka (2005), *Cur. Pharma. Biotechnol.* **6**, pp. 17-33.
- [21] S. Rosenthal (2001), Bar-coding biomolecules with fluorescent nanocrystals, *Nat. Biotechnol.* **19**, pp.621-622.
- [22] M. Han, X. Gao and J.Z. Su (2001), Nanotechnology on Duty in Medical Applications, *Nat. Biotechnol.* **19**, pp.631- 635.
- [23] H. Jiang, N. Yoshinaga, M. Sano (2010), Active motion of a Janus particle by self-thermophoresis in a defocused laser beam, *Physics Review Letters* **105**, p. 268302.
- [24] M. Yang, M. Ripoll (2014), A self-propelled thermophoretic microgear, *Soft Matter* **10**, p.1006.