

SỰ KHÁC BIỆT GIỮA HAI CƠ CHẾ TẠO ẢNH X-QUANG VÀ ẢNH CỘNG HƯỞNG TỪ HẠT NHÂN TRONG CHẨN ĐOÁN HÌNH ẢNH

VŨ BÁ DŨNG^{1*}, ĐỖ KIÊN CƯỜNG¹,
DƯƠNG CÔNG KIÊN¹, NGUYỄN THANH DŨNG¹

Tóm tắt

Chụp X-quang và chụp cắt lớp vi tính đều sử dụng một lượng nhỏ bức xạ X từ bên ngoài để tạo ra hình ảnh. Chụp cộng hưởng từ hạt nhân (NMR) không hoạt động theo cách này mà thực hiện theo cách khác hẳn, đó là: các hạt nhân của các nguyên tử trong mẫu chất tự nó phát ra sóng điện từ để tạo ra hình ảnh. Do đó, có sự khác biệt cơ bản giữa ảnh X-quang và ảnh NMR là: quan sát ảnh X-quang chỉ nhìn bóng của vật, còn quan sát ảnh NMR là nhìn trực tiếp vào vật. Ngoài ra, vì ảnh NMR được tạo ra từ các tia bức xạ huỳnh quang của hạt nhân nguyên tử trong mẫu vật (tổ chức cơ thể), với những tia bức xạ đặc trưng riêng cho các nguyên tử đó và mối liên kết giữa chúng với các nguyên tử khác. Vì vậy, phương pháp NMR không những cho biết thông tin về cấu trúc mà còn cho biết cả thành phần của mẫu vật ở cấp độ phân tử. Trong báo cáo này, các tác giả phân tích cơ chế tạo ảnh để làm rõ sự khác biệt giữa ảnh X-quang và ảnh NMR.

Từ khoá: X-quang; Cộng hưởng từ hạt nhân; NMR; Mômen từ hạt nhân.

Abstract

X-rays and CT Scanner both use a small dose of X- radiation to produce images. The nuclear magnetic resonance (NMR) doesn't work this way. It emits itself the radio waves and create the images. Therefore, the difference between X-ray image and nuclear magnetic resonance image is observing the X-ray image is seeing the shadow of the object, while observing the NMR image is seeing the object. In addition, because NMR images are created from fluorescence radiation of nucleus with characteristic specific for atoms and their chemical bonds with other atoms. Therefore, the NMR shows not only the structure but also the composition of the sample at the molecular scale. In this report, the authors analyze the imaging mechanism to clarify the difference between X-ray images and NMR images.

Keywords: X-ray; Nuclear magnetic resonance; NMR, Nuclear magnetic moment.

¹ Trường Đại học Cửu Long

* Người chịu trách nhiệm về bài viết: Vũ Bá Dũng (Email: vubazung305@gmail.com)

1. Mở đầu

Chụp X-quang (X-ray) và chụp cộng hưởng từ hạt nhân (NMR), thường gọi là cộng hưởng từ (MRI) cùng là hình thức tạo ảnh các tổ chức, cơ quan trong cơ thể bằng bức xạ điện từ (sóng điện từ). Nhưng sự khác biệt rất cơ bản về bản chất của tạo ảnh đã làm cho ảnh của hai phương pháp là khác nhau. Một cách hình ảnh có thể ví ảnh X-quang là chỉ cho ta thấy bóng của vật, còn ảnh NMR thì cho ta thấy được hình của vật (hình 1). Dựa

trên các quy luật vật lý về bức xạ và tạo ảnh, những khác biệt cơ bản ảnh của hai phương pháp X-quang và phương pháp NMR sẽ được phân tích làm rõ trong nội dung bài báo này. Hơn nữa, bài báo còn chỉ rõ: ảnh NMR được tạo ra từ các tia bức xạ huỳnh quang của hạt nhân nguyên tử của mẫu vật (tổ chức trong cơ thể), với những tia bức xạ đặc trưng riêng cho các nguyên tử đó và mối liên kết của chúng với các nguyên tử khác. Vì vậy, phương pháp NMR không những cho biết cấu trúc mà còn cho biết cả thành phần của mẫu vật.



a)



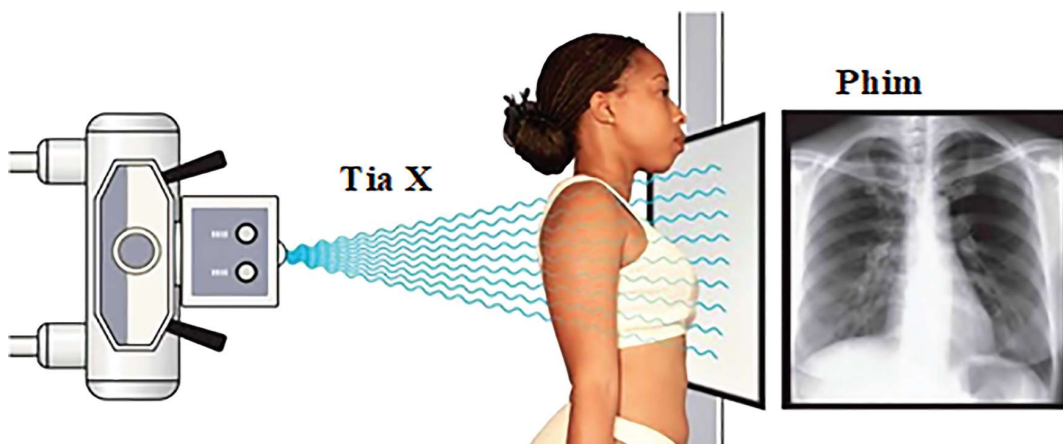
b)

Hình 1. a) Ảnh chụp ngược sáng (bóng) và b) Ảnh chụp xuôi sáng (hình) của một con báo.

Vì được tạo ra từ các tia bức xạ được phát ra từ trong hạt nhân của các nguyên tử của mẫu vật, nên ảnh NMR cho phép xác định được cấu trúc và phát hiện ra các khiếm khuyết ở cấp độ phân tử.

1. Nguyên tắc tạo ảnh chụp X-quang (X-ray)

Chùm tia X sau khi truyền qua vùng thăm khám của cơ thể thì suy giảm do bị hấp thụ bởi các cấu trúc (hình 2). Sự suy giảm này phụ thuộc vào thành phần, độ dày, mật độ của các cấu trúc của cơ quan mà nó đi qua.



Hình 2. Chụp ảnh X - quang một phương pháp chẩn đoán hình ảnh trong y học.

Cụ thể là: chiếu vào bộ phận cơ thể từ phía ngoài cơ thể một chùm tia X, bao gồm các tia sóng điện từ có bước sóng rất ngắn (10^{-11} m đến 10^{-8} m) với cường độ các tia gần như bằng nhau. Mỗi tia sẽ đi qua các điểm khác nhau dọc theo một đường thẳng trong trong cơ thể (hình 1). Các tia X bị hấp thụ, phản xạ và tán xạ (tại các tổ chức cơ thể nó đi qua) trước khi đến phim. Tùy theo cường độ tia X còn lại khi

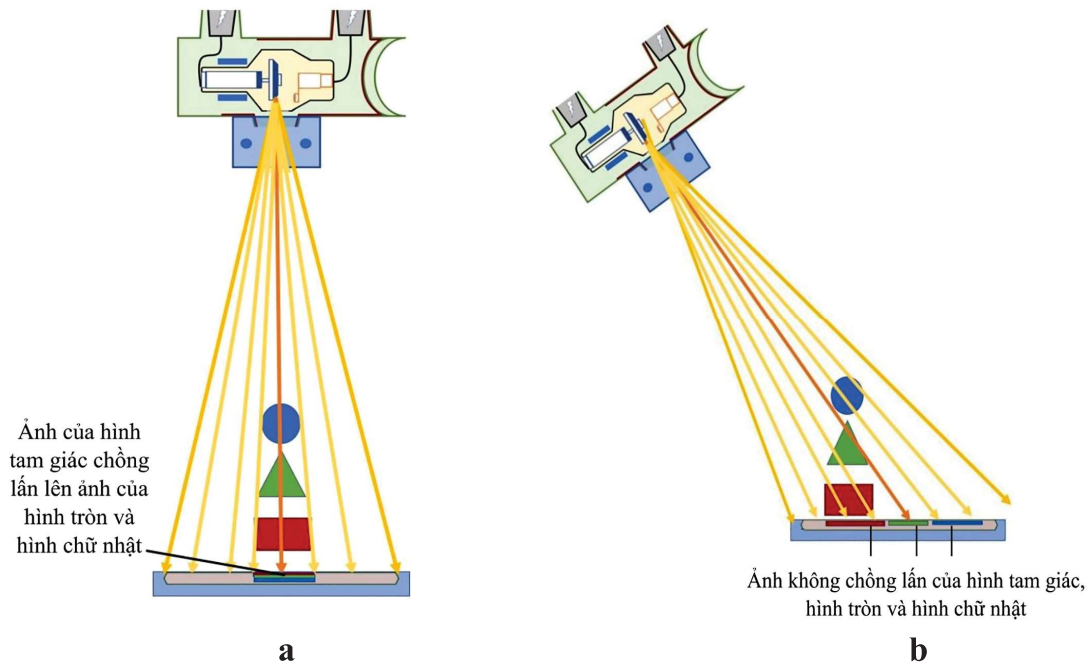
đến phim, hình ảnh thu được có trạng thái từ trắng sáng đến đen sẫm với hàng trăm sắc thái xám trung gian. Những bộ phận có mật độ dày, đặc như xương sẽ hiện lên màu trắng trên tấm phim X-quang. Các bộ phận rỗng hoặc chứa đầy không khí không cản trở tia X nên sẽ có màu đen. Trong khi đó, cơ bắp và chất béo xuất hiện trên kết quả chụp có màu xám (hình 2).



Hình 2. Ảnh chụp lồng ngực bằng máy chụp X - quang.

Ảnh X-quang chỉ có thể phát hiện ra được một số tổn thương cơ bản để nhận định phương pháp kỹ thuật thăm khám tiếp theo. Vì ảnh X-quang thông thường không hiển thị tốt hình ảnh (không chi tiết, không rõ nét) các mô và cơ quan, cần sử dụng chất cản quang khi muốn chụp mạch máu, đường tiêu hóa, buồng tử cung - vòi trứng. Lý do dẫn đến sự hạn chế ảnh chụp X-quang là do sự chồng chất ảnh của các tổ chức nằm trên cùng một đường đi của tia X (hình 3a). Hạn chế này có thể được khắc phục bởi phương pháp chụp ảnh cắt lớp vi tính (CT Scanner) (hình 4b). Đây là kỹ thuật chẩn đoán hình ảnh sử dụng tia X và máy tính để tạo ra hình ảnh lát cắt ngang các vị trí trong cơ thể. Hình ảnh đã hạn chế

sự chồng chất, làm cho ảnh chi tiết và sắc nét hơn các phương pháp siêu âm hay X-quang thông thường. Tuy nhiên, ảnh vi tính cắt lớp vẫn được tạo ra bởi các bức xạ từ ngoài chiếu xuyên qua cơ thể và sự chồng lấn ảnh không thể loại trừ triệt để, nên một số tổn thương có kích thước nhỏ hoặc các tổn thương ở vị trí khuất khó thấy rõ trên hình ảnh chụp cắt lớp vi tính. Như vậy, dù là chụp X-quang thông thường hay chụp cắt lớp vi tính thì ảnh của các tổ chức được tạo ra bởi các tia bức xạ (tia X) từ ngoài chiếu xuyên qua cơ thể, nên ta chỉ thấy được cái bóng có sự chồng lấn của các tổ chức cơ thể ở trên phim. Hạn chế này sẽ được khắc phục tốt trong phương pháp chụp cộng hưởng từ hạt nhân.



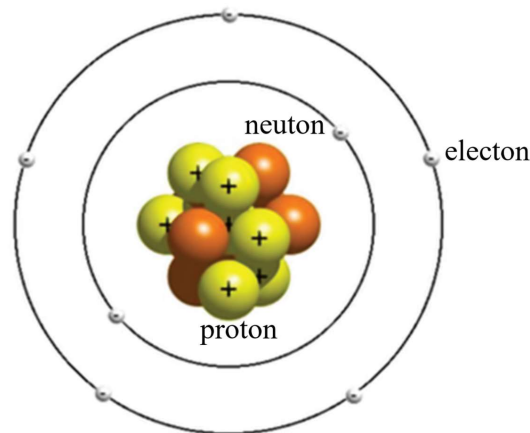
Hình 3. a) Sự chồng lấn của ảnh chụp X - quang và b) Chụp CT Scanner khắc phục tốt hiện tượng chồng lấn ảnh.

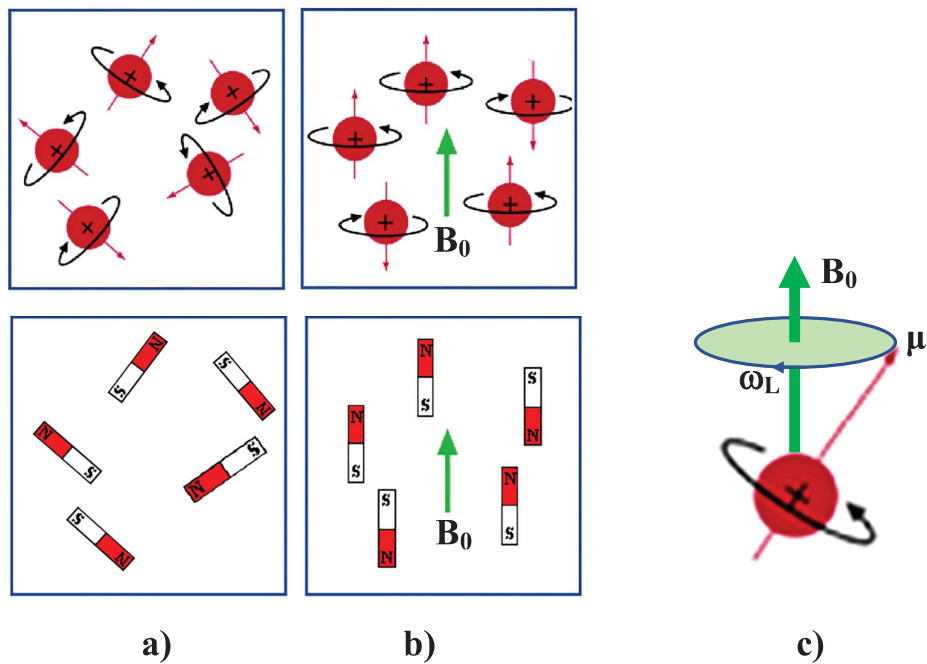
2. Hiện tượng cộng hưởng từ hạt nhân (NMR)

Hạt nhân nguyên tử được cấu tạo bởi hai loại hạt là: proton và neutron. Hạt proton có điện tích dương (kí hiệu là p^+) và hạt neutron trung hoà (kí hiệu là n^0) (hình 4). Giống như các hạt điện tử (electron), các hạt proton và neutron (gọi chung là nucleon) đều có một từ trường nhỏ. Chuyển động của các hạt proton và neutron bên trong hạt nhân (gọi là chuyển động nội tại) được đặc trưng bởi đại lượng vật lý gọi là mô men động lượng hạt nhân (còn gọi

là spin hạt nhân) ký hiệu là I . Đối các hạt nhân có số khối lượng A lẻ thì I bán nguyên ($1/2, 3/2 \dots$), như $^1_1\text{H}^1$ ($A = 1$), $^{13}_6\text{C}^{13}$ ($A = 13$), $^{19}_9\text{F}^{19}$ ($A = 19$) và $^{31}_{15}\text{P}^{31}$ ($A = 31$) có spin hạt nhân $I = 1/2$. Các hạt nhân có A chẵn thì I nhận các giá trị nguyên ($0, 1, 2 \dots$) như $^{12}_6\text{C}^{12}$ ($A = 12$) và $^{16}_8\text{O}^{16}$ ($A = 16$) có $I = 0$. Chuyển động nội tại của hạt nhân còn tạo một từ trường, làm cho hạt nhân giống như một thanh nam châm nhỏ (hình 5a), đặc trưng cho từ trường của hạt nhân là mô men từ hạt nhân μ có độ lớn tỷ lệ thuận với spin I .

Hình 4. Các hạt proton (điện dương) và các hạt neutron (trung hoà) trong hạt nhân.





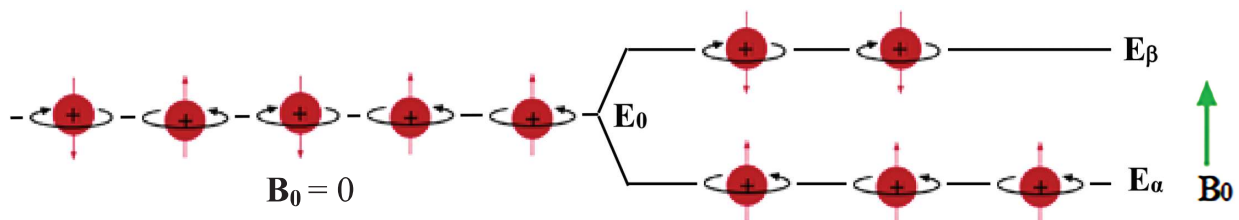
Hình 5. a) Sự sắp xếp hỗn loạn của các mô men từ hạt nhân khi không có từ trường ngoài B_0 . b) Sự sắp xếp các mô men từ hạt nhân khi có từ trường ngoài B_0 đặt vào. c) Chuyển động đảo quanh trục của mômen từ μ với tần số Larmor ω_L .

Đối các hạt nhân có số khối lượng A lẻ như ${}^1\text{H}^1$, ${}^{13}\text{C}^{13}$, ${}^9\text{F}^{19}$ và ${}^{15}\text{P}^{31}$ là các hạt nhân có từ tính (giống như 1 thanh nam châm) được sử dụng trong kỹ thuật NMR. Những hạt nhân có số nucleon chẵn (${}^{12}\text{C}^{12}$ và ${}^{16}\text{O}^{16}$) có mômen từ bằng không ($\mu = 0$) không có từ tính, nên không thể sử dụng trong kỹ thuật NMR. Hạt nhân nguyên tử hydro là lựa chọn số một cho kỹ thuật NMR. Vì nó có chứa 1 proton là hạt nhân có rất nhiều trong cơ thể con người và có mômen từ μ lớn nhất (thứ nhì là ${}^9\text{F}^{19}$). Trong

điều kiện bình thường, các hạt nhân sắp xếp một cách ngẫu nhiên, hỗn độn (hình 5a), nên mômen từ μ của chúng triệt tiêu lẫn nhau, do đó từ trường của các mẫu vật luôn bằng không.

$$\mu = g \frac{e}{2m_p} I \quad (1)$$

ở đây g là hệ số từ Larmor, $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; m_p là khối lượng hạt proton. Như vậy đối với các hạt nhân có số nucleon lẻ (${}^1\text{H}^1$, ${}^{13}\text{C}^{13}$, ${}^9\text{F}^{19}$ và ${}^{15}\text{P}^{31}$) thì mômen từ khác không ($\mu \neq 0$).



Hình 6. Khi đặt trong từ trường ngoài B_0 , các hạt nhân tách thành hai nhóm có năng lượng khác nhau E_α và E_β với ($E_\alpha > E_\beta$).

Khi ở vào trong một từ trường ngoài B_0 , các mômen từ μ sắp xếp song song cùng hướng hoặc song song ngược hướng của từ

trường ngoài B_0 (hình 5b). Các mômen từ μ cùng chiều nhiều hơn các mômen từ μ ngược chiều. Ngoài ra các mômen từ μ còn chuyển

động đảo (chuyển động tuế sai) quanh trục của từ trường \mathbf{B}_0 (hình 5c) với tần số Larmor (tần số cộng hưởng) ω_L tỷ lệ thuận với \mathbf{B}_0 :

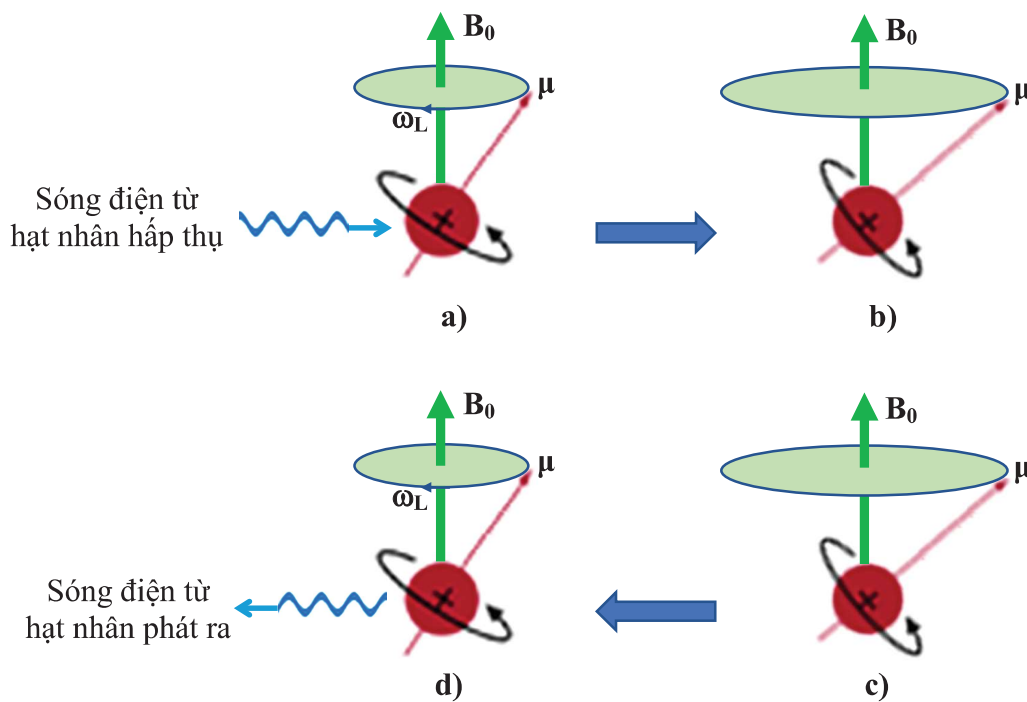
$$\omega_L = gB_0 \quad (2)$$

Khi chưa có từ trường ngoài các hạt nhân đều có năng lượng như nhau là E_0 . Nhưng khi đặt vào trong từ trường \mathbf{B}_0 , do tương tác giữa mô men từ μ với từ trường ngoài \mathbf{B}_0 , các hạt nhân bị tách ra làm hai nhóm có năng lượng E_α và E_β khác nhau (hình 6):

$$E_\alpha = -\frac{h}{4\pi} gB_0 \quad (3)$$

$$E_\beta = +\frac{h}{4\pi} gB_0 \quad (4)$$

Trong đó các hạt nhân năng lượng thấp E_α chính là các hạt nhân có mô men từ μ cùng chiều \mathbf{B}_0 và các hạt nhân năng lượng cao E_β là các hạt nhân có mô men từ μ ngược chiều với \mathbf{B}_0 (hình 6). Lúc này nếu chiếu vào các hạt nhân một sóng điện từ dạng xung có tần số bằng tần số Larmor ω_L (ví dụ: hạt nhân ^1H tần số ω_L có ba giá trị là $63,86 \cdot 10^3$ kHz; $45,57 \cdot 10^3$ kHz; $21,28 \cdot 10^3$ kHz) thuộc dải tần số sóng vô tuyến điện, thì mô men từ μ thay đổi trạng thái chuyển động tuế sai của nó và nhận thêm năng lượng. Chuyển động này gọi là *chuyển động cộng hưởng* (hình 7).



Hình 7. a) Chiếu sóng điện từ vào hạt nhân. b) Hạt nhân thay đổi chuyển động tuế sai nhận thêm năng lượng (chuyển động cộng hưởng). c) Ngừng chiếu sóng điện từ. d) Hạt nhân trở về trạng thái ban đầu và phát ra sóng điện từ.

Nếu ngừng chiếu sóng điện từ vào hạt nhân, thì mô men từ μ trở lại trạng thái ban đầu và giải phóng năng lượng dưới dạng sóng điện từ (hình 7c và 7d). Các tia sóng điện từ phát ra từ hạt nhân này chính là *quang phổ phát xạ hạt nhân*.

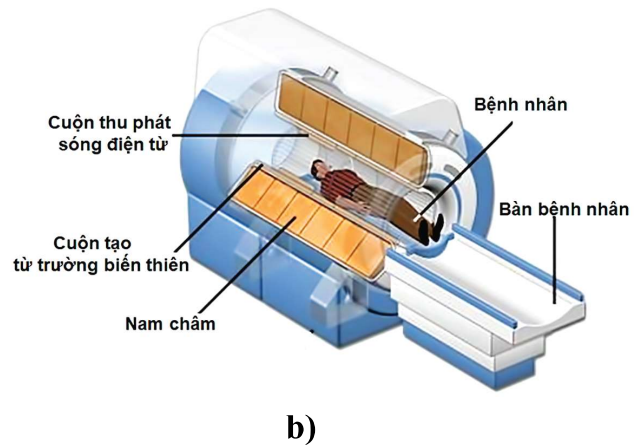
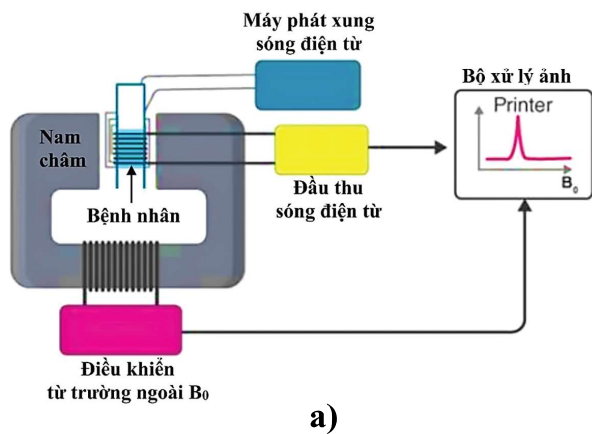
3. Ứng dụng NMR trong chẩn đoán hình ảnh

Ứng dụng NMR trong chẩn đoán hình ảnh được thực hiện như sau: sử dụng một từ trường mạnh \mathbf{B}_0 và một hệ thống phát các

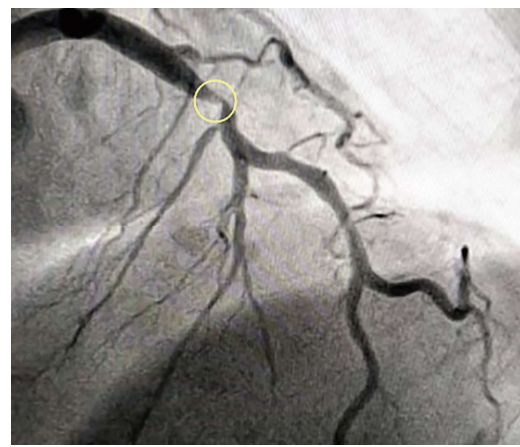
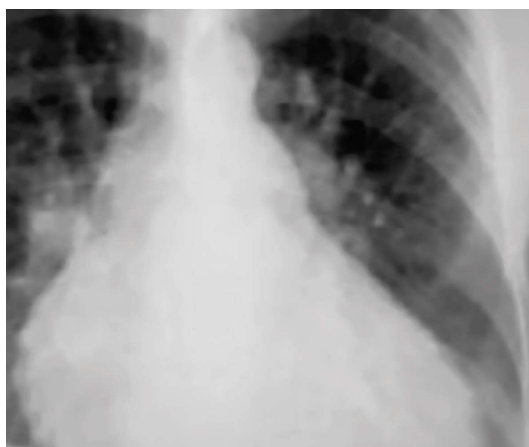
xung sóng vô tuyến điện để làm cho các hạt nhân hydro ^1H trong các nguyên tử của tổ chức trong cơ thể phát huỳnh quang. Chùm tia huỳnh quang này được một hệ thống thu nhận và xử lý điện toán để tạo ra hình ảnh (hình 8a). Cơ thể con người cấu tạo chủ yếu từ nước (60-70%). Trong thành phần của phân tử nước luôn có nguyên tử hydro. Về mặt từ tính, nguyên tử hydro là một nguyên tử đặc biệt vì hạt nhân của chúng chỉ có 1 proton và có mô men từ μ rất lớn. Vì thế hạt nhân hydro ^1H là ưu tiên số 1 cho phương pháp cộng hưởng từ hạt nhân (phương pháp cộng hưởng từ hạt nhân sử dụng ^1H được ký hiệu là **1H-NMR**).

Phương pháp này dựa vào các tia sóng điện từ của phổ huỳnh quang phát ra từ các hạt nhân hydro ^1H có trong nước và các mô trong cơ thể. Các tia này được ghi lại, rồi đưa vào xử lý tạo ra ảnh, từ đó xác định được các tổn thương bệnh lý trong cơ thể.

Trong phương pháp **NMR**, các hạt nhân ^1H ở trong các cấu trúc khác nhau sẽ phát xạ các tia sóng điện từ khác nhau, đặc trưng riêng cho mỗi cấu trúc đó. Trên cơ sở phân tích phổ phát xạ này, người ta xác định được cấu trúc và thành phần của các tổ chức cơ thể ở cấp độ phân tử với độ phân giải cao (hình 9b).



Hình 8. a) Sơ đồ nguyên lý hoạt động của máy chụp NMR. b) Sơ đồ máy chụp NMR đối với chẩn đoán hình ảnh trong y học.



Hình 9. a) Ảnh chụp tim bằng X-quang. b) Ảnh chụp tim bằng NMR.

Bảng 1. Bảng so sánh ảnh X-quang và ảnh NMR.

	Chụp X -quang	Chụp NMR
Bức xạ sử dụng	Tia X (3.10^{13} kHz ÷ 3.10^{16} kHz)	Sóng điện từ (10 kHz ÷ 3.10^9 kHz)
Phương pháp tạo ảnh	Dựa vào độ tương phản sáng-tối trên phim do tia X truyền qua mẫu vật	Dựa vào sóng điện từ trong quang phổ phát xạ hạt nhân
Bản chất ảnh	Bóng của mẫu vật	Hình của mẫu vật
Tính chất ảnh	Cho biết thông tin cơ bản về hình dạng, kích thước, độ sáng tối của mẫu vật	Cho biết chi tiết cấu trúc, thành phần của mẫu vật tới cấp độ phân tử

4. Kết luận

Do bản chất của tạo ảnh trong phương pháp chụp ảnh cộng hưởng từ hạt nhân (NMR) là nhận tín hiệu sóng điện từ phát xạ từ các hạt nhân nguyên tử trong mẫu vật, nên ảnh của NMR phản ánh chi tiết cấu trúc, thành phần của các tổ chức trong cơ thể tới cấp độ phân tử. Còn do cách tạo ảnh của chụp X-quang dựa vào sự suy giảm cường độ của tia X được chiếu từ ngoài đi qua mẫu, nên ảnh tạo ra chỉ là cái bóng của các tổ chức trong cơ thể, nên nó cũng chỉ cho biết được hình dạng, kích thước, độ đậm đặc của các tổ chức trong cơ thể.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] R. Weissleder, J. Wittenberg, M. Harisinghani, J. Chen (2011), *Primer of Diagnostic Imaging*. 5th edition, Elsevier
- [2] W. Herring (2011), *Learning Radiology: Recognizing the Basics*. 2nd edition, Elsevier.
- [3] C. Chatham, J. Blackband (2003), *Nuclear*

Magnetic Resonance Spectroscopy and Imaging in Animal Research, ILAR Journal **42** (3).

- [4] V. Krishnan, B. Rupp (2012), Comparison of X-ray Crystallography and NMR Spectroscopy, <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0002716.pub2>.
- [5] I. Sezer, D. Pizzagalli, M. Sacchet (2022), Resting-state fMRI functional connectivity and mindfulness in clinical and non-clinical contexts: A review and synthesis, *Neurosci Biobehav Rev.* **135**, p.104583.
- [6] K. Wuthrich (2003), NMR Spectroscopy and Biomacromolecules, *Angew. Chem. Int. Ed.* **42**, pp. 3340 - 3363.

Ngày nhận bài: 10/11/2023

Ngày gửi phản biện: 19/11/2023

Ngày duyệt đăng: 29/11/2023