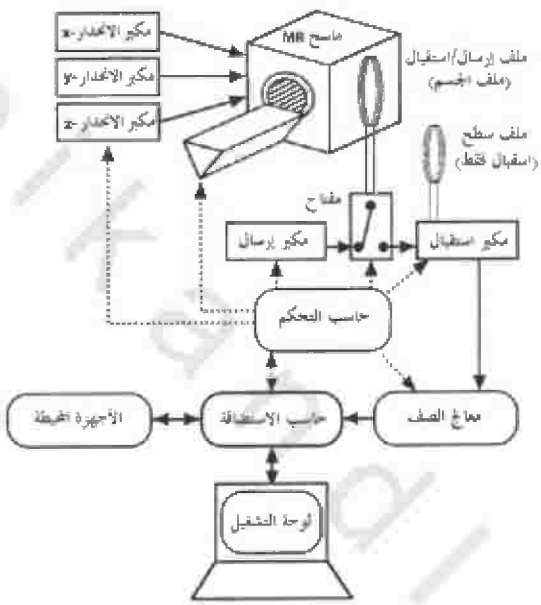
الفصل السادس

ماسح الرنين المغناطيسي
The MR Scanner

لقد تم ذكر جميع المكونات الأساسية لجهاز التصوير بالرنين المغناطيسي MRI وسنُعيد ذكرها الآن وهي كما يلي: (الشكل رقم ٢٧)

- مغناطيس قوي لتوليد مجال مغناطيسي ثابت (B_0) .
- نظام انحدار يتكون من ثلاث ملفات لإنتاج مجالات خطية في الاتجاهات x و y و z والمكبرات المناظرة.
- مرسل موجات راديوية RF بملف إرسال مبني في الماسح.
- مستقبل موجات راديو RF عالي الحساسية لالتقاط إشارة الرنين المغناطيسي MR وتكبيرها. بدلا من ذلك، يمكن للمصورين استخدام ملف راديو RF واحد يتنقل بين الإرسال والاستقبال.
- ملفات إضافية، إما ملفات استقبال وإما ملفات إرسال/ استقبال.
- حاسبات مختلفة للتحكم في الماسح والانحدار (حاسب تحكم)، لتوليد صور الرنين المغناطيسي MR (معالج المصفوفة)، ولمحورة كل العمليات (الحاسب الأساسي أو الاستضافة، والتي يوصل إليها لوحة التشغيل وأرشيفات الصورة).

- أجهزة محيطة أخرى مثل التحكم في جدول المريض، جهاز رسم القلب (E^{CG}) ومراقبة التنفس لبدء تتابعات الرنين المغناطيسي MR الخاصة، نظام تبريد للمغناطيس، لوحة تشغيل للمشغل (لمعالجة الصور مثلاً)، جهاز لتحميض الأفلام أو PACS نظام أرشيف واتصالات للصورة.



الشكل رقم (٢٧). المكونات الأساسية لماسح الرنين المغناطيسي MR .

(٦, ١) المغناطيس The Magnet

المجال المغناطيسي المتولد بالمغناطيس يجب أن تكون له الخواص التالية:

- شدة مناسبة، والتي تتراوح بين ٠,١ و ٣,٠ T في حالة التصوير بالرنين المغناطيسي MR الطبي.
- ثبات عالي بدون أي تغيرات في شدة المجال.

- أحسن تجانس ممكن مع انتظام الشدة في كل المجال بدون أي ثقوب. يعبر عن تجانس المجال بالجزء في المليون ppm نسبة إلى المجال الأساسي على مدى مسافة معينة. عدم التجانس خلال حجم المسح يجب أن يكون أقل من ٥ ppm (٠,٠٠٠٥٪).

ثلاث أنواع من المغناطيسيات يمكن تمييزها:

١- مغناطيسيات مقاومة resistive magnets وهي مغناطيسيات كهربية عادية تعتمد على مصدر قدرة ثابت لتوليد شدة المجال. أقصى شدة مجال تتولد بمغناطيس المقاومة تكون حوالي ٠,٣ T. العيوب الأساسية هي تكلفة التشغيل العالية نتيجة كمية القدرة المطلوبة وتجانس المجال السيء في العادة. من المميزات لهذا النظام، الأمان حيث يمكن وقف المجال لحظيا في حالة أي طوارئ.

٢- مغناطيسيات دائمة تتكون من مواد فرّومغناطيسية تولد مجالاً مغناطيسياً يبقى حتى بدون استخدام مصدر قدرة خارجية. وبذلك، فإن المغناطيسيات الدائمة تكون ثقيلة جداً، يمكنها إعطاء مجال حوالي ٠,٥ T فقط، ويعتمد على ثبات درجة الحرارة الخارجية.

٣- مغناطيسيات التوصيل المتناهي أو التوصيل الفائق Superconducting magnets تتكون من ملف مصنوع من سبيكة النيوبيوم- التيتانيوم (niobium- titanium (Nb-Ti والتي تتلاشى مقاومتها للتيار الكهربي تقريبا عند تبريدها قريبا من الصفر المطلق (٤ درجات كلفن، أو -٢٦٩ درجة مئوية). في هذه الحالة من التوصيلية المتناهية، والتي يتم الحصول عليها باستخدام مادة مبردة تعرف بمخفضات درجة الحرارة cryogens (وهي في العادة الهيليوم السائل)، فإنه بمجرد تمرير التيار فيها فإنه يمر إلى مالانهاية. بمجرد تكون المجال المغناطيسي فإنه يبقى بدون أي قدرة خارجية. مجالات قوية جداً ومتجانسة تصل إلى ١٨ T يمكن توليدها بهذه الطريقة. على الرغم من ذلك، فإن الهليوم السائل يتبخر ويجب إمداده باستمرار. في حالات

الطوارئ لا يمكن ببساطة وقف المغناطيس. حوالي ٩٥٪ من أنظمة الرنين المغناطيسي MR هذه الأيام تستخدم مغناطيسيات متناهية التوصيل. القمع أو الإخماد يقصد به الفقد المفاجئ للتوصيلية المتناهية للمغناطيس مع انهيار المجال المغناطيسي والذي قد ينشأ نتيجة حركة دقيقة للملف. نتيجة طاقة الاحتكاك المتولدة من هذه العملية، فإن درجة الحرارة ترتفع فوق حد التشبع للتوصيلية المتناهية وبذلك يكتسب الملف مقاومة. مرور التيار خلال مساحة المقاومة المرتفعة يولد حرارة، والتي تسبب غليان مفاجئ للهليوم السائل. مخاطر القمع يمكن تقليلها عن طريق عزل سبيكة النيوبيوم- التيتانيوم Nb-Ti بملفات نحاس إضافية. القمع المغناطيسي يمثل عوامل خطيرة ولكنها أصبحت نادرة باستخدام أحدث تقنيات المغناطيسيات.

تجانس المجال المغناطيسي يكون دائماً مطلباً مهماً في التصوير بالرنين المغناطيسي MRI الطبي، بصرف النظر عن المغناطيس المستخدم. للوصول إلى التجانس المثالي، يكون في العادة من الضروري عمل عملية ضبط تسمى الحشو. يتم ذلك إما بطريقة خاملة وإما بطريقة غير فعالة عن طريق وضع قطع من الشرائح المعدنية عند مواضع معينة في ثقوب المغناطيس على السطح الخارجي للماسح، أو بطريقة فعالة عن طريق تنشيط ملفات متخصصة والتي قد تزيد عن ٢٠ ملفاً موجودة داخل الماسح.

موضوع آخر مهم هو عزل المغناطيس، والذي يخدم في التحكم في المجالات الهدبية للمغناطيس. في الماضي، كانت المجالات الهدبية يتم احتواؤها عن طريق استخدام كمية كبيرة من الحديد في الحوائط وسقف حجرة الماسح (١٠–٢٠ طن!). بسبب هذا الوزن، والتكلفة، فإن هذا النوع من العزل أصبح لا يستخدم واستخدم بدلاً منه المغناطيسيات المتكاملة أو المعزولة بشكل فعال. إن المغناطيسيات المعزولة بشكل فعال لها مجموعة مضاعفة من الملفات، الداخلي منها يولد المجال بينما الخارجي يمثل طرق عودة لخطوط المجال المغناطيسي.

(٦,٢) نظام الانحدار The Gradient System

الانحدارات المغناطيسية يتم تطبيقها لاختيار الشريحة والتشفير المكاني (الفصل الرابع). مجموعة من ثلاث ملفات انحدار منفصلة، وكل منها له المكبر الخاص به، تكون الحاجة إليها لتغيير شدة المجال خلال المحاور x و z. يتم تشغيل هذه الملفات منفصلة أو مجمعة، مثلا لتحديد شريحة مائلة أو غير مباشرة. المركز الأساسي هو المركز الهندسي للمجال المغناطيسي الأساسي، والتي عندها لا تتأثر شدة المجال بأي واحد من الانحدارات. تولد ملفات الانحدار مجالات مغناطيسية تكون صغيرة بالمقارنة بالمجال الأساسي بالرغم من احتياجها لتيار يبلغ عدة مئات من الأمبير. المجالات المغناطيسية المتغيرة التي تتولد عند تشغيل الانحدارات تؤدي إلى هذا الصوت الذي يسمع أثناء المسح بالرنين المغناطيسي MR. مثل السماعة، والتي تمثل ملف داخل مجال مغناطيسي، ملفات الانحدار "تحاول أن تتحرك" عندما يتم تشغيل أو توقيف التيار، والذي يسبب الصوت الضوضائي.

بصرف النظر عن التيارات العالية، فإن مجالات الانحدار يجب أن تكون ثابتة لأقصى درجة وذلك لمنع تشوه الصورة. وفوق ذلك، فلقد وضحنا أن ملفات الانحدار وأيضاً الملفات المعزولة بشكل فعال (المقطع ٦,١) تكون متقدمة عن النسخ أو الموديلات البسيطة: والتي لها مجالات هدبية أو جانبية صغيرة، فإنه يكون هناك تداخل ترددات راديو RF خارجي أصغر (حث من التيارات التي تسمى بالتيارات الدوامية، المقطع ٧,١٣).

أداء الانحدار يتم قياسه بثلاث معاملات:

١- الشدة العظمى للانحدار (بوحدات mT/m).

٢- زمن الارتفاع rise time، الزمن حتى المقدار الأعظم للانحدار.

٣- معدل التسارع slew rate، مقدار الانحدار الأعظم/ زمن الارتفاع.

(٦,٣) نظام الترددات الراديوية The radiofrequency System

يتكون نظام الترددات الراديوية RF من مولد ترددات راديو RF قوي (تردد لارمور عند المجال 1.5T يكون 63.8MHz، والذي يقع في مدى مرسلات التعديل الترددي FM) ومستقبل ذي حساسية عالية. ثبات هذين المكونين يكون مهما جداً: لأنه كل من الطور والتردد للإشارة تكون هناك حاجة إليهما للتشفير المكاني، وأي تشويه، مثلاً دوران للطور عن طريق جهاز الاستقبال، سينتج عنه صورة ضبابية غير واضحة. بالإضافة لذلك، فإنه لاكتشاف الإشارات الضعيفة بجودة معقولة، فإنه من الضروري عزل حجرة الماسح موجياً لمنع أي تداخل من المصادر الخارجية. يمكن أن يتم ذلك عن طريق وضع المغناطيس في هيكل مغلق موصل يسمى بقفص فاراداي.

يشمل أيضا النظام الجانبي لترددات الراديو RF ملفات الإرسال والاستقبال. هذه الملفات قد تكون ملفات مجمعة تعمل كمرسلات ومستقبلات مثل ملف الجسم والذي يكون داخل الماسح. إنه لا يمكن رؤيته من الخارج ويتكون من قفص من ملفات النحاس تلف حول المريض. مرسل ترددات الراديو RF يعطي نبضات تقابل التردد الرنيني لذرات الهيدروجين.

كما شرحنا في الفصل الخامس، فإن نسبة الإشارة للضوضاء SNR يمكن تعديلها باستخدام ملفات غير ملف الجسم. من المهم الاختيار الدقيق للملفات تبعا للعضو الذي يتم تصويره للحصول على جودة مثالية للصورة.

(٦,٤) نظام الحاسب The Computer System

إن الحاسبات في نظام التصور بالرنين المغناطيسي MRI تتحكم وتنظم العديد من العمليات بدءاً من تشغيل وإيقاف ملفات الانحدار و ترددات الراديو RF حتى التعامل مع البيانات ومعالجة الصور.

References المراجع

1- McFall JR (1997) Hardware and coils for MR imaging. In: Riederer SJ, Wood ML (eds) Categorical course in physics: The basic physics of MR imaging. RSNA Publications no 41, Oak Brook .

obeikandl.com