جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة ميسان – كلية العلوم
الدراسات المسائي

النانو في التشخيص الطبي للأمراض بواسطة جهاز الرنين المغناطيسي

بحث

مقدم الئ مجلس كلية العلوم –جامعة ميسان

استكمالا لمتطلبات درجة البكالوريوس في علوم الكيمياء

اعداد الطالبان

مهدي خزعل جاسب

عبدالله جبار رشيم

مشرف البحث

د. مصطفى هاشم موكر

1446 هـ 2025م

بسم الله الرحمن الرحيم

(يرفع الله الذين امنو منكم والذين اوتوا العلم درجات)

صدق الله العلي العظيم

الإهداء

إلى

وطني الحبيب و شهداء العراق وفلسطين

والى

كل من ضحى من اجل امن وامان هذا الوطن الحبيب

وإلى

كل من ساعدنا في العلم والمعرفة

والى

والدي الحبيب ووالدتي الحبيبة

والى

أساتذة كلية العلوم كافة وبالخصوص الأستاذ المشرف(د. مصطفى هاشم موكر)

لما بذله من جهد في توجيهي وله الشكر والتقدير

أوجه لهم تحياتي وجهدي المتواضع.. لكم منا التحية

الباحث

شكر وتقدير

بكل تقدير وامتنان،نتقدم إلى مشرفنا الدكتور(مصطفى هاشم موكر)بجزيل الشكر والعرفان.

إن ما بذلته من جهود مثمرة ومتميزة في إعداد هذا البحث، يعكس مدى تفانيك وإخلاصك في سبيل التميز والإبداع العلمي. لقد كان لإشرافك الحكيم وتوجيهك السديد الأثر العلمي في نجاح هذا العمل البحثي القيم وإخراجه بالصورة المتفوقة التي نراها اليوم

كما نتوجه بالشكر والتقدير لجميع أساتذة قسم الكيمياء، وعلى رأسهم رئيس القسم الدكتور (محمد عبد الرحيم)، لما بذلوه من جهود متميزة في دعم وتطوير البحث العلمي. ونسأل الله لهم دوام التوفيق والسداد.

بهذا البحث المتميز، نتقدم بخالص الشكر والامتنان والعرفان لكل من ساهم في نجاحه وإخراجه بهذه الصورة المشرفة. شكرًا لكم جميعًا

التسلسل	الموضوع	الصفحة
I.	الفصل الاول	1
II.	1-1 مفهوم النانون	2
III.	2-1 مصادر المواد النانوية في البيئة	3
	1-2-1 الغلاف الجوي	3
	2-2-1 البيئة المائية	3
	3-2-1 التربة	3
IV.	3-1 خواص المواد النانوية	4
	1-3-1 الخصائص البصرية	4
	2-3-1 الخاصية الالكترونية	4
	3-3-1 الخواص الميكانيكية	5
	4-3-1 الخواص المغناطيسية	5
V.	4-1 تطبيقات تقنية النانو	6
	1-4-1 التطبيقات الطبية لتقنية النانو	
	2-4-1 علاج السرطان	7
	3-2-1 التشخيص بتقنية النانو	7
	4-4-1 تقنية النانو والصيدلة	8
	5-4-1 توصيل الأدوية الى الأنسجة	9
VI.	الفصل الثاني	11
VII.	مقدمة	12
VIII	1-2 فكرة عمل جهاز التصوير بالرنين المغناطيسي	13
IX.	2-2 البناء والفيزياء	15
X.	3-2 المكونات الرئيسية لجهاز التصوير بالرنين المغناطيسي	16
XI.	4-2 التصوير بالرنين المغناطيسي	16
XII.	5-2 الأستخدام من قبل العضو او الجهاز	18
	1-5-2 التصوير العصبي	18
	2-5-2 أمراض القلب والأعية الدموية	19
	3-5-2 الجهاز العضلي الهيكلي	19
	4-5-2 الكبد والجهاز الهضمي	19
XIII	2- 6 المخاطر المرتبطه بالمجال المغناطيسي	19
	1-6-2 المخاطر المرتبطة بالمجال المغناطيسي القوي	19
	2-6-2 الحساسية للمادة الضليلة	19
	3-6-2 الضوضاء العالية والحرارة	20
	4-6-2 الخوف من الأماكن المغلقة	20
	5-6-2 تاثيرات محتملة على المرأة الحامل	20
XIV	7-2 الاحتياطات لتجنب المخاطر	20
XV.	الفصل الثالث	21
XVI	المقدمة	22

XVI	3-1جسيمات اكسيد النانوية فائقة المغناطيسي فائقة الصغر	23
	3-1-1 جسيمات اكسيد الحديد النانوية	23
	3-1-2جسيمات اكسيد المنغنيز النانوية	24
XVI	3-2 المواد النانوية الكربونية	25
	3-2-1 أنابيب الكربون النانوية	25
	3-2-2 جسيمات السيليكون النانوية	26
	3-2-3 الفوليرينات	26
	3-2-4 الجرافين	27
XIX	3-3 جسيمات الذهب النانوية	27
XX.	3-4 النقاط الكمومية الكاربونية	28
	3-4-1 النقاط الكمومية الشوبة بالغادولينيوم	29
	3-4-2 النقاط الكمومية المشبعة بالمنجنيز	29
XXI	المصادر	31

الملخص: summary

أصبحت تقنيات النانو محورًا مهمًا في تطوير التشخيص الطبي الحديث، خاصة في المجالات غير الباضعة(التي لا تتطلب أي تدخل جسدي داخل الجسم) التي تعتمد على أدوات دقيقة وعالية الحساسية مثل التصوير بالرنين المغناطيسي (MRI). يُعدّ MRI أداة تشخيصية متقدمة توفر صورًا ثلاثية الأبعاد عالية الدقة دون الحاجة لتدخل جراحي، إلا أن فعاليته تتضاعف عند استخدام الجسيمات النانوية كمُعززات تباين.

الجسيمات النانوية – ومنها أكاسيد الحديد المغناطيسية ومركبات الذهب والفضة – يمكن تعديل سطحها بيولوجيًا لاستهداف خلايا معينة في الجسم مثل الخلايا السرطانية أو المصابة بالتهاب. وعند حقنها في الجسم، تتجه هذه الجسيمات إلى المناطق المستهدفة، مما يعزز التباين في صور الرنين ويساعد الأطباء على تشخيص الحالات المرضية بدقة أعلى، وبشكل مبكر مقارنة بالطرق التقليدية.

تُستخدم هذه التقنية اليوم بشكل واعد في تشخيص أورام الدماغ، سرطان الثدي، أمراض الكبد، والتصلب المتعدد، كما أنها تُسهم في تقليل معدلات الخطأ، وتوفير بيانات حيوية عن وظائف الأنسجة من دون تعريض المريض للإشعاع أو الخضوع لعمليات جراحية.

من المزايا الإضافية لتقنيات النانو في هذا السياق إمكانية دمج وظائف التشخيص والعلاج معًا، من خلال ما يُعرف بـ"التشخيص العلاجي" أو Theranostics، حيث تُستخدم الجسيمات النانوية لتوصيل الأدوية إلى مواقع الإصابة وتحريرها بشكل موجه بعد التعرف على مكان المرض بواسطة التصوير بالرنين

الفصل الاول

تقنية النانو

1-1 مفهوم النانو

مفهوم النانو يعني مصطلح النانو الجزء من المليار فالنانومتر هو واحد على مليار من المتر ولكن لنتخيل صغر النانو متر نتذكر ما يلي ان سمك الشعرة الواحدة للإنسان 50 مايكرومتر اي يعني 50,000 نانومتر و اصغر الأشياء التي يمكن للإنسان رؤيتها في العين المجردة يبلغ عرضها حوالي 10,000 نانومتر وعندما تصطف عشر ذرات من الهيدروجين فان طولها يبلغ نانومتر واحد. [1]

مقياس النانو : يشمل الأبعاد التي يبلغ طولها نانومتر واحد الى غاية ال100 نانو متر

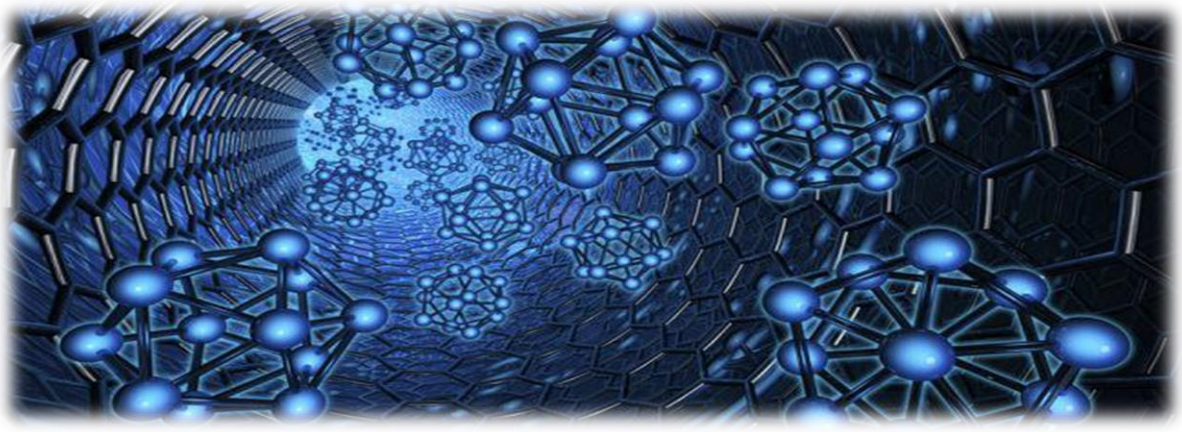
علم النانو: هو دراسة المبادئ الأساسية للجزيئات والمركبات التي لا يتجاوز قياسها ال100 نانو متر.

تقنية النانو : هو تطبيق مهم للعلوم والهندسة لإنتاج مخترعات فنية [2]

ويعرف النانو تكنولوجي كما يذكر زهداني في عام 2009م ان النانو تكنولوجي هي التقنية المصنوعة بأصغر وحدة قياس للبعد استطاع الأنسان قياسها حتى الآن(النانومتر)اي التعامل مع الاجسام و المعدات والالات دقيقه جدا ذات ابعاد نانوية [3]

اي ان ال ١ متر = ١٠٠٠٠٠٠٠٠٠ نانو متر

فالنانو هو أدق وحد قياس متريه معروفه حتى الآن ويبلغ طولها واحد من بليون من المتر اي ما يعادل عشره اضعاف وحدات القياس الذرية المعروفة بالأنجستروم وحجم النانو اصغر بحوالي 80.000من قطر الشعرة وكلمة النانو تكنولوجي تستخدم ايضا بمعنى انها تقنيه المواد المتناهية الصغر او التكنولوجيا المجهرية الدقيقة [4]



شكل رقم(1-1)النانو تكنولوجي

كيمياء النانو

كيمياء النانو هي فرع من فروع علم النانو وهي دراسة السلوكيات الكيميائية لجزيئات صغيرة جدًا من مادة ما توجد كيمياء النانو عادةً من تلقاء نفسها ولكنها تعمل جنبًا إلى جنب مع الفيزياء النانوية وعلم الأحياء النانوية والإلكترونيات النانوية والمواد النانوية وعلم النانو والتصنيع النانوية والتي تُعرف مجتمعة باسم تقنية النانو أو علم النانو. تتصرف المواد بشكل مختلف على مقياس النانو لان جميع الذرات موجودة على السطح وتظهر خواص كيميائية وفيزيائية ومغناطيسية وإلكترونية وبصرية مختلفة للجسيمات الأكبر.[5]

2-1 مصادر المواد النانوية في البيئة:

1-2-1 الغلاف الجوي

إن المصادر الطبيعية للجسيمات النانوية في الجو تشمل الانفجارات البركانية وحرائق الغابات وتهويه الأنظمة المائية الحرارية ، والتعرية الفيزيائية والكيميائية للصخور وغيرها ويمكن أن تنتشر الجسيمات النانوية غير العضوية في الجو بواسطه الإشعاع النووي وتعتبر الجسيمات النانوية وسائط مهمه الانتقال الجزيئات المختلفة من الطور الغازي إلى تكوين الرذاذ (المائع الهوائي)والذي يتحول الى قطرات معلقه في الهواء.

2-2-1 البيئة المائية

تنتشر الجسيمات النانوية في البيئة المائية طبيعيا على شكل عده موائع غرويه (مثل عناقيد من كبريتيد المعادن الناتجة من الأنظمة الهدير وحرارية والحديد المائي واكاسيد المنغنيز) إن اصغر حجم الجسيمات النانوية واتساع مساحتها السطحية تجعلها ذات اهميه ربط الأطوار العضوية وغير العضوية للملوثات وأظهرت دراسة اجريت في المانيا والسويد قدره جسيمات الرصاص النانوية الموجودة في الماء والتربة على الارتباط بأكسيد الحديد الغروي الذي يعمل على نقلها وانتشارها بكفاءة عالية.

إن ارتباط واستقرار الجسيمات النانوية (الطبيعية وغير الطبيعية) مع المواد العضوية بما فيما الملوثات وله عالقة وطيدة لتأثيرها السام في الأنظمة والبيئة المائية وبالرغم من عدم وجود معلومة اكيده توضح مصير وسلوك المواد النانوية في النظام البيئي المائي .وبإمكان الجسيمات النانوية المتجمعة الفالت من فتحات المرشحات والعوامل المسربة وتجري حاليا دراسات عديده لفهم سلوك وتعرف الجسيمات النانوية.

3-2-1 التربة

إن الجسيمات النانوية الموجودة في التربة تتمثل في معظمها بالمواد النانوية المعدنية (مثل الحديد والمنغنيز واكاسيدها وهيدروكسيداتها) بالإضافة للمواد العضوية الطبيعية والتجمعات الجرثومية. إن

المثال النموذجي للمواد النانوية الموجودة في التربة هو الحديد المائي (Ferrihyrite)الذي يوجد في كل مكان.[6]

3-1 خواص المواد النانوية

تمت دراسة الخواص المعتمدة على الحجم والمتعلقة بالجسيمات النانوية والمواد النانوية على نطاق واسع ولكن لايزال يتعين توضيح الخصائص التحفيزية المعتمدة على الشكل بطريقة أكثر شمولا عام تزداد تفاعلية الجسيمات النانوية وتتغير بسبب التناقص في حجمها، كما أن نقطة انصهار الأطوار النانوية المعنية تصبح أقل بشكل ملحوظ مقارنة بنظيراتها الكبيرة، كما أن لونها يخضع للتغيير بسبب تناقص حجمها. يقيد الحجم المحدد للجسيم التوزيع البعدي لإلكترونات، مما يؤدي إلى تكوين مستويات طاقة كمية بسبب تأثير الحجم. هذا التأثير للحبس الكومي له تطبيقات عدة في حالة البصريات غير الخطية وأشباه الموصلات والإلكترونيات الضوئية. تُظهر هذه الجسيمات النانوية بعض الظواهر الفريدة. [7]

1-3-1 الخصائص البصرية

اكتسب المختصون في الكيمياء الضوئية معرفة جيدة بهذه التقنية للكشف عن آلية عملياتهم الكيميائية الضوئية. تستند هذه التوصيفات إلى قانون بير لامبرت الشهير ومبادئ الإضاءة الأساسي. عندما يتم تقليل حجم المادة إلى حجم النانو ، تتغير الخاصية البصرية للمادة بطريقتين مختلفتين: الأولى هي الحبس الكمي والثانية هي (رنين البلازمون السطحي) . [8] إذا تم تقليل حجم المادة إلى ما دون الطول الموجي Broglie-de، يحدث الحبس الكمي للشحنات، وتبدو مستويات الطاقة منفصلة. تصبح مستويات الطاقة أكثر تميزًا عندما يتم تقليل المواد الكتلية إلى ثنائية الأبعاد ثم إلى أحادية البعد واخيرا إلى أبعاد صفرية (أي النقاط الكمومية). يجعل حصر مستويات الطاقة مظهر المادة مختلفًا لانه يؤدي إلى تغيير لون المادة. أقل من 10 نانومتر من الحجم، يصبح التباعد بين مستويات الطاقة بارزًا جدًا بحيث يمكن رؤية التغيير الحاد في لون النقطة الكمومية مع 2e 10 نانومتر. لذلك ، يمكن تصنيع مادة نانوية لخاصية معينة لتطبيق محدد عن طريق اختيار طريقة التركيب الصحيحة.[9]

2-3-1 الخاصية الإلكترونية

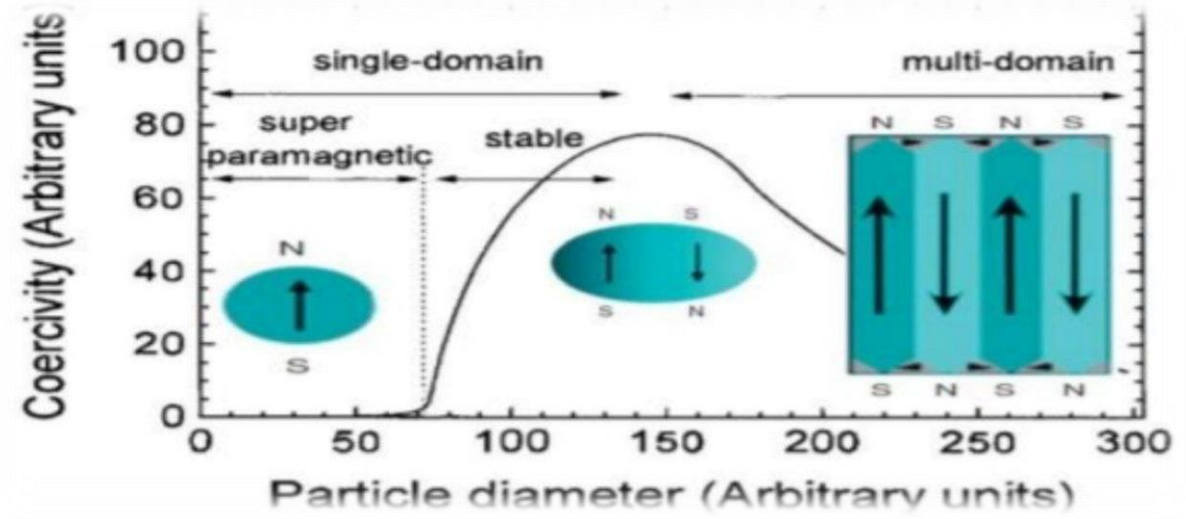
تمتلك المواد النانوية خصائص إلكترونية تعتمد بشكل كبير على حجمها وبنيتها. هذا من ناحية يجعل المواد النانوية لجزيئات البناء للتجميع من الأسفل إلى الأعلى للأجهزة الإلكترونية النانوية بسبب الخصائص القابلة للضبط [10]، تستخدم الخصائص الإلكترونية ، مثل: طاقة مجال LUMO-HOMO ، وحرارة التكوين ، والطاقة الإجمالية يتم تطبيقها حاليًا في كثير من الأحيان على المواد النانوية [11] نظرًا لوجود علاقة بين الحجم والخاصية على الأقل بالنسبة لبعض الخصائص ، يُطرح السؤال عما إذا كانت هناك إمكانية لوصف هذه العلاقة عن طريق طرق القياس الكيميائي. ومن ثم، بافتراض أنه ستكون هناك إمكانية لتطوير نموذج العلاقات الخطية بتطبيق النتائج المحسوبة لسلسلة من المجموعات الجزيئية الصغيرة، يمكن للمرء عن طريق هذه النماذج تقدير خاصية جسيم نانوية أكبر حجماً [12] .

3-3-1 الخواص الميكانيكية

تتكون الخصائص الميكانيكية للمعادن عموما من عشرة أجزاء، وهي الهشاشة والقوة واللدونة والصلابة والمتانة وقوة التحمل والمرونة والليونة والصلادة وإجهاد الخضوع. معظم المواد غير العضوية وغير المعدنية عبارة عن مواد هشة، ليس لها خصائص مثل اللدونة والمتانة والمرونة والليونة، فإن بعض المواد العضوية عبارة عن مواد مرنة ليس لها خصائص مثل الهشاشة والصلابة. تتمتع المواد النانوية بخصائص ميكانيكية ممتازة نظًرا للحجم والتأثيرات السطحية والكمية للجسيمات النانوية. عند إضافة الجسيمات النانوية إلى مادة شائعة ، ستعمل هذه الجسيمات على تنقية الحبيبات إلى حد معين ، وتشكيل بنية داخل الحبيبات أو بنية بين الحبيبات ، وبالتالي تحسين حدود الحجم الحبيبي وتعزيز الخواص الميكانيكية للمواد [13]

4-3-1 الخواص المغناطيسية

تتميز المواد المغناطيسية مثل Fe، Co، Ni، Fe3o4، عندما تحضر بطريقة ما بحيث تكون أحجام جسيماتها على المقياس النانومتري الأقل من 100 nm ، بامتلاكها سلوكا فريدا مختلفا عن سلوك المواد نفسها في الحالة الطبيعية الكبيرة ، فحتى الخواص المغناطيسية الذاتية مثل التمغنط و خاصية الاتجاهية anisotropy تتغير نتيجة الحصر الكمي لإلكترونات الجسيمات الصغيرة جدا أي تنحصر بعض المواد في بعدين مما يؤدي إلى حركة الإلكترونات في اتجاه واحد وتنحصر بعض المواد في بُعد واحد ، تكون الحركة في اتجاهين ، و كذلك نتيجة لتأثيرات السطح ، إذ حيث تزداد نسبة مساحة السطح مقارنة بالحجم مسببة تكسر الروابط و تغير التماثل التركيبي ، و زيادة الإلكترونات على السطح مما يسبب تغير الخواص المغناطيسية وبروز ظواهر جديدة مثل البارا مغناطيسية الفائقة[14]



الشكل(1-2) الخصائص المغناطيسية للجسيمات النانوية

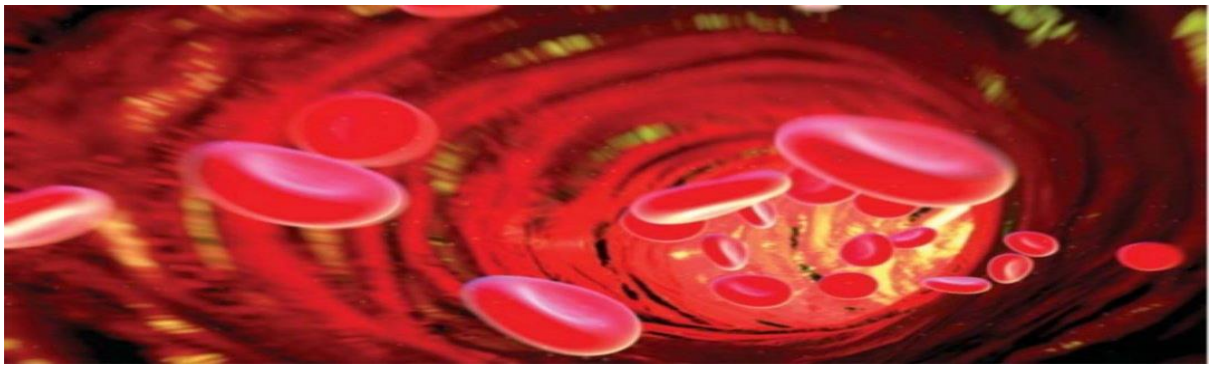
4-1 تطبيقات تقنية النانو

1-4-1 التطبيقات الطبية لتقنية النانو (Medical application)

تعد التطبيقات الطبية لتقنية المواد المتناهية في الصغر (النانو) من أهم التطبيقات الواعدة على الإطلاق، فمن المحتمل الحصول على مركبات نانوية تدخل إلى جسم الإنسان، وترصد مواقع الأمراض، وتحقن الأدوية، وتأمر الخلايا بإفراز الهرمونات المناسبة وترمم الأنسجة، كما يمكن لهذه المركبات الذكية أن تحقن الأنسولين داخل الخلايا بالجرعات المناسبة. أما أجهزة الاستشعار النانوية فيمكن زرعها في الدماغ لتمكن المصاب بالشلل الرباعي من السير.ولقد حصل على طاقم أسنان سليكوني لا يزيد حجمه عن حجم الخلية، ويستطيع ابتلاع الكريات الحمراء، وقضمها، ثم إطلاقها مجددا إلى الدم بمعدل عشر خلايا في الثانية، ويمكن الطاقم الأسنان هذا أن يساعد على إدخال الأدوية أو الجينات إلى داخل الخلايا، ومن ثم يعزز العلاج الخلوي المركز لكثير من الأمراض [15].

2-4-1علاج السرطان (cancer treatment)

لقد طور علماء من مركز السرطان (ميموريان كيتيرنج) الأمريكي قنابل مجهرية ذكية تخترق الخلايا السرطانية، وتفجرها من الداخل واستخدم العلماء بقيادة ديفيد شينبيرج التقنية الثانوية في إنتاج القنابل النانوية، ومن ثم استخدامها في قتل الخلايا السرطانية لفئران المختبر، وعمل العلماء على تحرير ذرات مشعة من مادة أكتينيوم ٢٢٥ التي ترتبط بنوع من الأجسام المضادة من قفص جزيئي، ونجحت هذه الذرات في اختراق الخلايا السرطانية، ثم قتلها، وقد استطاعت القنابل النانوية أن تطيل عمر الفئران من ٤٣ يوما إلى ٢٠٠ يوم انظر الشكلين رقم(1-3 ,1-4) [15]

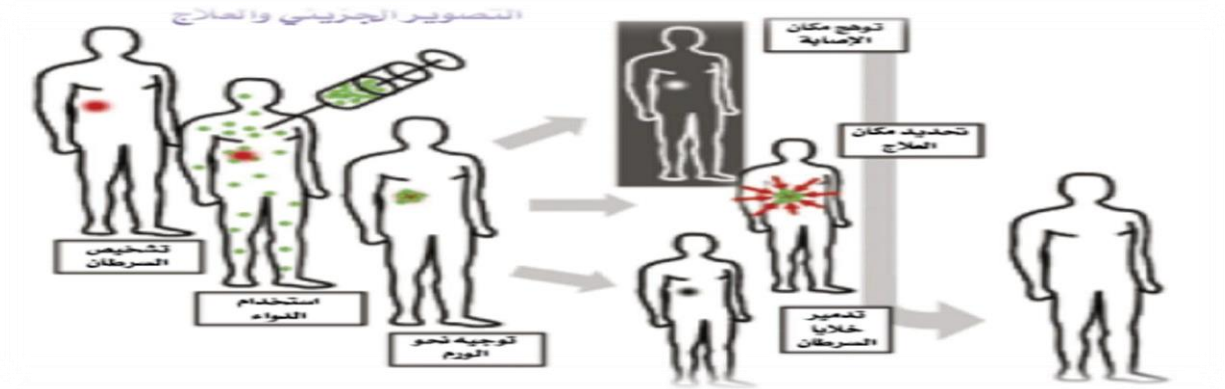


شكل رقم (1-3) صورة لقنابل النانو التي استخدمت في قتل الخلايا السرطانية لفئران التجارب

شكل رقم (1-4) معلمات فلوريسينية على سطح جسيمات ثانوية من أكسيد الحديد

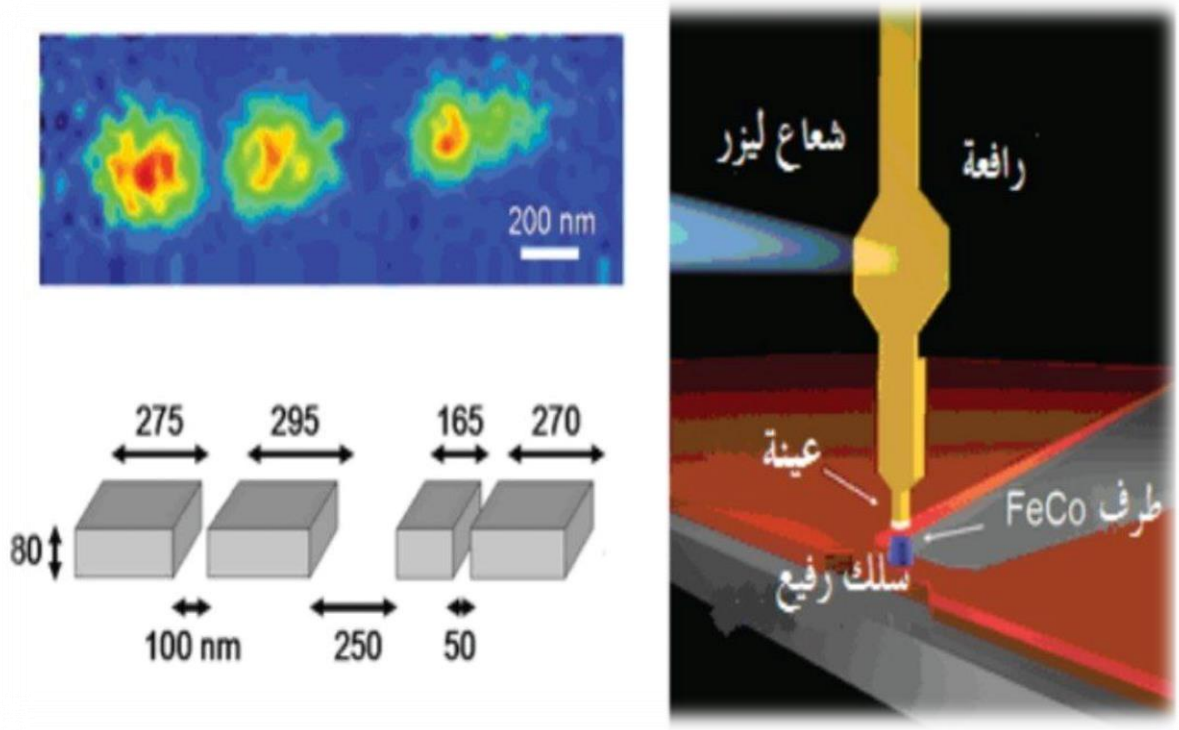
3-4-1 التشخيص بتقنية النانو(Diagnostic by nanotechnology)

إن هدف الطب الأساس هو اكتشاف المرض في مراحل مبكرة قدر المستطاع، حتى يمكن القضاء عليه قبل أن يتسبب في أعراض جانبية، أو مضاعفات. وباستخدام تقنية النانو تصبح الاختبارات الحيوية لقياس وجود أو نشاط المواد المختبرة أسرع، وأكثر دقة ومرونة، فيمكن دمج جزيئات النانو المغناطيسية مع الأجسام المضادة المناسبة، واستخدامها كعلامات على وجود جزيئات محددة أو ميكروبات، وكذلك استخدام جزيئات الذهب المدمجة مع مقاطع قصيرة من الحمض النووي للتعرف على تسلسل من الجينات في عينة ما. وهناك أيضًا تقنية ثقوب النانو المستخدمة في تحليل الحمض النووي، وتحوّل تسلسل وحداته مباشرة إلى إشارات كهربية، فتتوهج بعض الجسيمات الثانوية (انظر الشكل رقم1-5) مثل: سيلينايد الكادميوم (وهي نقاط كمية) ، وذلك عندما تتعرض لضوء الأشعة فوق البنفسجية، وبذلك يستطيع الطبيب الجراح أن يرى التوهج في المنطقة المصابة بالسرطان، فيستفيد من ذلك في التحديد الدقيق للمنطقة المصابة المراد استئصالها. كما يمكن للطبيب الاستفادة من رقائق محسسات الاختبار النانوية التي تمتلك قابلية على تحسين البروتينات والمعلمات الحيوية الأخرى التي تخلفها الخلايا السرطانية، ويأمل الأطباء الاستفادة من هذه المحسسات في التشخيص المبكر لمرض السرطان، وذلك بواسطة فحص بضع قطرات من بول المريض [15]



شكل رقم (1-5)رسم توضيحي يبين كيفية علاج منطقة مصابة بالسرطان بواسطه جسيمات نانوية تحقن في جسم المصاب [16]

وباستخدام جزيئات النانو كعوامل للتباين (كبديل عن الصبغة)، نحصل على صور بالرنين المغناطيسي انظر الشكل رقم (1-6) ، بالأشعة فوق الصوتية ذات تباين وتوزيع أفضل من ذي قبل. بل إن جزيئات النانو المضيئة تستطيع أن تساعد الجراح أثناء العملية الجراحية في التعرف على مكان الورم، ومن ثم تجعل عملية استئصاله أمرًا أكثر سهولة. وهذا الجهاز أكثر دقة من الجهاز التقليدي بحوالي ٦٠٠٠٠ مرة[16]



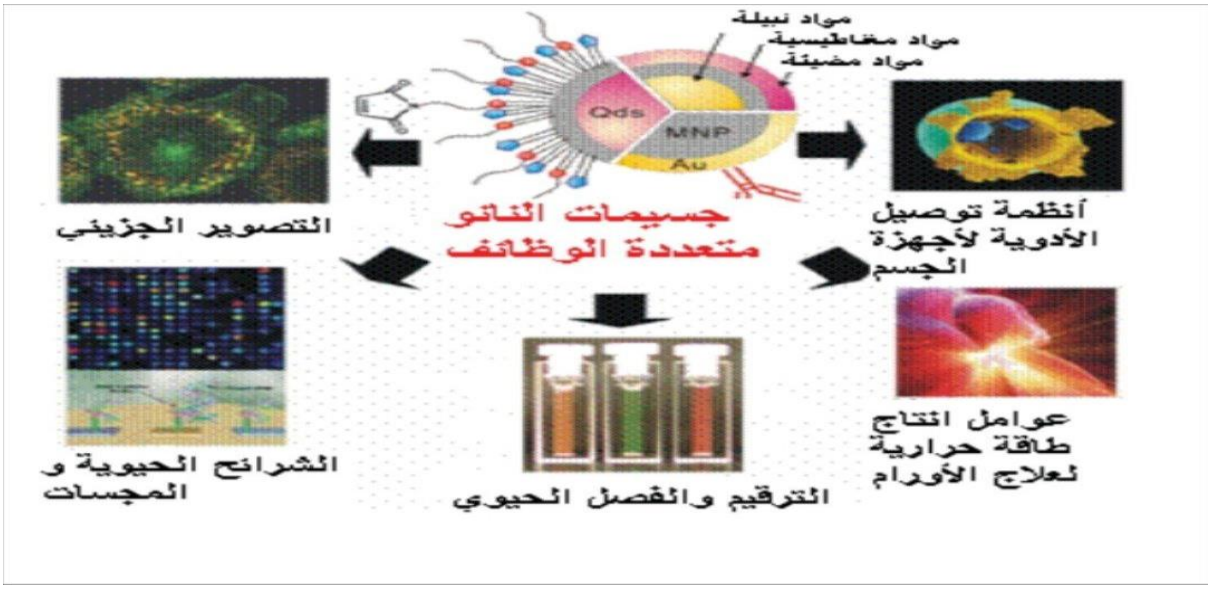
شكل رقم (1-6)ميكروسكوب الرنين المغناطيسي بتقنية النانو

1-4-4تقنية النانو والصيدلة (Nano and pharmaceutical)

تقنية النانو في عالم الصيدلة واسعة الاستخدام، وذلك بدءًا من طرق إنتاج الدواء، ومرورا بوسائل حفظه، ثم انتهاء بكيفية إعطائه المريض في هيئة تتفوق بمراحل على الطرق الحالية، فتقنية النانو توصلت في أبحاثها اليوم إلى وضع طرق أفضل الفاعلية الأدوية المستخدمة، وطريقة توصيلها داخل أنسجة الإنسان[15]

5-4-1 توصيل الأدوية إلى الأنسجة

إن إحدى مزايا تقنية النانو التي أفادت فروعًا كثيرة من فروع الحقل الطبي، وتعد من أولويات البحث في مجال طب النانو، وتعتمد على تصنيع مواد دقيقة في حجم النانو لتحسين التوافر الحيوي للدواء (Bioavailability) هي وجود جزيئات الدواء في المكان المستهدف من الجسم، حيث تعمل بأقصى فاعلية، ومن ثم ينخفض معدل استهلاك الدواء، وأعراضه الجانبية، والتكلفة الإجمالية للعلاج، مثال على ذلك: المواد التي تحتوي على ثقوب بحجم النانو، وتستطيع أن تحمل جزيئات الدواء إلى المكان المرغوب فيه (انظر : الشكل رقم(1-7).كما أن أحد التطبيقات المهمة لتلك التقنية علاج السرطان باستخدام جزيئات الحديد، أو الذهب التي تتراكم في الخلايا السرطانية دون غيرها من الخلايا، وتتسبب في موتها دون تأثير في الخلايا الطبيعية متلافيه أضرار العلاج الكيميائي، والإشعاعي، الأمر الذي مازال في طور البحث، ويمثل أملاً كبيرا في وجود علاج آمن للسرطان[15]



شكل رقم (1-7) بعض تطبيقات النانو في الحقل الطبي [15]

*مزايا استخدام تقنية النانو في تصوير في MRI

1.زياده الحساسية التصوير

2.زياده دقة التصوير

3.استهداف الخلايا الأنسجة المحدودة

4.تقليل لأثار الجانبية (امثلة)(تطبيقات محدودة)

A .الكشف عن السرطان

B.تشخيص اطراب القلب الاوعية الدموية

C.تشخيص اطراب الجهاز العصبي

---

* التحديات التي تواجة استخدام تقنية النانو في MRI

1.سمية الجسيمات النانوية

2.تكلفة الانتاج

3.التخليق في الجسيمات النانوية

الفصل الثاني

جهاز الرنين المغناطيسي MRI

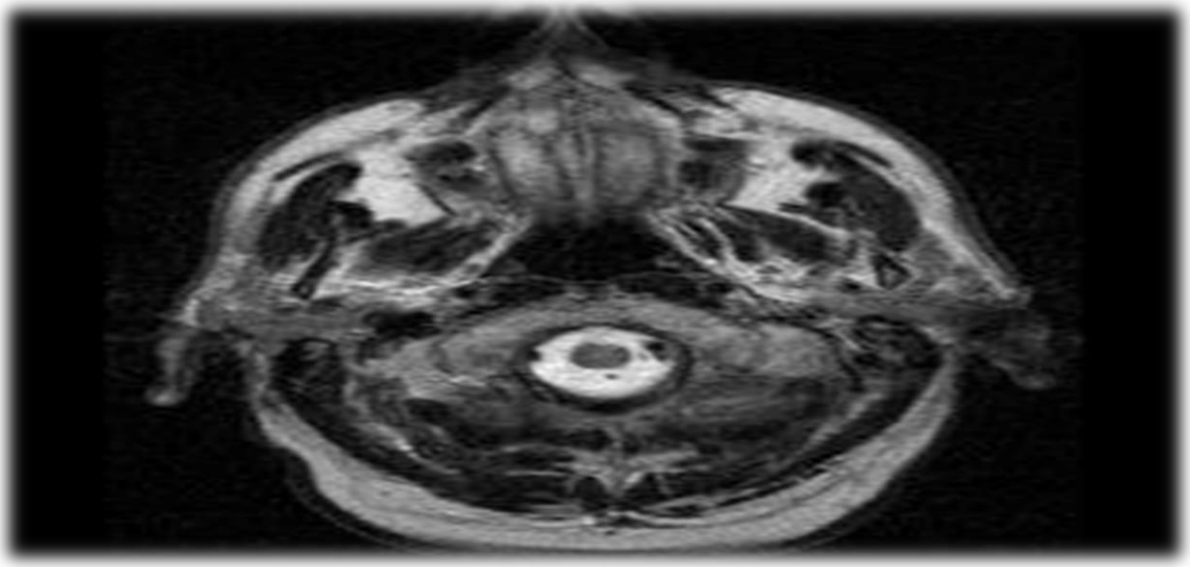
مقدمة:

التصوير بالرنين المغناطيسي (MRI) هو تقنية تصوير طبي تُستخدم في الأشعة لتكوين صور للتشريح والعمليات الفسيولوجية للجسم. تستخدم أجهزة التصوير بالرنين المغناطيسي مجالات مغناطيسية قوية، وتدرجات المجال المغناطيسي، وموجات راديوية لتوليد صور لأعضاء الجسم. لا يتضمن التصوير بالرنين المغناطيسي الأشعة السينية أو استخدام الإشعاع المؤين، مما يميزه عن فحوصات التصوير المقطعي المحوسب والتصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني. التصوير بالرنين المغناطيسي هو تطبيق طبي للرنين المغناطيسي النووي (NMR) والذي يمكن استخدامه أيضًا للتصوير في تطبيقات الرنين المغناطيسي النووي الأخرى، مثل التحليل الطيفي بالرنين المغناطيسي النووي

في حين أن مخاطر الإشعاع المؤين أصبحت الآن تحت السيطرة بشكل جيد في معظم السياقات الطبية، إلا أنه لا يزال يُنظر إلى التصوير بالرنين المغناطيسي على أنه خيار أفضل من التصوير المقطعي المحوسب. يُستخدم التصوير بالرنين المغناطيسي على نطاق واسع في المستشفيات والعيادات للتشخيص الطبي وتحديد مرحلة المرض ومتابعته دون تعريض الجسم للإشعاع. قد يُعطي التصوير بالرنين المغناطيسي معلومات مختلفة مقارنةً بالتصوير المقطعي المحوسب. قد ترتبط فحوصات التصوير بالرنين المغناطيسي بالمخاطر وعدم الراحة. بالمقارنة مع فحوصات التصوير المقطعي المحوسب، تستغرق فحوصات التصوير بالرنين المغناطيسي عادةً وقتًا أطول وتكون أعلى صوتًا، وعادةً ما تتطلب دخول الشخص إلى أنبوب ضيق ومحصور. بالإضافة إلى ذلك، قد لا يتمكن الأشخاص الذين لديهم بعض الغرسات الطبية أو غيرها من المعادن غير القابلة للإزالة داخل الجسم من الخضوع لفحص التصوير بالرنين المغناطيسي بأمان.[17]

جهاز الرنين المغناطيسي شكل رقم(2-1)

كان يُطلق على التصوير بالرنين المغناطيسي في الأصل اسم NMRI (التصوير بالرنين المغناطيسي النووي)، ولكن تم إسقاط كلمة "نووي" لتجنب الارتباطات السلبية. تستطيع بعض النوى الذرية امتصاص طاقة الترددات الراديوية عند وضعها في مجال مغناطيسي خارجي؛ ويمكن لاستقطاب الدوران المتطور الناتج أن يُحفز إشارة تردد لاسلكي في ملف تردد لاسلكي وبالتالي يتم اكتشافه. في التصوير بالرنين المغناطيسي السريري والبحثي، تُستخدم ذرات الهيدروجين غالبًا لتوليد استقطاب عياني يتم اكتشافه بواسطة هوائيات قريبة من الجسم الذي يتم فحصه. توجد ذرات الهيدروجين بكثرة بشكل طبيعي في البشر والكائنات البيولوجية الأخرى، وخاصة في الماء والدهون. لهذا السبب، فإن معظم فحوصات التصوير بالرنين المغناطيسي ترسم خريطة لموقع الماء والدهون في الجسم. تُثير نبضات الموجات الراديوية انتقال طاقة الدوران النووي، وتُحدد تدرجات المجال المغناطيسي موقع الاستقطاب في الفضاء. من خلال تغيير معلمات تسلسل النبضات، يمكن توليد تباينات مختلفة بين الأنسجة بناءً على خصائص استرخاء ذرات الهيدروجين الموجودة فيها منذ تطويره في سبعينيات وثمانينيات القرن الماضي، أثبت التصوير بالرنين المغناطيسي أنه تقنية تصوير متعددة الاستخدامات. في حين أن التصوير بالرنين المغناطيسي يُستخدم بشكل بارز في الطب التشخيصي والبحوث الطبية الحيوية، إلا أنه يمكن استخدامه أيضًا لتكوين صور للأجسام غير الحية. يوسع التصوير بالرنين المغناطيسي الانتشاري والتصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي من فائدة التصوير بالرنين المغناطيسي لالتقاط المسارات العصبية وتدفق الدم على التوالي في الجهاز العصبي، بالإضافة إلى الصور المكانية التفصيلية. وقد أدت الزيادة المستمرة في الطلب داخل الأنظمة الصحية إلى مخاوف بشأن فعالية التكلفة والإفراط في التشخيص. [18]

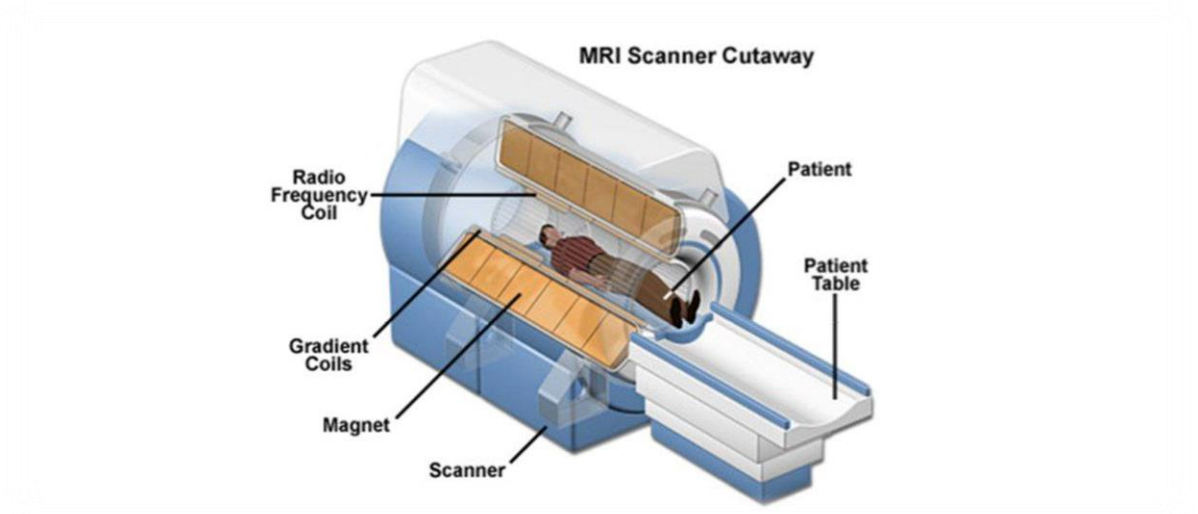


تصوير بالرنين المغناطيسي (شكل رقم 2-2)

1-2 فكرة عمل جهاز التصوير بالرنين المغناطيسي

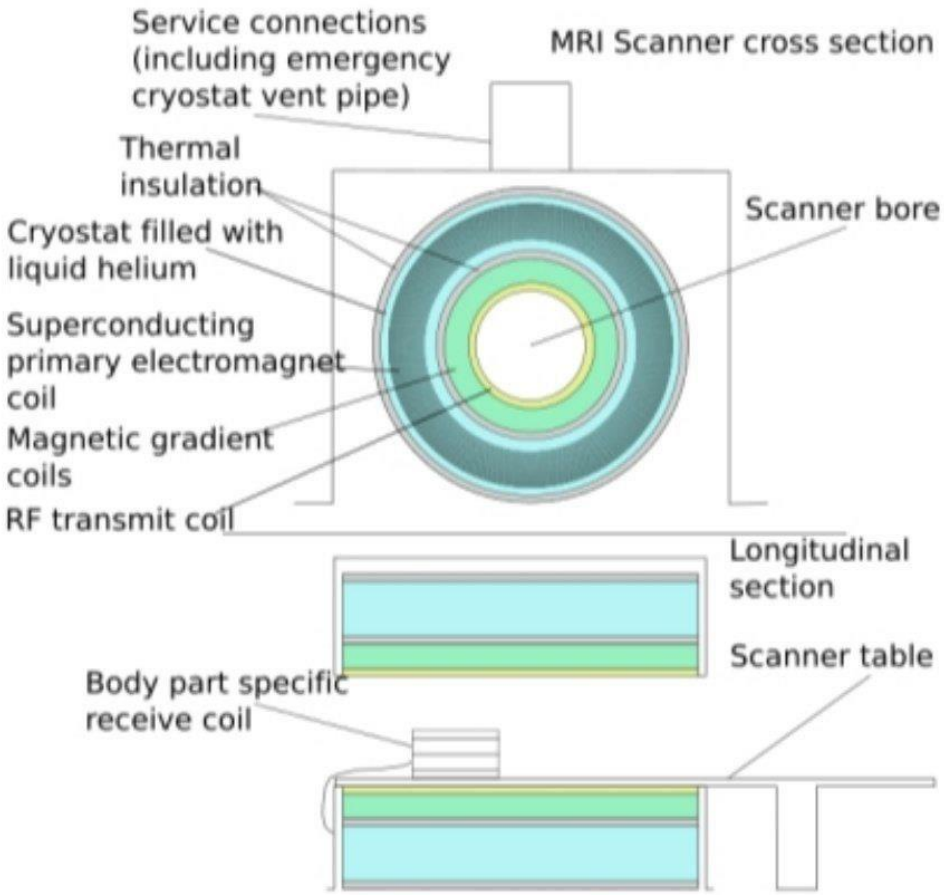
جهاز التصوير بالرنين المغناطيسي هو جهاز تصوير مثل جهاز اشعة اكس او جهاز CT ولكن يستخدم المجال المغناطيسي وامواج الراديو للحصول على الصور دقيقة وتفصيلية وثلاثية الابعاد تمكن الطبيب

من رؤية الأجزاء الداخلية لجسم الانسان من عظام ومفاصل والدم وخصوصا الانسجة الرقيقة مثل الدماغ بدون استخدام الأشعة اكس أو الحقن بالأصباغ لتعزيز التباين، ومن خلاله يمكن اكتشاف التغيرات التي قد تطرأ على بعض أعضاء الجسم نتيجة لمرض ما وذلك بالمقارنة مع الأعضاء السليمة. وقد جاء اكتشاف هذا الجهاز في الثالث من يوليو عام ١٩٧٧، حيث اعتبر حدثاً مذهلاً في عالم الطب الحديث. حيث في ذلك التاريخ تم إجراء أول فحص باستخدام التصوير بالرنين المغناطيسي وقد استغرقت عملية التصوير اكثر من ٥ ساعات ولم تكن تلك الصورة واضحة المقارنة بتلك التي نحصل عليها في ايامنا هذه. ويرجع التطور في تكنولوجيا التصوير بالرنين المغناطيسي إلى جهود سبع سنوات للعلماء ريموند دامادين ولاري ما نكوف ومايكل جولد سميث. وقد اطلقوا على هذا الجهاز اسم Indomitable في بداية الأمر والذي يعني القوي للدلالة على الجهود المضنية التي بذلوها على مدار السبع سنوات من العمل والبحث لجعل جهاز التصوير بالرنين المغناطيسي حقيقة بعد ان كان مجرد فكرة .



مكونات جهاز الرنين المغناطيسي شكل رقم (2-3)

2-2 االبناء والفيزياء



مخطط لجهاز مسح الرنين المغناطيسي الفائق الأسطواني.شكل رقم(2-4)

أعلى: مقطع عرضي للأسطوانة مع الملف الأساسي، وملفات التدرج، وملفات إرسال الترددات الراديوية.

أسفل: مقطع طولي للأسطوانة والجدول، يُظهر الملفات نفسها وملف استقبال الترددات الراديوية.

في معظم التطبيقات الطبية، تُنشئ نوى الهيدروجين، التي تتكون فقط من بروتون، الموجودة في الأنسجة إشارة تتم معالجتها لتكوين صورة للجسم من حيث كثافة تلك النوى في منطقة معينة. وبالنظر إلى أن البروتونات تتأثر بمجالات من ذرات أخرى ترتبط بها، فمن الممكن فصل الاستجابات من الهيدروجين في مركبات محددة لإجراء دراسة، يوضع الشخص داخل جهاز تصوير بالرنين المغناطيسي يُشكل مجالًا مغناطيسيًا قويًا حول المنطقة المراد تصويرها. أولًا، تُطبق طاقة من مجال مغناطيسي متذبذب مؤقتًا على المريض بتردد الرنين المناسب. يؤدي المسح باستخدام ملفات التدرج X وY إلى تعرض منطقة محددة من المريض للمجال المغناطيسي الدقيق المطلوب لامتصاص الطاقة. تُصدر الذرات المثارة إشارة تردد لاسلكي (RF)، والتي يتم قياسها بواسطة ملف استقبال. يمكن معالجة إشارة التردد اللاسلكي لاستنتاج معلومات الموقع من خلال النظر في التغيرات في مستوى التردد اللاسلكي والطور الناتج عن تغيير المجال المغناطيسي المحلي باستخدام ملفات التدرج. نظرًا لأن هذه

الملفات يتم تبديلها بسرعة أثناء الإثارة والاستجابة لإجراء مسح خطي متحرك، فإنها تُصدر الضوضاء المتكررة المميزة لمسح التصوير بالرنين المغناطيسي حيث تتحرك اللفات قليلاً بسبب التضيق المغناطيسي. يتم تحديد التباين بين الأنسجة المختلفة بواسطة المعدل الذي تعود به الذرات المثارة إلى حالة التوازن. يمكن إعطاء عوامل تباين خارجية للشخص لجعل الصورة أكثر وضوحًا. [19]

3-2 المكونات الرئيسية لجهاز التصوير بالرنين المغناطيسي

هي المغناطيس الرئيسي، الذي يستقطب العينة، وملفات الحشو لتصحيح التحولات في تجانس المجال المغناطيسي الرئيسي، ونظام التدرج المستخدم لتحديد موقع المنطقة المراد مسحها، ونظام التردد اللاسلكي، الذي يثير العينة ويكتشف إشارة الرنين المغناطيسي النووي الناتجة. يتم التحكم في النظام بأكمله بواسطة جهاز كمبيوتر واحد أو أكثر.

يتطلب التصوير بالرنين المغناطيسي مجالًا مغناطيسيًا قويًا وموحدًا يصل إلى بضعة أجزاء في المليون عبر حجم المسح. تُقاس شدة مجال المغناطيس بوحدة تسلا - وبينما تعمل غالبية الأنظمة عند 1.5 تسلا، تتوفر أنظمة تجارية تتراوح قوتها بين 0.2 و7 تسلا. معظم المغناطيسات السريرية هي مغناطيسات فائقة التوصيل، والتي تتطلب هيليومًا سائلًا لإبقائها باردة جدًا. يمكن تحقيق قوى مجال أقل باستخدام مغناطيسات دائمة، والتي تُستخدم غالبًا في أجهزة التصوير بالرنين المغناطيسي "المفتوحة" للمرضى الذين يعانون من رهاب الأماكن المغلقة. كما تُستخدم قوى مجال أقل في جهاز تصوير بالرنين المغناطيسي المحمول المعتمد من إدارة الغذاء والدواء الأمريكية في عام 2020. في الآونة الأخيرة، تم إثبات فعالية التصوير بالرنين المغناطيسي أيضًا في مجالات منخفضة للغاية، أي في نطاق ميكرو تسلا إلى ملي تسلا، حيث تُصبح جودة الإشارة كافية من خلال الاستقطاب المسبق (في حدود 10-100 ميلي تسلا) وقياس مجالات مبادرة لارمور عند حوالي 100 ميكرو تسلا باستخدام أجهزة التداخل الكمي فائقة التوصيل عالية الحساسية (SQUIDS).[17]

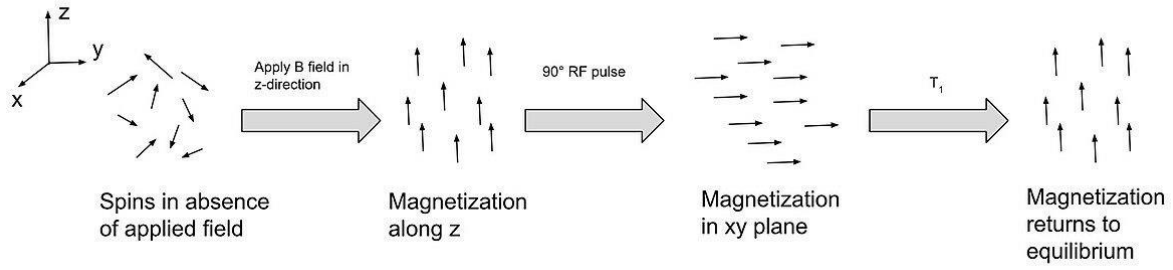
4-2التصوير بالرنين المغناطيسي T1وT2

يعود كل نسيج إلى حالة توازنه بعد إثارته بواسطة عمليات الاسترخاء المستقلة لـ T1 (شبكة الدوران؛ أي المغنطة في نفس اتجاه المجال المغناطيسي الثابت) وT2 (دوران-دوران؛ عرضي للمجال المغناطيسي الساكن). لإنشاء صورة بتباين بـ T1، يُسمح للمغنطة بالتعافي قبل قياس إشارة الرنين المغناطيسي عن طريق تغيير وقت التكرار (TR). يُعد تباين الصورة هذا مفيدًا لتقييم القشرة الدماغية، وتحديد الأنسجة الدهنية، وتوصيف الآفات البؤرية في الكبد، وبشكل عام، الحصول على معلومات مورفولوجيا، وكذلك للتصوير ما بعد التباين. لإنشاء صورة بتباين بـ T2، يُسمح للمغنطة بالتلاشي قبل قياس إشارة الرنين المغناطيسي عن طريق تغيير وقت الصدى (TE). يُعد هذا النوع من التباين الصورة

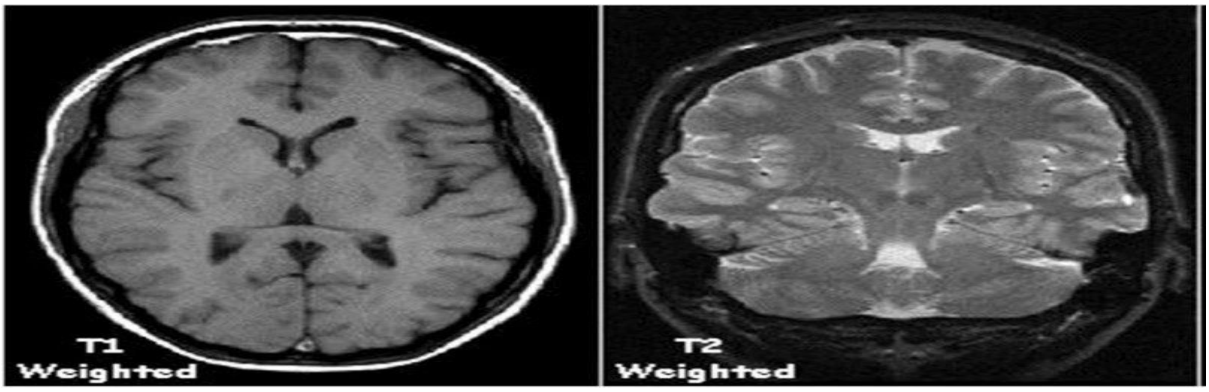
مفيدًا للكشف عن الوذمة والالتهاب، وكشف آفات المادة البيضاء، وتقييم التشريح النسيجي في البروستاتا والرحم.[20]

تعرض الصور القياسية في التصوير بالرنين المغناطيسي خصائص السوائل باستخدام صور بالأبيض والاسود كما يلي :

	T1 –Weighted	T2-Weighted
High signal	*الدهون *نزيف شبه حاد *الميلانين *الدم التدفق ببطء *مواد بارامغناطيسية اوديا مغناطيسية مثل الغادولينيوم ,المنغنيز ,النحاس *النخر القشري الكاذب	*محتوئ مائي أعلئ ,مثل الوذمة,الاورام,الاحتشاء ,والالتهاب والعدوئ *ميت-موغلوبين موجود خارج الخلية في النزف تحت الحاد *الدهون *علم الامراض
inter-mediate	المادة الرمادية اغمق من المادة البيضاء	المادة البيضاء أغمق من المادة الرمادية
Low Signal	*العضام ,البول ,السائل الدماغي الشوكي(CSF),الهواء *محتوئ مائي أعلئ(وذمة,أورام,احتشاء,التهاب ,نزف حاد اومزمن) *كثافه بروتون منخفض(التكلسات)	*العضام *كثافة بروتون منخفضة مثل التكلسات والتليف *مواد بارمنغاطيسية مثل ديوكسي هيموغلوبين, ميت-هيموغلوبين داخل الخلايا,الحديد,الفيريتين ,هيموسيديرين ,الميلانين * سائل غني بالبروتين



رسم تخطيطي لتغيير اتجاهات المغناطيسية والدوران المغزلي خلال تجربة استرخاء الشبكة المغزلية



أمثلة على فحوصات الرنين المغناطيسي الموزونة بـ T1 وT2

5-2 الاستخدام من قبل العضو أو الجهاز

يستخدام التصوير بالرنين المغناطيسي(MRI)مجموعة واسعة من التطبيقات في التشخيص الطبي، ويُقدر أن أكثر من 25000 جهاز مسح ضوئي قيد الاستخدام في جميع أنحاء العالم. يؤثر التصوير بالرنين المغناطيسي على التشخيص والعلاج في العديد من التخصصات، على الرغم من أن تأثيره على تحسين النتائج الصحية محل نقاش في بعض الحالات يُعد التصوير بالرنين المغناطيسي الفحص المفضل في تحديد مرحلة ما قبل الجراحة لسرطان المستقيم والبروستاتا، وله دور في تشخيص الأورام الأخرى وتحديد مرحلتها ومتابعتها، بالإضافة إلى تحديد مناطق الأنسجة لأخذ العينات في البنوك الحيوية.

1-5-2 التصوير العصبي (Neuroimaging)

يُعد التصوير بالرنين المغناطيسي أداة التحقيق المفضلة للسرطانات العصبية مقارنةً بالتصوير المقطعي (CT)، حيث يوفر تصورًا أفضل للحفرة القحفية الخلفية، التي تحتوي على جذع الدماغ والمخيخ. إن التباين بين المادة الرمادية والبيضاء يجعل التصوير بالرنين المغناطيسي الخيار الأفضل للعديد من حالات الجهاز العصبي المركزي، بما في ذلك أمراض إزالة الميالين، والخرف، وأمراض الأوعية الدموية الدماغية، والأمراض المعدية، ومرض الزهايمر، والصرع. ونظرًا لأن العديد من الصور في أجزاء من الثانية، فإنها تُظهر كيف يستجيب الدماغ لمحفزات مختلفة، مما يُمكّن الباحثين من دراسة كل من التشوهات الوظيفية والبنيوية في الدماغ في الاضطرابات النفسية. يُستخدم التصوير بالرنين المغناطيسي أيضًا في الجراحة الأشعاعية الموجهة لعلاج الاورام داخلا الجمجمة، والتشوهات الشريانية الوريدية، وغيرها من الحالات القابلة للعلاج جراحيًا باستخدام جهاز يُعرف باسم المحدد النقطي N-localizer.

2-5-2 أمراض القلب والأوعية الدموية Cardiovascular

يُعد تصوير القلب بالرنين المغناطيسي مكملاً لتقنيات التصوير الأخرى، مثل تخطيط صدى القلب، والتصوير المقطعي للقلب، والطب النووي. ويمكن استخدامه لتقييم بنية القلب ووظيفته. وتشمل تطبيقاته تقييم نقص تروية عضلة القلب وقابليتها للحياة، واعتلالات عضلة القلب، والتهاب عضلة القلب، وزيادة الحديد في الدم، وأمراض الأوعية الدموية، وأمراض القلب الخلقية.

2-5-3الجهاز العضلي الهيكلي Musculoskeletal

تشمل التطبيقات في الجهاز العضلي الهيكلي تصوير العمود الفقري، وتقييم أمراض المفاصل، وأورام الأنسجة الرخوة. كما يمكن استخدام تقنيات التصوير بالرنين المغناطيسي للتصوير التشخيصي لأمراض العضلات الجهازية.

2-5-4 الكبد والجهاز الهضمي Liver and gastrointestinal

يُستخدم تصوير الكبد والقنوات الصفراوية بالرنين المغناطيسي للكشف عن الآفات الكبد والبنكرياس والقنوات الصفراوية وتوصيفها. يمكن تقييم الاضطرابات الكبد البؤرية أو المنتشرة في الكبد باستخدام تسلسلات التصوير الموزونة بالانتشار والتصوير في الطور المتقابل وتعزيز التباين الديناميكي. تُستخدم عوامل التباين خارج الخلية على نطاق واسع في تصوير الكبد بالرنين المغناطيسي، كما توفر عوامل التباين الكبدية الصفراوية الأحدث فرصة لإجراء التصوير الوظيفي للقنوات الصفراوية. يتم إجراء التصوير التشريحي للقنوات الصفراوية باستخدام تسلسل التصوير الموزون بشدة بـ T2 في تصوير البنكرياس والقنوات الصفراوية بالرنين المغناطيسي (MRCP). يتم إجراء التصوير الوظيفي للبنكرياس بعد إعطاء السيكريتين. يوفر تصوير الأمعاء بالرنين المغناطيسي تقييمًا غير جراحي لمرض التهاب الأمعاء وأورام الأمعاء الدقيقة. قد يلعب تصوير القولون بالرنين المغناطيسي دورًا في اكتشاف الأورام الحميدة الكبيرة لدى المرضى المعرضين لخطر متزايد للإصابة بسرطان القولون والمستقيم.[21]

2-6 المخاطر الرئيسية للرنين المغناطيسي

2-6-1 المخاطر المرتبطة بالمجال المغناطيسي القوي

يمكن للمجال المغناطيسي القوي التأثير على الأجهزة الطبية المزروعة مثل منظمات ضربات القلب والدماغ، وأجهزة تحفيز الأعصاب، مما قد يؤدي إلى مضاعفات خطيرة .تفاعل الأجسام المعدنية داخل الجسم مع المجال المغناطيسي قد يسبب حركة غير متوقعة أو سخونة زائدة، مما قد يضر المريض .[22]

2-6-2 الحساسية للمادة الظليلة (صبغة التباين)

بعض فحوصات الرنين المغناطيسي تستخدم مادة الغادولينيوم كمادة ظليلة لتحسين جودة الصور. يمكن أن تسبب هذه المادة حساسية خطيرة أو ردود فعل تحسسية مفرطة لدى بعض المرضى. مرضى الفشل

الكلوي معرضون لخطر الإصابة بمرض التليف الجهازي الكلوي (NSF)، وهو اضطراب نادر لكنه خطير.[23]

2-6-3الضوضاء العالية والحرارة

يصدر جهاز الرنين المغناطيسي أصواتًا عالية يمكن أن تؤثر على السمع، وقد ينصح الأطباء المرضى باستخدام سدادات أذن أثناء الفحص. يمكن أن تؤدي موجات الراديو المستخدمة إلى ارتفاع طفيف في درجة حرارة الأنسجة، ولكن نادرًا ما تسبب أضرارًا خطيرة.[24]

2-6-4 الخوف من الأماكن المغلقة (Claustrophobia)

يعاني بعض المرضى من رهاب الأماكن الضيقة أثناء الفحص داخل أنبوب الرنين المغناطيسي. في بعض الحالات، يُطلب استخدام مهدئات أو اللجوء إلى أجهزة MRI ذات التصميم المفتوح لتخفيف التوتر.[25]

2-6-5 تأثيرات محتملة على المرأة الحامل

لا يوجد دليل قاطع على أن الرنين المغناطيسي يسبب ضررًا للأجنة، لكن يفضل تجنب الفحص خلال الأشهر الثلاثة الأولى من الحمل ما لم يكن ضروريًا.

صبغة الغادولينيوم يجب استخدامها فقط عند الضرورة، حيث قد تعبر المشيمة إلى الجنين.[26]

2-7 الاحتياطات لتجنب المخاطر

إجراء فحص طبي شامل قبل الرنين المغناطيسي للتحقق من وجود أجهزة معدنية أو حساسية تجاه الصبغات. استخدام سدادات أذن لتقليل تأثير الضوضاء أثناء الفحص. استشارة طبيب متخصص قبل استخدام صبغة التباين، خاصةً في حالات الفشل الكلوي أو الحساسية. تقديم بدائل للأشخاص المصابين برهاب الأماكن المغلقة، مثل MRI المفتوح أو استخدام مهدئات خفيفة.[27]

الفصل الثالث

التصوير بالرنين المغناطيسي

(MRI)

المقدمة:

يُعد التصوير بالرنين المغناطيسي (MRI) إجراءً تشخيصيًا معترفًا به عالميًا، ويُعرف بشكل خاص بتباينه الفائق للأنسجة الرخوة، وتصويره عالي الدقة، وخصائصه الإشعاعية غير المؤينة، مما يجعله أداة لا غنى عنها في المجال الطبي. ومع ذلك، لتحسين حساسية التصوير بالرنين المغناطيسي وخصوصيته تجاه أمراض معينة، يصبح استخدام عوامل التباين ضروريًا. تركز التطورات الحديثة على عوامل التباين في التصوير بالرنين المغناطيسي القائمة على المواد النانوية لتحسين دقة التشخيص وجودة الصورة. تُسلط هذه المراجعة الضوء على التطورات في هذه العوامل، بما في ذلك الجسيمات النانوية لأكسيد المعادن، والمواد القائمة على الكربون، والجسيمات النانوية الذهبية، والنقاط الكمومية. وتناقش أدوارها في العلاجات الموجهة بالرنين المغناطيسي مثل توصيل الأدوية المستهدف، وفرط الحرارة، والعلاج الإشعاعي، والعلاج الضوئي الديناميكي، والعلاج المعزز للمناعة، والعلاج الجيني. كما يتم تقديم رؤى حول الإمكانات المستقبلية لعوامل التباين في التصوير بالرنين المغناطيسي في طب التصوير.

عوامل التباين في التصوير بالرنين المغناطيسي القائمة على المواد النانوية

جسيمات أكسيد الحديد النانوية فائقة البارا مغناطيسية (SPIONs) هي جسيمات نانوية تتكون من الحديد والأكسجين، وتتميز بخصائص مغناطيسية يمكن التحكم فيها واستخدامها في تطبيقات متنوعة، مثل التصوير الطبي الحيوي[28] .تتميز جسيمات SPIONs بخصائص تباين T2، مما يجعلها مناسبة لتعزيز تباين الأنسجة في التصوير بالرنين المغناطيسي .وقد خضعت توافقيتها الحيوية، واستقرارها، ومغناطيسيتها الفائقة تحت تأثير المجالات المغناطيسية لدراسة مستفيضة، مما زاد من جاذبيتها للتطبيقات الطبية الحيوية. علاوة على ذلك، استُكشفت تطبيقات SPIONs في مجموعة من التطبيقات، بما في ذلك توصيل الأدوية المُستهدفة، والهندسة الخلوية، وتتبع الخلايا[29]. كما استُخدمت SPIONs كعوامل تباين في التصوير بالرنين المغناطيسي، حيث تُنشئ مغناطيسيتها الفائقة مجالًا

مغناطيسيًا محليًا غير متساوٍ، مما يؤدي إلى انخفاض قيم T2 في التصوير بالرنين المغناطيسي. كما بُحثت السمية المحتملة لـ SPIONs، مما يؤكد على ضرورة فهم آثارها البيولوجية.

1-3 جسيمات أكسيد الحديد النانوية فائقة المغناطيسية فائقة الصغر (USPIONs)

تتميز جسيمات أكسيد الحديد النانوية فائقة المغناطيسية فائقة الصغر (USPIONs) بأقطار نواة أقل من 5.0 نانومتر، ومن المتوقع أن تُمثل فئة جديدة من عوامل التباين. ينبع تطبيقها الواعد من أدائها المُحسّن في التصوير بالرنين المغناطيسي، وإطالة مدة دورانها في مجرى الدم بعد تعديلات سطحية مناسبة، وقدرتها على التصفية الكلوية، وملف السلامة الحيوية المتميز [30].هذا يجعلها واعدة بشكل خاص للاستخدام في التصوير بالرنين المغناطيسي، وهي تقنية معروفة بتوفير معلومات مورفولوجية ووظيفية مفصلة حول اللويحات الصعيدية

تُظهر عوامل أكسيد الحديد هذه فقدانًا للإشارة يعتمد على تركيزها في تسلسلات التصوير بالرنين المغناطيسي المرجحة بـ T2 وT2*، مما يجعلها عوامل تباين مستقبلية محتملة للمرضى المعرضين للتليف الجهازي الكلوي[31] . يمكن الكشف عن الخلايا البلعمية، وهي الخلايا الالتهابية السائدة الموجودة في آفات السكتة الدماغية، بفعالية باستخدام USPIONs كعامل تصوير بالرنين المغناطيسي انتقائي للخلايا . في الأبحاث التي ركزت على الاستجابات الالتهابية التي تلي السكتات الدماغية الإقفارية، تم إعطاء USPIONs بعد فحوصات التصوير بالرنين المغناطيسي التي أجريت في اليوم السادس. علاوة على ذلك، أثارت جسيمات USPIO النانوية الاهتمام كعوامل تباين محتملة في التصوير بالرنين المغناطيسي في تشخيص الأورام .صُممت أنوية USPIONs أحادية التشتت، المُنتَجة عبر التحلل الحراري لسلائف أوليات الحديد (III)، كعوامل تباين T1 خالية من الغادولينيوم لتصوير الأوعية الدموية[32]. وفحصت دراسة فعالية R2* ورسم خرائط الحساسية الكمية في التقييم الكمي لتراكم جسيمات USPIONs في فئران arcAβ.

1-1-3جسيمات أكسيد الحديد النانوية

تُستخدم جسيمات أكسيد الحديد النانوية (Fe3O4 NPs) في التصوير بالرنين المغناطيسي كعوامل تباين، مستفيدةً من خصائصها المغناطيسية لتحسين جودة التصوير وتمكين تصوير أنسجة أو أعضاء محددة بحساسية ودقة أعلى. وقد أثارت جسيمات أكسيد الحديد النانوية، وتحديدًا Fe3O4، اهتمامًا كبيرًا نظرًا لفائدتها المحتملة كعوامل تباين في التصوير بالرنين المغناطيسي.وقد أظهرت دراسة أن جسيمات أكسيد الحديد النانوية Fe3O4 تُعزز التباين بفعالية في صور التصوير بالرنين المغناطيسي المرجحة بـ (T2). علاوة على ذلك، ونظرًا لخصائصها المغناطيسية وتوافقها البيولوجي[33]، فقد استُخدمت جسيمات أكسيد الحديد النانوية Fe3O4 على نطاق واسع في توصيل الأدوية والتصوير بالرنين المغناطيسي .فتحت استكشافات الاستخدام الحيوي لجسيمات Fe3O4 النانوية آفاقًا جديدة للتطبيقات في فرط الحرارة المغناطيسي والتصوير بالرنين المغناطيسي. علاوة على ذلك، أظهرت جسيمات كربيد الحديد النانوية عالية المغناطيسية نتائج واعدة كعوامل تباين T2 فعّالة، مما يشير إلى إمكانيات استخدام عوامل التباين القائمة على Fe3O4 في التصوير بالرنين المغناطيسي .صُممت جسيمات Fe3O4 النانوية الكربونية متوسطة المسامية كحاملات نانوية فعّالة تستهدف الأورام، وذلك لتعزيز العلاج الكيميائي والعلاج

الضوئي الحراري، مما يؤكد إمكاناتها في علاج السرطان والتصوير. في هذا السياق، تبحث أبحاث حديثة في نهج جديد لربط Gefitinid المعدل، وهو دواء أساسي لسرطان الرئة غير صغير الخلايا، مع جسيمات نانوية من Fe3O4 لتحسين كفاءة توصيل أدوية العلاج الكيميائي. تهدف الدراسة إلى دراسة كيفية امتصاص الدواء في المناطق الداخلية والخارجية للأورام باستخدام توجيه التصوير بالرنين المغناطيسي، بهدف تحقيق علاجات أكثر فعالية للسرطان. يُبرز هذا التطبيق المزدوج لجسيمات Fe3O4 النانوية تنوعها في تحسين تقنيات التصوير وتسهيل توصيل الدواء المستهدف، مما يُسهم في نهاية المطاف في تحسين نتائج علاج السرطان .علاوة على ذلك، تناولت الأبحاث دور جسيمات الكربون النانوية متوسطة المسامية من Fe3O4 في تحسين التصوير بالرنين المغناطيسي وارتفاع الحرارة لعلاج السرطان [34]. ركزت الأبحاث أيضًا على الخصائص البصرية والمغناطيسية لجسيمات الكربون النانوية متوسطة المسامية Fe3O4 فائقة المغناطيسية، مما يوضح إمكاناتها في تطبيقات متنوعة، بما في ذلك التصوير بالرنين المغناطيسي .وقد زودتنا دراسات محاكاة الديناميكيات الجزيئية برؤى ثاقبة حول امتصاص البوليمرات الحيوية المتنوعة على جسيمات الكربون النانوية متوسطة المسامية Fe3O4، مما زاد من إثراء فهمنا لإمكاناتها كعوامل تباين في التصوير بالرنين المغناطيسي .بالإضافة إلى ذلك، دُرست تقنية تصوير الجسيمات المغناطيسية لتتبع الخلايا، حيث تُستخدم جسيمات أكسيد الحديد النانوية فائقة المغناطيسية، بما في ذلك جسيمات الكربون النانوية متوسطة المسامية Fe3O4، على نطاق واسع لهذا الغرض. [35]

3-1-2جسيمات أكسيد المنغنيز النانوية

حظيت جسيمات أكسيد المنغنيز النانوية (MnONPs) باهتمام كبير كعوامل تباين محتملة في التصوير بالرنين المغناطيسي، نظرًا لخصائصها الفريدة التي تجعلها مرشحة مثالية لتعزيز قدرات التصوير. تتميز جسيمات أكسيد المنغنيز المغلفة نانويًا (NEMO) بخصائص مثل إشارات قابلة للتبديل بين الأس الهيدروجيني، وسعة تحميل معدنية عالية، وقدرات استهداف، مما يجعلها مثالية لتطبيقات تصوير محددة[36]. أظهرت جسيمات أكسيد المنغنيز غير العضوية وكربونات المنغنيز تنوعًا في التصوير بالرنين المغناطيسي الجزيئي والخلوي كعوامل تباين قابلة للتحويل. وتؤكد فعاليتها كعوامل تباين T1 في التصوير بالرنين المغناطيسي للأبحاث ما قبل السريرية على إمكاناتها في التصوير التشخيصي.

تُتيح استجابة البنى النانوية القائمة على المنغنيز كعوامل تباين في التصوير بالرنين المغناطيسي أداءً قابلاً للضبط لتعزيز قدرات التصوير في التشخيص الطبي [37]. ويُقدم إنتاج الليبوزومات العلاجية التشخيصية المُعدّلة باستخدام أبتامر AS1411، الذي يُغلف عوامل التباين النانوية لأكسيد المنغنيز وباكليتاكسيل، نهجًا مبتكرًا لتصوير السرطان وعلاجه . وقد أظهرت الدراسات أن الجسيمات النانوية Mn3O4@SiO2 المُعدّلة بحمض الفوليك تُظهر استقرارًا غرونيًا عاليًا واستهدافًا فعالًا لخلايا هيلا، مما يؤدي إلى تراكم كبير في الورم وتعزيز إشارات التصوير بالرنين المغناطيسي . وبالمثل، تتحلل جسيمات H-MnO2-PEG/C&D النانوية في البيئات الحمضية لإطلاق الأدوية، مع تحسين تباين T1 بشكل ملحوظ في التصوير بالرنين المغناطيسي، مما يُظهر إمكاناتها في استهداف الأورام بشكل سلبي وتحقيق تأثيرات علاجية تآزرية من خلال الجمع بين العلاج الكيميائي والعلاج الضوئي الديناميكي[38] .

علاوة على ذلك، تُظهر جسيمات FA-Mn3O4@PDA@PEG النانوية استرخاءً طوليًا فائقًا يبلغ 14.47 ملي مولار ^-1-^1s أي ما يقرب من ثلاثة أضعاف العوامل التجارية - مما يُظهر فعاليتها كعوامل تباين في التصوير بالرنين المغناطيسي ومنصات علاجية تحت إشعاع الليزر القريب من الأشعة تحت الحمراء. أظهرت هياكل أكسيد المنغنيز النانوية تحسيناتٍ عاليةً في الإشارة واستجابةً عاليةً كوسط تباينٍ للتصوير بالرنين المغناطيسي، مما يُظهر إمكاناتها الواعدة في تقنيات التصوير المختبري. وقد سهّلت الخصائص البارامغناطيسية لجسيمات أكسيد الحديد النانوية المُهندَسة بالمنغنيز ضبط قدرات التباين T1 وT2، مما أدى إلى تطوير عوامل تباين متعددة الاستخدامات للتصوير بالرنين المغناطيسي ذات قدرات تصوير فائقة .وقد دُرست التشخيصات العلاجية القائمة على المذيلات الدهنية والمُحمّلة بالمنغنيز لقدرتها على توصيل الأدوية والجينات إلى الرئتين في وقتٍ واحد، مما يُبرز إمكانات مركبات المنغنيز كعوامل متعددة الوظائف لكلٍ من الاستخدامات التصويرية والعلاجية. بالإضافة إلى ذلك، فإن البحث في عصائر الفاكهة الغنية بأيونات المنغنيز كوسيط تباين فموي لتصوير الجهاز الهضمي بالرنين المغناطيسي يوضح المصادر المختلفة لوسائط التباين القائمة على المنغنيز[39] .

2-3 المواد النانوية الكربونية

1-2-3 أنابيب الكربون النانوية

تتميز أنابيب الكربون النانوية (CNTs)، المكونة فقط من ذرات الكربون والمُصممة على شكل أسطواني، بمتانتها الاستثنائية، وموصليتها الكهربائية العالية، بالإضافة إلى خصائصها الميكانيكية والحرارية المتميزة[40]. في مجال التصوير بالرنين المغناطيسي، برزت أنابيب الكربون النانوية نظرًا لقدرتها على تحسين عوامل التباين، مما يُحسّن دقة الصورة ويُتيح تصويرًا فائقًا للأنسجة والأعضاء. تشمل هذه الأنابيب النانوية أنابيب الكربون النانوية أحادية الجدار (SWCNTs) وأنابيب الكربون النانوية متعددة الجدران (MWCNTs).كلاهما يجذب اهتمامًا بحثيًا كبيرًا. ولتعزيز خصائصها المغناطيسية وملاءمتها لتعزيز تباين التصوير بالرنين المغناطيسي.[41] تم اتباع استراتيجيات مثل دمج مواد مثل جسيمات الغادولينيوم النانوية في أنابيب الكربون النانوية تبرز أنابيب الكربون النانوية متعددة الجدران، بخصائصها المغناطيسية والإلكترونية المتميزة، وشكلها، وقدرتها على اختراق أغشية الخلايا، كمرشحات جذابة لعوامل التباين في التصوير بالرنين المغناطيسي.تشير الأبحاث إلى أن تغليف أيونات الغادولينيوم داخل أنابيب الكربون النانوية يمكن أن يعزز تباين التصوير بالرنين المغناطيسي للتصوير الخلوي. يُبرز هذا الدور المُحتمل لهذه الأنابيب النانوية في دفع عجلة التقدم في تقنيات التصوير .بالإضافة إلى ذلك، يُمكن لتعديل الأنابيب النانوية الكربونية باستخدام ربيطات مُحددة، مثل حمض الهيالورونيك، أن يُسهّل إيصال مواد التباين إلى الخلايا السرطانية بشكل مُستهدف، مما يُعزز قدرات التصوير بالرنين المغناطيسي التشخيصية. وقد أدى تركيب الأنابيب النانوية الكربونية مع مواد أخرى، مثل جسيمات أكسيد الحديد النانوية، إلى ابتكار وسائط تباين ثنائية الوظيفة، مُناسبة للتصوير بالرنين المغناطيسي وأساليب التصوير البديلة، مما يُعزز قدرة الأنابيب النانوية الكربونية على التكيف في مجموعة من تطبيقات التصوير مُتعددة الوسائط.. [42]

3-2-2جسيمات السيليكون النانوية

جسيمات السيليكون النانوية هي جسيمات دقيقة مصنوعة من السيليكون، تتميز بخصائصها البصرية والإلكترونية المتميزة، مما يجعلها مثالية لتطبيقات متنوعة، بما في ذلك استخدامها كعوامل تباين وفي الطب الحيوي. وقد أشارت الدراسات إلى فعاليتها في تحسين التصوير بالأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR) في طب العيون .ويُعتبر تطوير جسيمات السيليكون النانوية فائقة الاستقطاب تقدمًا كبيرًا في مجال التصوير الطبي الحيوي القائم على التصوير بالرنين المغناطيسي. علاوة على ذلك، أظهر استخدام جسيمات السيليكون النانوية المفلورة نتائج واعدة في الكشف عن السرطان من خلال التصوير بالرنين المغناطيسي F19 والتصوير الفلوري. سهّلت الخصائص المميزة لجسيمات السيليكون النانوية، مثل أزمنة استرخاء T1 الطويلة، تصوير الرنين المغناطيسي السيليكوني فائق الاستقطاب داخل الجسم الحي مع فترات تصوير ممتدة[43]. بالإضافة إلى ذلك، أدى فرط استقطاب جسيمات السيليكون باستخدام الاستقطاب النووي الديناميكي (DNP) إلى زيادة ملحوظة في إشارات الرنين المغناطيسي الخاصة بها، مما جعلها عوامل تباين فعالة في تصوير الرنين المغناطيسي داخل الجسم الحي .وقد دُرست جسيمات السيليكون النانوية لإمكانية استخدامها كعوامل تباين في تصوير الرنين المغناطيسي بدون خلفية، نظرًا لتوافقها البيولوجي وكيمياء سطحها القابلة للتكيف. على الرغم من التقدم المُحرز، لا تزال هناك تحديات في تطوير جسيمات السيليكون النانوية لتطبيقات التصوير بالرنين المغناطيسي، بما في ذلك القضايا المتعلقة بالشكل، وتنظيم الحجم، والتشتت، والتغيرات السطحية .ومع ذلك، فإن أزمنة استرخاء الشبكة المغزلية الطويلة التي تُظهرها جسيمات السيليكون شديدة الاستقطاب تجعلها مرشحة مثيرة للاهتمام لمسبارات التصوير بالرنين المغناطيسي المبتكرة .[44]

3-2-3 الفوليرينات

الفوليرينات جزيئات كربونية ذات بنية تشبه القفص، وتتكون عادةً بأشكال كروية أو أنبوبية. تتميز بخصائص مميزة، بما في ذلك ثباتها الملحوظ وخصائصها المضادة للأكسدة القوية. على سبيل المثال، تُسلط إحدى الدراسات الضوء على استخدام الفوليرينات الداخلية السطوحية القابلة للذوبان في الماء كوسائط تباين في التصوير بالرنين المغناطيسي، مما يُبرز جوانب مثيرة للاهتمام في هذا البحث .بالإضافة إلى ذلك، استخدام الفوليرينات الداخلية السطوحية المحملة بالغادولينيوم كعوامل استرخاء فعالة في التصوير بالرنين المغناطيسي، مما يُؤكد على إمكاناتها في تطبيقات التصوير الطبي الحيوي[45] .علاوة على ذلك، يقدم هذا البحث تحضيرًا مباشرًا لوسيط تباين جديد للتصوير بالرنين المغناطيسي قائم على الجادوفوليرين، يتميز بقدرة استرخاء عالية، مما يُسلّط الضوء على إمكانات الفوليرينات في تحسين تباين التصوير بالرنين المغناطيسي .كما تُقدّم الدراسات رؤىً حول تحضير الفوليرينات، وتعديلاتها الوظيفية، وتطبيقاتها في علوم الحياة، لا سيما في سياق تحسين تباين التصوير بالرنين المغناطيسي. كما نوقشت إمكانات الفوليرينات في تصوير الأورام، وتوصيل الأدوية، وقدرتها

المضادة للأكسدة، مما يُبرز قدراتها متعددة الوظائف، وإمكاناتها في التطبيقات الطبية الحيوية. علاوة على ذلك، تتناول هذه الدراسات التحديات والفرص المتعلقة باستخدام الفوليرينات كوسائط تباين في التصوير بالرنين المغناطيسي، مع التركيز على خصائصها الفيزيائية الفريدة واستخداماتها التكنولوجية المحتملة في التصوير الطبي . [46]

4-2-3 الجرافين Graphene

يتكون الجرافين من طبقة واحدة من ذرات الكربون مُرتبة في شبكة ثنائية الأبعاد تشبه قرص العسل، وتتميز بقوتها وموصليتها الكهربائية وشفافيتها الاستثنائية. استُخدمت المواد النانوية الهجينة القائمة على الجرافين في تقنيات تصوير تشخيصية مُختلفة، بما في ذلك التصوير الفلوري، والتصوير بالرنين المغناطيسي، والتصوير المقطعي المحوسب [47]، وتصوير النويدات المشعة.أظهرت الجسيمات النانوية الهجينة من نقطة الكم Mn3O4-PDA-الجرافين إمكاناتها في التصوير بالرنين المغناطيسي الموزون T1، والعلاج الضوئي الديناميكي بمساعدة التصوير البصري .أشارت أبحاث سابقة إلى أن مُركّبات البنية النانوية الكربونية Mn2+ المصنوعة من صفائح نانوية من أكسيد الجرافين يُمكن أن تعمل بفعالية كوسيط تباين في التصوير بالرنين المغناطيسي. [48] إن نفاذية الجرافين الفائقة وسلوكياته الضوئية تجعله مادة نانوية جذابة للغاية لتطبيقات التصوير بالرنين المغناطيسي والتصوير الطبي الحيوي.
تتجاوز إمكانات الجرافين في مجال الإلكترونيات المتنوعة والشفافة كهرومغناطيسيًا في التصوير الطبي والتشخيص إمكانات الأقطاب المعدنية التقليدية. علاوة على ذلك، من خلال دمج روابط قطبية محددة بين الكربون والفلور في إطار أكسيد الجرافين صغير الحجم، تم إنشاء مسبار نانوي عالي الذوبان في الماء يتمتع بقدرات تصوير بالرنين المغناطيسي استثنائية، مما يوفر معلومات تشريحية عالية الدقة في التصوير بالرنين المغناطيسي. وقد ثبت أن طلاء الأقطاب الكهربائية الدقيقة النحاسية بالجرافين يقلل من السمية، مما يسمح بتطوير أقطاب عصبية متوافقة مع التصوير بالرنين المغناطيسي.[49]

3-3 جسيمات الذهب النانوية

حظيت جسيمات الذهب النانوية (AuNPs) باهتمام كبير في تشخيص وعلاج السرطان نظرًا لخصائصها الفريدة. فهي مستقرة، وغير مناعية، وذات سمية منخفضة في الجسم الحي. من خلال الاستهداف السلبي (تحسين النفاذية وتأثير الاحتفاظ) أو الاستهداف النشط، يمكن لجسيمات الذهب النانوية أن تتراكم بشكل تفضيلي في الأورام، مما يعزز حساسية التصوير والفعالية العلاجية. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تتراكم PEG أو Zwitterion المستقرة تتميز جسيمات النانو الذهبية بتدفق دموي ملحوظ، مما يؤدي إلى عمر نصف أطول وفترة علاجية أطول مقارنةً بالعوامل الجزيئية الأصغر[50].

إن تركيب وتعديل الخصائص الفيزيائية والكيميائية لجسيمات النانو الذهبية بسيط للغاية. بناءً على حجمها وبنيتها البلورية، يمكن تصنيف جسيمات النانو الذهبية إلى مجموعات بأقطار نانومترية أو جسيمات غروانية تتراوح أقطارها من بضعة نانومترات إلى عدة مئات من النانومترات. وقد بحثت العديد من الدراسات في استخدام جسيمات النانو الذهبية كوسائط تباين في التصوير بالرنين المغناطيسي، بهدف تحسين جودة الصورة وتوفير منصات متعددة الوظائف للاستخدامات الطبية الحيوية. وقد تم عرض إمكانات جسيمات النانو FePt في التصوير الجزيئي ثنائي النمط بالأشعة

المقطعية والرنين المغناطيسي، مما يؤكد على أهمية تطبيق تقنية النانو في أبحاث التوزيع الحيوي والتوافق الحيوي .

تم توظيف جسيمات النانو الذهبية (AuNPs) كوسائط تباين في فحوصات الأشعة السينية والتصوير بالرنين المغناطيسي داخل الجسم الحي، مما يُبرز تنوعها في توفير التباين عبر مختلف وسائل التصوير.أثبتت الأبحاث التأثيرات المُحسِّسة للإشعاع لجسيمات النانو الذهبية (AuNPs) المُقترنة بمخلب الغادولينيوم داخل الجسم الحي، مُسلِّطةً الضوء على قدرتها على تحسين تباين التصوير بالرنين المغناطيسي. بالإضافة إلى ذلك، تم تصنيع جسيمات نانوية هجينة من أكسيد الذهب والحديد لاستخدامها كمنصة متقدمة لعوامل التباين في التصوير بالرنين المغناطيسي، مع استغلال الخصائص الفريدة لكل مادة لتحسين التصوير. [51]تم فحص تأثير PEGylation على الامتصاص الخلوي وتوزيع جسيمات الذهب النانوية في وسائط التباين بالرنين المغناطيسي داخل الجسم الحي، مما يشير إلى إمكاناتها في التصوير الموجه وأبحاث التوزيع الحيوي باستخدام جسيمات الذهب النانوية. صُممت جسيمات الذهب النانوية الوظيفية المخلبية بالجادوليوم كوسائط تباين للتصوير المقطعي المحوسب داخل الجسم الحي والتصوير بالرنين المغناطيسي المرجح بـ T1، مما يُظهر تنوع جسيمات الذهب النانوية في تطبيقات التصوير متعدد الوسائط. كشفت دراسات قياس الاسترخاء على جسيمات الذهب النانوية ذات الأشكال المختلفة والمقترنة بمخلبات الجادوليوم عن استرخاء عالٍ لمنصات النانو المقترنة بالذهب -PEG Gd(III)، مما يشير إلى فعاليتها كوسائط تباين بالرنين المغناطيسي .أُبلغ عن استخدام جسيمات نانوية ذهبية (AuNPs) محمية بالربيطات المهدرجة والمغلفة بمخلبات Gd(III) كوسائط تباين للتصوير بالرنين المغناطيسي أحادي الهيدروجين، مما يُبرز إمكانات جسيمات الذهب النانوية في توفير التباين لتطبيقات التصوير بالرنين المغناطيسي. أظهرت مقارنة جسيمات النانو الذهبية مع عوامل التباين المُيَوْدِية أن جسيمات النانو الذهبية تُعزز التباين بشكل فائق وتُقلل جرعات الإشعاع في التصوير المقطعي المحوسب.[52]

النقاط الكمومية

3- 4النقاط الكمومية الكربونية

النقاط الكمومية الكربونية (CQDs) هي جسيمات كربونية نانوية، معروفة بخصائصها البصرية الفريدة، مما يجعلها قابلة للتطبيق في مجالات عديدة، بما في ذلك علم الأحياء والطب والإلكترونيات. وقد جذبت هذه النقاط اهتمامًا كبيرًا كوسائط تباين محتملة في التصوير بالرنين المغناطيسي نظرًا لخصائصها المميزة. وقد سُلِّط الضوء على دور هذه النقاط الكمومية المشبعة بالجاديوم كوسائط تباين إيجابية في التصوير بالرنين المغناطيسي، كاشفةً عن إمكاناتها في تحسين مواقع التصوير[53]. علاوة على ذلك، يُستنتج أن هذه النقاط الكمومية أقل عرضة لتحفيز مقاومة البكتيريا من المضادات الحيوية، مما يجعلها خيارات جذابة للتطبيق السريري الواسع. بالإضافة إلى التصوير، دُرست إمكانات نقاط الكم الغروانية في الوظائف القاتلة للبكتيريا المُنشَّطة بالضوء المرئي، مما يدل على تطبيقاتها الواسعة النطاق. علاوة على ذلك، ونظرًا لموصليتها الممتازة، وحجمها الصغير، وقدرتها على استيعاب مجموعات وظيفية متنوعة، برزت نقاط الكم الغروانية كمواد نانوية فعّالة في مجال النشاط الكهربائي، مما يجعلها مرشحة واعدة لتطبيقات المكثفات الفائقة.[54]

ومع ذلك، يلزم إجراء تدقيق دقيق في سمية نقاط الكم الغروانية وآثارها على تصوير الخلايا إذا ما أُريد استخدامها كعوامل تصوير خلوي. تُعتبر نقاط الكم الغروانية، وخاصةً تلك التي يقل حجمها عن 10 نانومتر، واعدة في مجال تصوير الميكروبات وكشفها وتعطيلها، وذلك بفضل خصائصها البصرية المتميزة، وأسطحها القابلة للتخصيص، وتوافقها الحيوي الجيد. بالإضافة إلى ذلك، يُتيح تخليق نقاط الكم الغروانية المُشبّعة بالجادوليوم إمكانية استخدامها كمسارات تصوير متعددة الأغراض، ووسائط تباين للتصوير بالرنين المغناطيسي لأغراض التقييم السريري والتصوير العصبي. بالإضافة إلى ذلك، يُقترح إنتاج نقاط الكم الغروانية عبر المعالجة الحرارية المائية كاستراتيجية جديدة لتعزيز كفاءة تباين diaCEST، مما يُوسّع نطاق استخدام نقاط الكم الغروانية في التصوير بالرنين المغناطيسي. وقد لوحظ أن قابلية النقاط الكربونية للماء ووفرة البروتونات القابلة للتبادل على سطحها تحولها إلى عوامل تباين فعالة في التصوير بالرنين المغناطيسي، مما يؤكد قدرتها على التكيف في التصوير متعدد الوسائط . [55]

3-4-1النقاط الكمومية المُشَوَّبَة بالغادولينيوم

النقاط الكمومية المُشَوَّبَة بالغادولينيوم (Gd-QDs) هي جسيمات شبه موصلة نانوية مُشَوَّبَة بالغادولينيوم، تتميز بخصائص مغناطيسية مُحسَّنة، ويمكن استخدامها في تطبيقات التصوير والتشخيص. وقد أثبتت الأبحاث التي أُجريت على الجسيمات النانوية القائمة على الغادولينيوم، مثل Gd2O3 وGdF3 وGdPO4، فعاليتها المحتملة كعوامل تباين في التصوير بالرنين المغناطيسي. علاوة على ذلك، يُتيح تطوير عوامل تباين قائمة على الغادولينيوم ومرتبطة بترابطات مُحددة، مثل الأبتامرات والببتيدات، فرصًا واعدة لتحسين الكشف عن المؤشرات الحيوية، مثل أوليغومرات بيتا أميلويد، وهي عوامل مهمة في مرض الزهايمر.[56] بالإضافة إلى ذلك، أشار تخليق مركبات نانوية من أكسيد الجرافين/Gd2O3 القابلة للتشتت في الماء إلى زيادة في مرونة المرحلة الأولى من التصوير بالرنين المغناطيسي، مما يُسلّط الضوء على إمكانية ابتكار تصاميم مبتكرة لعوامل التباين. وقد دفع البحث عن وسائط تباين أفضل للتصوير بالرنين المغناطيسي إلى إجراء دراسات على ربيطات الجزيئات الكبيرة، والتي تُظهر مرونة أعلى بكثير من عوامل التصوير بالرنين المغناطيسي التجارية القياسية المحتوية على Gd3+. علاوة على ذلك، يُركز البحث على إنتاج وسائط تباين جزيئية كبيرة قابلة للتحلل الحيوي للتصوير بالرنين المغناطيسي لتسهيل إفراز مُخلّبات الجادولينيوم الثلاثي بعد فحوصات التصوير بالرنين المغناطيسي، مما يُعالج المخاوف بشأن احتباس الغادولينيوم في الجسم. تهدف الدراسات المتعلقة بميسيلات البوليمر المُزينة بمُركبات الغادولينيوم إلى تعزيز حساسية التصوير بالرنين المغناطيسي لتطبيقات التصوير المتقدمة. على الرغم من الاستخدام الشائع لوسائط التباين القائمة على الجادولينيوم لخصائصها المُعززة للـ T1، لا تزال هناك مخاوف كبيرة بشأن السمية المحتملة واحتباس الغادولينيوم في الجسم. وقد كشفت الدراسات عن تراكم الغادولينيوم في أدمغة وكلى الأفراد الذين تلقوا هذه الوسائط، مما يُبرز الحاجة إلى بدائل أكثر أمانًا وتوافقًا حيويًا.[57]

3-4-2 النقاط الكمومية المشبعة بالمنجنيز

النقاط الكمومية المشبعة بالمنجنيز (Mn-QDs) هي جسيمات شبه موصلة نانوية مشبعة بأيونات المنجنيز، والتي تمنح خصائص بصرية ومغناطيسية فريدة للتطبيقات. مثل التصوير والاستشعار. إن

الخصائص المميزة لهذه النقاط الكمومية المحتوية على المنغنيز، بما في ذلك خصائصها الفلورية والمغناطيسية، تجعلها جذابة لتطبيقات التصوير ثنائي الوضع .[58]

وعلى وجه الخصوص، دُرست النقاط الكمومية المحتوية على ZnSe والمُشبَّعة بالمنغنيز لإمكاناتها في التصوير ثنائي الوضع الفلوري/التصوير بالرنين المغناطيسي، مما يؤكد ملاءمتها لتطبيقات التصوير الحيوي .علاوة على ذلك، فإن قدرة النقاط الكمومية المحتوية على المنغنيز على تحسين التباين لكل من التصوير بالرنين المغناطيسي المرجح بـ T1 وT2 تجعلها مرشحة متعددة الاستخدامات للتصوير متعدد الأوضاع تشير الدراسات التي أُجريت على تخليق نقاط كمية عالية التوهج من تيلوريد الكادميوم السطحي المُشبَّع بـ Mn2+ إلى إمكاناتها كعوامل تباين متعددة الوسائط، يمكن استخدامها في كل من التصوير الفلوري والتصوير بالرنين المغناطيسي.[59]ومما يعزز من إمكانات النقاط الكمية المُشبَّعة بالمنجنيز كعوامل تباين سلوكها المغناطيسي، مما يجعلها مناسبة للعمليات الضوئية القائمة على الدوران.[60]بالإضافة إلى ذلك، يُؤكد تفاعل الكيمياء الضوئية المُحسَّس بين بيروكسيد الهيدروجين والبيريودات لأنواع مختلفة من النقاط الكمية ZnS المُشبَّعة بالمنجنيز إمكاناتها في تطبيقات التصوير الحيوي المتنوعة. إن تعدد وظائف النقاط الكمومية المصنوعة من المنغنيز، والتي توفر خصائص الفلورسنت والرنين المغناطيسي، يجعلها مرشحة واعدة لوسائل التصوير المتقدمة .[61]

ملخص الأنواع الكيميائية لعوامل التباين النانوية :

النوع	التأثير	المثال	التأثير على الإشارة
SPIONs (أكاسيد الحديد)	مغناطيسية فائقة	Fe_3O_4 ،γ-Fe_2O_3	صورة T2 (تخفيض داكنة)
Gadolinium-based NPs	مغناطيسية قوية	Gd-DTPA داخل جسيم نانوي	صورة T1 (تقصير مضيئة)
Manganese-based NPs	مشابه للجادولينيوم لكن أقل سمية	MnO NPs	T1 تباين

التوصيات

1.دمج الذكاء الاصطناعي مع النانو :MRI-لتحليل الصور والتنبؤ المبكر.

2.نانو-روبوتات مغناطيسية: يمكن توجيهها عبر الحقول المغناطيسية داخل الجسم لتوفير صور وعلاج في الوقت نفسه

3.مواد نانوية عضوية قابلة للتحلل تحل مشكلة السمّية والتراكم طويل الأمد

4. نانوكبسولات تحمل عامل تباين ودواء كما معمول بية حاليا في بعض دول العالم المتقدمة في مجالات الصحة والذكاء الاصطناعي

المصادر

[1]_ رافد أحمد عبدالله "مدخل الئ علم النانو "اي _كتب لندن الطبعة الأولى (2014)

[2]_محمود محمد سليم صالح "تقنيه النانو وعصر علمي جديد" مكتبة الملك فهد الوطنية ،الرياض ، السعودية (2015)

[3]_نهئ العلوي الحبشي "ماهيه تقنيه النانو " مكتبه الملك فهد الوطنية ،الرياض ،السعودية(2009)

[4]_محمد شريف الاسكندري "تكنولوجيا النانو من اجل غد أفضل " ،مكتبه الملك فهد ،مصر (2010)

Heal without Borders.(2017 ،AN overview of what is vulnerability? ،T.v.Analysis[5]

[6]_صادق عبد الوهاب رجب "تقنيه النانو الانسان والبيئة "كليه العلوم جامعه الملك سعود ، الرياض ،السعودية (2012)

[7]D. Approach, Nanomaterials and Biomedicine 2020. https://doi.org/10.1007/978-981-15-5274-8.

[8] I. Khan, K. Saeed, I. Khan, Nanoparticles : Properties, applications and toxicities, Arab. J. Chem:12 (2019) 908–931.

[9]S.P.patil,V.V.Burungale، physicals and chemical properties of nanomaterials ,في :Nanomedicines for Breast Cancer Theranostics, Elsevier, 2020:https://doi.org/10.1016/b978-0-12-820016-2.00002-1.

[10] W. Lu, J. Zhang, Y.S. Li, Q. Chen, X. Wang, A . Hassanien, L. Chen, Contactless characterization of electronic properties of nanomaterials using. dielectric force microscopy, J. Phys. Chem. C. 116 7163–7158 (2012)https://doi.org/10.1021/jp300731p.

[11] K. Jagiello, B. Chomicz, A. Avramopoulos, A Gajewicz, A. Mikolajczyk, P. Bonifassi, M.G. Papadopoulos, J. Leszczynski, T. Puzyn, Size dependent electronic properties of nan Struct.Chem.28(2017)635–643 https://doi.org/10.1007/s11224-016-0838-2

[12]D.H.K. Reddy, W. Wei, L. Shuo, M.H. Song ,Y.S. Yun, Fabrication of Stable and Regenerable Amine Functionalized Magnetic Nanoparticles as a Potential Material for Pt(IV) Recovery from Acidic Solutions, ACS Appl. Mater. Interfaces .9 (2017) 18650–18659.

[13]N. Saba, M.T. Paridah, K. Abdan, N.A. Ibrahim ,Effect of oil palm nano filler on mechanical and morphological properties of kenaf reinforced epoxy composites, Constr. Build. Mater. 123 https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.1

[14] V.K. Khanna, Nanomaterials and Their Properties,:2016 https://doi.org/10.1007/978-81-322-3625-2_3.

[15]العلي: ليلى صالح الإسكندراني، محمد شريف القطان، محمد، عبد الحميد، أحمد، التقانة الثانوية مسيرة وتطبيقات التقانة الثانوية لدفع قاطرة التنمية التقانة الثانوية والصناعات النفطية - النانو تكنولوجي عالم صغير ومستقبل كبير مجلة التقدم العلمي الكويت: مؤسسة الكويت للتقدم العلمي العدد ٦٦ ، صفحات: ٢٥-٣٣ (أكتوبر (٢٠٠٩م).

[16]Mamin , H. J.,\ Nature Nanotechnology (2007).

[17] McRobbie DW, Moore EA, Graves MJ, Prince MR (2007). MRI from Picture to Proton. Cambridge University Press.

[18] Hoult DI, Bahkar B (1998). "NMR Signal Reception: Virtual Photons and Coherent Spontaneous Emission". Concepts in Magnetic Resonance. 9 (5): 277–297.

[19] McRobbie DW (2007). MRI from picture to proton. Cambridge, UK; New York: Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-68384-5.

[20] De Leon-Rodriguez, L.M. (2015). "Basic MR Relaxation Mechanisms and Contrast Agent Design(https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4537356) . Journal of Magnetic Resonance Imaging. 42 (3): 545–565

[21] Smith-Bindman R, Miglioretti DL, Johnson E, Lee C, Feigelson HS, Flynn M, et al .June 2012). "Use of diagnostic imaging studies and associated radiation exposure for patients enrolled in large integrated health care systems, 1996-2010". .

[22] Kanal, E., Barkovich, A. J., et al. (2007). ACR guidance document on MR safe practices: 2007. American Journal of Roentgenology, 188(6), 1447-1474.

[23] Shellock, F. G., & Spinazzi, A. (2008). MRI safety update 2008: Part 1, MRI contrast agents and nephrogenic systemic fibrosis. American Journal of Roentgenology, 191(4), 1129-1139.

[24] McRobbie, D. W. (2012). Essentials of MRI safety. Physics in Medicine & Biology, 57(13), R153.

[25] Dewey, M., Schink, T., et al. (2007.(Claustrophobia during MR imaging:Cohort study in over 55,000 patients

[26] Ray, J. G., Vermeulen, M. J., et al. (2016). Association between MRI exposure during pregnancy and fetal and childhood outcomes. JAMA, 316(9), 952-961.

[27] Kanal, E., Barkovich, A. J., et al. (2007). ACR guidance document on MR safe practices: 2007. American Journal of Roentgenology, 188(6), 1447-1474.

[28] Kandasamy, G., and Maity, D. (2015). Recent advances in superparamagnetic iron oxide nanoparticles (SPIONs) for in vitro and in vivo cancer nanotheranostics. Int .J. Pharm. 496, 191–218. doi:10.1016/j.ijpharm.2015.10.058

[29] Singh, N., Jenkins, G. J., Asadi, R., and Doak, S. H. (2010). Potential toxicity of superparamagnetic iron oxide nanoparticles (SPION). Nano Rev. 1, 5358. doi:10.3402/nano.v1i0.5358

[30] Sadat, U., Usman, A., and Gillard, J. H. (2017). Imaging pathobiology of carotid atherosclerosis with ultrasmall superparamagnetic particles of iron oxide: an update .Curr. Opin. Cardiol. 32, 437–440. doi:10.1097/hco.0000000000000413

[31] Neuwelt, E. A., Hamilton, B. E., Varallyay, C. G., Rooney, W. R., Edelman, R. D ,.Jacobs, P. M., et al. (2009). Ultrasmall superparamagnetic iron oxides (USPIOs): a future alternative magnetic resonance (MR) contrast agent for patients at risk for nephrogenic systemic fibrosis (NSF)? Kidney Int. 75, 465–474. doi:10.1038/ki.2008.496

[32] Khandhar, A. P., Wilson, G. J., Kaul, M. G., Salamon, J., Jung, C., and Krishnan, K. M . (2018)Evaluating size-dependent relaxivity of PEGylated-USPIOs to develop gadolinium-free T1 contrast agents for vascular imaging. J. Biomed. Mater. Res. Part A 106, 2440–2447. doi:10.1002/jbm.a.36438

[33]Shou, P., Yu, Z., Wu, Y., Feng, Q., Zhou, B., Xing, J., et al. (2020). Zn2+ doped ultrasmall prussian blue nanotheranostic agent for breast cancer photothermal therapy under MR imaging guidance. Adv. Healthc. Mater. 9, 1900948. doi:10.1002/adhm .201900948

[34]Wei, H., Hu, Y., Wang, J., Gao, X., Qian, X., and Tang, M. (2021). Superparamagnetic iron oxide nanoparticles: cytotoxicity, metabolism, and cellular behavior in biomedicine applications. Int. J. nanomedicine 16, 6097–6113. doi:10.2147/ijn.s321984

[35] Sehl, O. C., Gevaert, J. J., Melo, K. P., Knier, N. N., and Foster, P. J. (2020). A perspective on cell tracking with magnetic particle imaging. Tomography 6, 315–324 . doi:10.18383/j.tom.2020.00043

[36]Martinez de la Torre, C., Freshwater, K. A., Looney-Sanders, M. A., Wang, Q., and Bennewitz, M. F. (2023). Caveat emptor: commercialized manganese oxide nanoparticles exhibit unintended properties. ACS omega 8, 18799–18810. doi:10.1021/acsomega.3c00892

[37]Yang, X., Zhou, Z., Wang, L., Tang, C., Yang, H., and Yang, S. (2014). Folate conjugated Mn3O4@ SiO2 nanoparticles for targeted magnetic resonance imaging in vivo. Mater. Res. Bull. 57, 97–102. doi:10.1016/j.materresbull.2014.05.023

[38]Bañobre-López, M., García-Hevia, L., Cerqueira, M. F., Rivadulla, F., and Gallo, J .

(2018)Tunable performance of manganese oxide nanostructures as MRI contrast agents. Chemistry–A Eur. J. 24, 1221–1303. doi:10.1002/chem.201705894

[39]Rizzo, D., Ravera, E., Fragai, M., Parigi, G., and Luchinat, C. (2021). Origin of the MRI contrast in natural and hydrogel formulation of pineapple juice. Bioinorganic Chem .Appl. 2021, 1–12. doi:10.1155/2021/6666018

[40]Zhang, Y., Le, S., Li, H., Ji, B., Wang, M.-H., Tao, J., et al. (2021). MRI magnetic compatible electrical neural interface: from materials to application. Biosens .Bioelectron. 194, 113592. doi:10.1016/j.bios.2021.113592

[41] Maciejewska, B. M., Warowicka, A., Baranowska-Korczyc, A., Załęski, K., Zalewski ,T., Kozioł, K. K., et al. (2015). Magnetic and hydrophilic MWCNT/Fe composites as potential T2-weighted MRI contrast agents. Carbon 94, 1012–1020. doi:10.1016/j .carbon.2015.07.091

[42] Yang, X., Zhou, Z., Wang, L., Tang, C., Yang, H., and Yang, S. (2014). Folate conjugated Mn3O4@ SiO2 nanoparticles for targeted magnetic resonance imaging in vivo. Mater. Res. Bull. 57, 97–102. doi:10.1016/j.materresbull.2014.05.023

[43] Zhang, Y., Baker, P. J., and Casabianca, L. B. (2016b). BDPA-doped polystyrene beads as polarization agents for DNP-NMR. J. Phys. Chem. B 120, 18–24. doi:10.1021/acs.jpcb.5b08741

[44] Kwiatkowski, G., Jähnig, F., Steinhauser, J., Wespi, P., Ernst, M., and Kozerke, S . (2017)Nanometer size silicon particles for hyperpolarized MRI. Sci. Rep. 7, 7946 . doi:10.1038/s41598-017-08709-0

[45] Ghiassi, K. B., Olmstead, M. M., and Balch, A. L. (2014). Gadolinium-containing endohedral fullerenes: structures and function as magnetic resonance imaging (MRI(agents. Dalton Trans. 43, 7346–7358. doi:10.1039/c3dt53517

[46] Bolskar, R. D., Benedetto, A. F., Husebo, L. O., Price, R. E., Jackson, E. F., Wallace, S ,.et al. (2003). First soluble M@ C60 derivatives provide enhanced access to metallofullerenes and permit in vivo evaluation of Gd@ C60 [C (COOH) 2] 10 as a MRI contrast agent. J. Am. Chem. Soc. 125, 5471–5478. doi:10.1021/ja0340984

[47] Akinwande, D., Brennan, C. J., Bunch, J. S., Egberts, P., Felts, J. R., Gao, H., et al(2017) .A review on mechanics and mechanical properties of 2D materials—graphene and beyond. Extreme Mech. Lett. 13, 42–77. doi:10.1016/j.eml.2017.01.008

[48] Xiao, Y.-D., Paudel, R., Liu, J., Ma, C., Zhang, Z.-S., and Zhou, S.-K. (2016). MRI contrast agents: classification and application (Review). Int. J. Mol. Med. 38, 1319–1326 . doi:10.3892/ijmm.2016.2744

[49] Fairfield, J. A. (2018). Nanostructured materials for neural electrical interfaces. Adv . Funct. Mater. 28, 1701145. doi:10.1002/adfm.201701145

[50]Huang, X., Peng, X., Wang, Y., Wang, Y., Shin, D. M., El-Sayed, M. A., et al. (2010). A reexamination of active and passive tumor targeting by using rod-shaped gold nanocrystals and covalently conjugated peptide ligands. ACS nano 4, 5887–5896 .doi:10.1021/nn102055s

[51] Hoskins, C., Min, Y., Gueorguieva, M., McDougall, C., Volovick, A., Prentice, P., et al . (2012)Hybrid gold-iron oxide nanoparticles as a multifunctional platform for biomedical application. J. nanobiotechnology 10, 27–12. doi:10.1186/1477-3155-10-27

[52] Taghavi, H., Bakhshandeh, M., Montazerabadi, A., Moghadam, H. N., Shahri, S. B .M., and Keshtkar, M. (2020). Comparison of gold nanoparticles and iodinated contrast media in radiation dose reduction and contrast enhancement in computed tomography .Iran. J. Radiology 17. doi:10.5812/iranjradiol.92446

[53]Atabaev, T. S. (2018). Doped carbon dots for sensing and bioimaging applications: a minireview. Nanomaterials 8, 342. doi:10.3390/nano8050342

[54]Prasath, A., Athika, M., Duraisamy, E., Sharma, A. S., and Elumalai, P. (2018 .(Carbon-quantum-dot-derived nanostructured MnO2 and its symmetrical supercapacitor performances. ChemistrySelect 3, 8713–8723. doi:10.1002/slct .201801950

[55] Zhang, J., Yuan, Y., Gao, M., Han, Z., Chu, C., Li, Y., et al. (2019). Carbon dots as a new class of diamagnetic chemical exchange saturation transfer (diaCEST) MRI contrast agents. Angew. Chem. Int. Ed. 58, 9871–9875. doi:10.1002/anie.201904722

[56] Kim, S. T., Kim, H. G., Kim, Y. M., Han, H. S., Cho, J. H., Lim, S. C., et al. (2023). An aptamer-based magnetic resonance imaging contrast agent for detecting oligomeric amyloid-β in the brain of an Alzheimer's disease mouse model. NMR Biomed. 36, e4862 . doi:10.1002/nbm.4862

[57] DeAguero, J., Howard, T., Kusewitt, D., Brearley, A., Ali, A.-M., Degnan, J. H., et al . (2023)The onset of rare earth metallosis begins with renal gadolinium-rich nanoparticles from magnetic resonance imaging contrast agent exposure. Sci. Rep .13, 2025. doi:10.1038/s41598-023-28666-1

[58] Zhou, R., Sun, S., Li, C., Wu, L., Hou, X., and Wu, P. (2018). Enriching Mn-doped ZnSe quantum dots onto mesoporous silica nanoparticles for enhanced fluorescence /magnetic resonance imaging dual-modal bio-imaging. ACS Appl. Mater. and interfaces 10, 34060–34067. doi:10.1021/acsami.8b14554

[59] Zhang, F., He, F., He, X. W., Li, W. Y., and Zhang, Y. K. (2014). Aqueous synthesis of highly luminescent surface Mn2+-doped CdTe quantum dots as a potential multimodal agent. Luminescence 29, 1059–1065. doi:10.1002/bio.2660

[60]Echeverría-Arrondo, C., Pérez-Conde, J., and Ayuela, A. (2009). Optical spin control in nanocrystalline magnetic nanoswitches. Appl. Phys. Lett. 95. doi:10.1063/1.3193545

[61]Gharghani, S., Zare, H., Shahedi, Z., Fazaeli, Y., and Rahighi, R. (2021). Synthesis of magnetic ions-doped QDs synthesized via a facial aqueous solution method for optical /MR dual-modality imaging applications. J. Fluoresc. 31, 897–906. doi:10.1007/s10895 -021-02720-5