الفصل الثالث عشر

تشويش أو زيغ الرنين المغناطيسي
MR Artifacts

(١٣,١) التشويش الناجم عن الحركة والجريان (أو التدفق) (ظل أو شبح الصورة)
Motion and Flow Artifacts (Ghosting)

إن تتابعات الرنين المغناطيسي الكلاسيكي بطيئة، وعادة نحتاج لعدة دقائق للحصول على صورة موزونة بالزمن الأول T1 باستخدام تتابع الصدى المغزلي SE. ولذا نجد أن صور الرنين المغناطيسي تتأثر بشدة عالية بأي نوع من أنواع الحركة. هناك نوعان من التشويش الحركي شائع الحدوث في صور الرنين المغناطيسي المعتاد:

- تشويش ناجم عن التنفس وحركة الأمعاء الحوية ونبضات القلب (هذا ما يدعى بالتشويش الحركي التنفسي أو القلبي المنشأ).
- تشويش ناجم عن جريان أو تدفق الدم النبضي ضمن الأوعية الدموية وجريان أو دوران السائل الدماغي الشوكي (هذا ما يدعى بالتشويش الحركي التدفقي أو الجريان المنشأ).

مشاكل الحركة Motion Artifacts

المشاكل الحركية الناتجة عن التنفس، ونبضات القلب، والحركات المعوية، تعتبر ظاهرة شائعة في تصوير الرنين المغناطيسي العادي وحدوثها كان يؤخذ كحجة في الماضي ضد التصوير البطني. المشاكل الحركية تشوه صورة الرنين المغناطيسي على هيئة ضباب

أو أشباح تضاف للصورة. الأشباح التي تنشأ نتيجة الحركات القلبية والتنفسية يمكن رؤيتها في صور الرنين المغناطيسي للصدر في صورة ضوضاء خلال القلب والمنطقة الوسطى (المنتصف) mediastinum في اتجاه تشفير الطور.

طرق عديدة تم اكتشافها للتخلص من هذه المشاكل:

- يمكن تقليل تأثيرات الحركة التنفسية عن طريق خوارزميات تم تطويرها خصيصاً لذلك (الاستعاضة التنفسية). أبسط صورها هو في اكتساب الصورة أثناء انقضاء التنفس (البوابة التنفسية، بالمقابلة مع البوابة القلبية). هناك تقنيات أكثر تعقيدا تجمع الإشارات خلال كل الدورة التنفسية، ويتم ترتيب الاكتساب بحيث تكون البيانات التي لها أعلى جودة أثناء انتهاء التنفس هي التي تملأ مركز الفراغ k حيث تكون مشاركتها لتباين الصورة أعلى ما يمكن.
- استخدام تتابعات صدى الانحدار GRE سريعة للتصوير أثناء وقف التنفس. كبديل يمكن اكتساب تتابع من الشرائح أثناء توقف متكرر للتنفس. التصوير بتوقف التنفس يعطى نتائج أفضل من استخدام الخوارزميات التعويضية ولكنه يحتاج لوقت أطول وينفذ فقط مع المرضى الذين يمكنهم المعاونة في ذلك.
- الحركة القلبية يمكن التغلب عليها عن طريق توفيق عملية اكتساب الصورة مع طور معين في الدورة القلبية (البوابة القلبية). يتم ذلك عن طريق تسجيل المخطط الكهربي للقلب ECG في نفس الوقت، فمثلاً، يمكن بدء نبضة إثارة الراديو RF مع الموجة R في المخطط الكهربي للقلب ECG. في هذه الحالة، يكون زمن التكرار TR من الطول مثل عدة فترات R-R.

- المشاكل الحركية الناتجة عن الحركة المعوية يمكن تقليلها باستخدام عامل مهدئ spasmolytic مثل بيتوتيل سكوبلامين (بوسكوبان) (butyle scopolamine (Buscopan).

- التصوير المتوازي (الفصل العاشر) يقلل أيضاً من المشاكل المتسببة عن الحركة القلبية أو التنفسية أو المعوية.

- تقنية الملاح أو المستكشف يمكن استخدامها كبديل عن التصوير بتوقف التنفس. هذه التقنية تحد من مشاكل الحركة التنفسية ويمكن لذلك استخدامها لتصوير القلب أثناء تنفس المريض بحرية.

- مشاكل نبضات الـ CSF تعتبر من الظواهر الخاصة. تعتبر هذه مناطق داخلية intradural ذات شدة إشارة منخفضة والتي يمكن رؤيتها بوضوح في صور الصدى المغزلي SE والصدى المغزلي السريع FSE الموزونة بالزمن الثاني T2. مشاكل نبضات الـ CSF يمكن منعها أو التخلص منها عن طريق استخدام تتابعات الصدى الانحداري GRE.

مشاكل التدفق Flow Artifacts

المشاكل المتعلقة بالتدفق تكون نتيجة تدفق الدم وأيضاً تدفق الـ CSF وتحدث في اتجاه تشفير الطور. هذه المشاكل تكون نتيجة أن المغازل التي تتحرك في اتجاه انحدار المجال المغناطيسي (اختيار الشريحة، أو تشفير الطور، أو انحدار التشفير الترددي) تتعرض لإزاحة طور (انظر أيضاً تصوير الأوعية بتباين الطور، المقطع ١ , ١ , ١١). كنتيجة لذلك، فإن أي عضو يتحرك في فترة أخذ عينة الطور يتم إعطاؤه قيمة خاطئة للطور ويصور في مكان مختلف على الصورة. مشاكل التدفق تظهر: أشباحاً، بمعنى هياكل لم تكن موجودة في الحقيقة، مثل وعاء دموي يظهر أكثر من مرة في اتجاه تشفير الطور.

الطرق التالية متاحة لمنع أو تقليل مشاكل التدفق:

- تعويض التدفق أو لحظة تصفير الانحدار gradient moment nulling (GMN). يتم استخدام نبضة انحدار خاصة يتم تطبيقها قبل قراءة الإشارة للتعويض عن تغير الطور الحادث مقدماً.
- التشبع المسبق. يتم ذلك عن طريق تشبيع الدم في أحد جانبي شريحة التصوير مباشرة قبل الاكتساب الحقيقي للبيانات. الدم المشبع لا ينتج عنه أي مشاكل لأنه لا يعطى إشارة عندما يدخل في مستوى المسح.
- تبديل محوري تشفير التردد والطور يمكن أن يخدم في إزالة أي مشكلة قد تحدث فقط في اتجاه تشفير الطور من منطقة الاهتمام في الجسم.

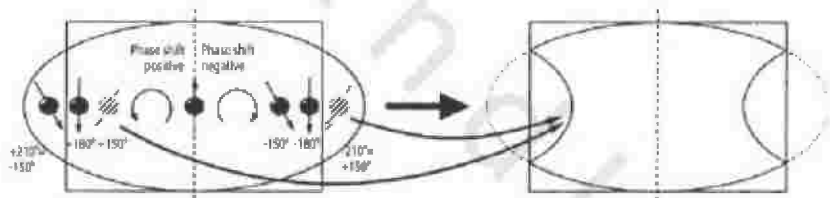
ملاحظة أخرى على التشبع المسبق: إن ظاهرة التشبع كما شرحت في الفصل الثالث و المقطع ١, ١, ١١ يمكن استغلالها لإخماد مركبات نسيجية معينة عن طريق الإثارة المتكررة على فترات زمنية قصيرة. النسيج المثار بهذه الطريقة لا يبعث أي إشارة في القياسات التالية لأن المغازل لا يكون لديها الوقت للعودة للسكون بين الإثارات. تستخدم هذه التقنية في تصوير الأوعية بزمن الطيران لإخماد الإشارة من الدم الداخل للشريحة من اتجاه واحد بينما يستمر الدم الداخل من الاتجاهات الأخرى في إعطاء إشارة. بهذه الطريقة يمكن للشخص أن يظهر اختيارياً إما الأوردة وإما الشرايين.

(١٣, ٢) التفاف الطور Phase Wrapping

مشكلة خطيرة أخرى في تصوير الرنين المغناطيسي العلاجي وهي التفاف الطور (تسمى أيضاً مشكلة التفاف الطور أو طيها)، والتي تحدث نتيجة أخطاء في تشفير الطور. مشكلة الالتفاف تحدث عندما تكون أبعاد الجسم أو الهدف تزيد عن مجال النظر

المحدد. هذه الأجزاء تلتف ويتم وضعها في غير مكانها في الجانب الآخر من الصورة (الشكل رقم ٥٦).

عند تحديد مجال رؤية FOV معين، فإن ماسح الرنين المغناطيسي يفترض أن كل إزاحات الطور الممكنة من – ١٨٠ درجة حتى + ١٨٠ درجة كلها تقع في مجال الرؤية. تحدث المشاكل عندما يمتد تشريح الهدف خارج مجال الرؤية في اتجاه تشفير الطور. في هذه الحالة فإن الأجزاء التي في خارج مجال الرؤية يتم إعطاؤها زاوية طور فوق +١٨٠ درجة أو تحت – ١٨٠ درجة. الزاوية + ١٩٠ درجة مثلاً، تقابل الزاوية – ١٧٠ درجة. الأهداف التي لها هذه الزوايا يتم إعطاؤها نفس التشفير المكاني ولذلك فإنها تظهر فوق الأهداف الأخرى في صورة الرنين المغناطيسي. الهياكل التي تمتد إلى ما بعد الحد الأيمن ستلتف وتوضع عند الحد الأيسر للصورة والعكس صحيح.



الشكل رقم (٥٦). التفاف الطور. الهياكل التي تقع خارج مجال الرؤية المحدد والتي تأخذ نفس زاوية الطور مثل الهياكل التي بداخل مجال الرؤية يتم وضعها على الأخرى.

هناك عدة خيارات متاحة للتغلب على مشكلة الالتفاف:

يمكن تحديد مجال رؤية كبير يحتوي كل المناطق التشريحية المهمة. إن هذا سيلغي التفاف الطور ولكنه سيكون على حساب التحديد المكاني.

يمكن استبدال اتجاهات تشفير التردد والطور لأن ظاهرة الالتفاف ليست موجودة

في اتجاه تشفير التردد (لأن الترددات العميقة من أحد الاتجاهات يمكن تميزها بسهولة من الترددات العالية من الاتجاه الآخر). فمثلاً، عند تصوير الصدر أو التجويف، فإن الانحدارات يتم تطبيقها بحيث يكون البعد الأقصر للمريض موجها في اتجاه تشفير الطور.

خوارزميات خاصة ("منع التفاف الطور"، "قمع الالتفاف"، "ضد الالتفاف") تمنع التفاف الطور بأخذ عينات زائدة oversampling في الفراغ k: يتم تكبير مجال الرؤية بحيث لا يكون هناك أي أجزاء تشريحية مهمة ممتدة خارجه. هذه البيانات الزائدة التي تم تجميعها يتم تجاهلها أثناء تكوين الصورة. لاحظ، على الرغم من ذلك أن خيارات منع التفاف الطور لا يمكن تضمينها مع بعض تقنيات التصوير الخاصة الأخرى.

يمكن ترتيب الملفات السطحية بطريقة تجعل الهياكل التي ربما تلتف إلى الجانب الآخر تقع خارج مدى الحساسية للملفات الاستقبال وبهذه الطريقة لا تظهر في الصورة.

يعتبر التشبع المسبق (المقطع ٣,٥) اختياراً آخر لقمع الإشارات من المناطق التي تقع خارج مجال الرؤية المحدد.

(١٣,٣) الإزاحة الكيميائية Chemical Shift

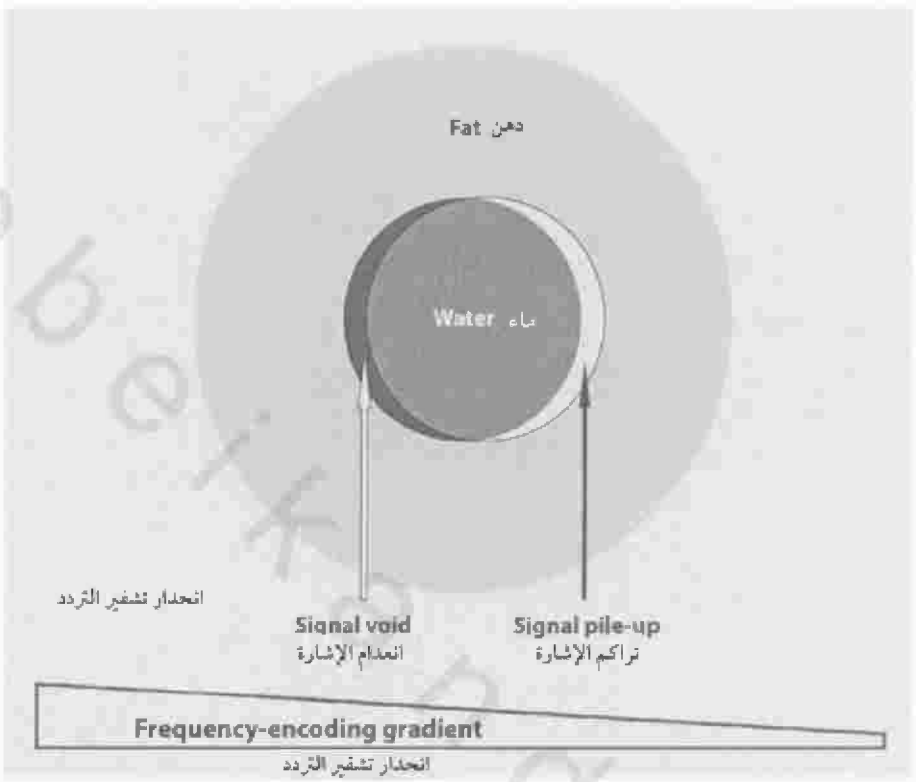
إن مفهوم الإزاحة الكيميائية كما تقدم في الفصل التاسع يصف حقيقة أن التردد الرنيني للبروتونات يتغير مع الوسط الجزيئي لها. في ماسحات الرنين المغناطيسي التي لها شدة مجال 1.0 T أو أكثر يمكن استغلال هذه الظاهرة للتفريق بين المناطق التي تحتوي والتي لا تحتوي على مركبات دهنية. بالإضافة لذلك، فإن تأثيرات الإزاحة الكيميائية يمكن استخدامها للإخماد الاختياري للإشارة من الدهون.

على الجانب الآخر، فإن ظاهرة الإزاحة الكيميائية تُعطى مشاكل متكررة الحدوث في تصوير الرنين المغناطيسي الطبي. تحدث مشاكل الإزاحة الكيميائية هذه على أساس آليتين: التسجيل المكاني الخاطئ بين الدهون والماء أو السيلكون والماء (مشاكل إزاحة كيميائية من النوع الأول) وإلغاء الإشارة عند المواجهة أو السطح الفاصل بين الدهون والماء (مشاكل إزاحة كيميائية من النوع الثاني).

مشاكل الإزاحة الكيميائية من النوع الأول

Chemical Shift Artifacts of the First Kind

مشاكل الإزاحة الكيميائية من النوع الأول تحدث عندما نجد بروتونات بترددات سبق مختلفة (دهون، ماء، وسيلكون) في مكان مختلف عن المفروض أن تكون موجودة فيه حقيقة خلال محور تشفير التردد. يحدث ذلك من حقيقة أن الإشارات من الدهون والماء أو الإشارات من السليكون والماء يتم وضعها في أماكن خاطئة في اتجاه تشفير التردد. في التصوير الطبي، تحدث مشاكل الإزاحة الكيميائية من النوع الأول عند المواقع التي يتجاور فيها الماء والدهون أو المواقع التي تكون فيها الدهون محاطة بالماء. التوقيع الخاطئ للإزاحة الكيميائية يظهر في صورة شريط داكن (إشارة عالية) على جانب التردد المنخفض (تجمع إشارات) (الشكل رقم ٥٧). أشرطة الإشارة اللامعة يمكن رؤيتها عند ظهور بروتونات بترددات رنينية مختلفة كما لو كانت محورية في نفس وحدة الحجم. مشاكل الإزاحة الكيميائية من النوع الأول تحدث مع كل التتابعات النبضية ويعتمد حجمها على عرض مجال المستقبل وشدة المجال المغناطيسي المستخدم. يمكن تقليلها عن طريق زيادة عرض مجال المستقبل. ومع ذلك، فكما رأينا في الفصل الخامس، فإن كبر عرض المجال سيقلل من نسبة الإشارة للضوضاء SNR. كبديل، فإن مشاكل الإزاحة الكيميائية من النوع الأول يمكن تقليلها عن طريق تبديل محاور تشفير التردد والطور أو استخدام تقنية من تقنيات إخماد الدهون.



الشكل رقم (٥٧). مشاكل الإزاحة الكيميائية عند السطح الفاصل بين الماء والدهون. توقيع مكاني خاطئ للدهون بالنسبة لإشارة الماء في اتجاه التشفير الترددي ينتج عنه شريط داكن (انعدام إشارة) على أحد الجوانب وشريط لامع (تراكم إشارة) على الجانب الآخر. اقرأ النص لأي تفاصيل أخرى.

مشاكل الإزاحة الكيميائية من النوع الثاني

Chemical Shift Artifacts of the Second Kind

مشاكل الإزاحة الكيميائية من النوع الثاني تكون محصورةً لتصوير صدى الانحدار GRE. الظهور الخاص بها يكون في صورة إطار أسود (انعدام إشارة) عند الحد الفاصل بين الدهون والماء. هذه المشاكل يمكن رؤيتها، مثلاً، عند الحد الفاصل

بين الدهون الكلوية والخلايا الكلوية. إنها تنتج من تأثيرات إلغاء الطور عند اكتساب صور لصدى الانحدار GRE بينما تكون الدهون والماء متعاكسة الطور. يمكن تجنب الإزاحة الكيميائية من النوع الثاني عن طريق استخدام تتابعات الصدى المغزلي SE ويمكن تقليلها في صور صدى الانحدار GRE عن طريق اكتساب البيانات للدهون والماء في نفس الطور.

(١٣,٤) القابلية المغناطيسية Magnetic Susceptibility

تعتبر القابلية المغناطيسية خاصية مهمة لكل المواد بما في ذلك الأنسجة الحيوية. إنها تعني قابلية أي مادة لأن تصبح ممغنطة في وجود مجال مغناطيسي خارجي.

تمتلك المعادن قابلية مغناطيسية عالية. هذه الخاصية تصبح مهمة في تصوير الرنين المغناطيسي الطبي عند تصوير مرضى بهم أجسام معدنية غريبة أو مزروعة. هذه المواد يمكن أن تؤدي إلى انعدام الإشارة أو/ و تشويه الصورة عند حدود هذه الأجسام مع الأنسجة التي يكون لها قابلية مغناطيسية مختلفة. هذه الظاهرة يطلق عليها مشكلة القابلية. تحدث مشاكل القابلية الأقل وضوحاً عند الحدود الفاصلة بين الأنسجة (مثلاً بين العظام والعضلات) أو الحد الفاصل بين العظام والهواء. الحد الفاصل بين التجويف الأنفي وقاعدة الجمجمة هو مساحة تشريحية خاصة تكون عرضة لمشاكل القابلية. والمواد الأخرى التي قد تسبب مشاكل القابلية هي التراكم الموضعي لهيدروكسي أباتايت الكالسيوم، وتراكم متخالب الجادولينيوم أو جزيئات أكسيد الحديد.

عموماً، إن مشاكل القابلية مع جميع التتابعات النبضية تكون أقل ما يمكن في صور الصدى المغزلي SE لأن نبضة الراديو RF التي طورها ١٨٠ درجة تصحح من تأثير الزمن T2* كما أن تتابعات الصدى المغزلي SE نفسها تكون غير حساسة بدرجة معقولة لعدم التجانس في المجال الثابت. وعلى الجانب الآخر، فإن التأثيرات الظاهرة للقابلية في صور صدى الانحدار GRE يمكن استغلالها للأغراض التشخيصية، مثل

تحديد التزيف البسيط والتكلس. في تصوير الرنين المغناطيسي العلاجي، تقليل مشاكل القابلية يكون مهماً خاصة عند تصوير مناطق الجسم التي تحتوي على زراعات عظمية. هناك إستراتيجيات عديدة موجودة لتقليل مشاكل القابلية من المعادن المزروعة: استخدام تتابعات الصدى المغزلي SE والصدى المغزلي السريع FSE بدلا من تتابعات صدى الانحدار GRE، وتبديل محاور تشفير الطور والتردد، التصوير بعرض مجال أوسع، ضبط المحاور الطولية للمعدن المزروع مع محاور المجال المغناطيسي الأساسية، واستخدام الـ ST1R بدلاً من تقنيات التردد الاختياري لإخماد الدهون.

(١٣,٥) مشاكل القطع Truncation Artifacts

تسمى مشاكل القطع التطويق أيضاً ringing وجيبس Gibb's أو مشاكل التسرب الطيفي وتظهر كنتيجة لاستخدام محول فورير لتكوين صورة الرنين المغناطيسي. إنها تظهر كخطوط مستقيمة أو شبه دائرية متوازية مجاورة تماماً لحدود التباين الفاصلة مثل الحدود بين العضلات والدهون أو بين الـ CSF والعمود الفقري. هذه المشاكل تكون أساساً في تصوير العمود الفقري، حيث يمكنها أن تشابه أو تقلد التوسع في العمود. حيث إن مشاكل القطع تنتج من التقطيع غير المناسب للترددات المكانية العالية، فإن هذه المشاكل يمكن تقليلها عن طريق زيادة المصفوفة في اتجاه تشفير الطور.

(١٣,٦) الزاوية السحرية Magic Angle

إن مشكلة الزاوية السحرية تؤثر أساساً في الهياكل ذات الألياف المتوازية مثل الأوتار والأربطة. هذه الهياكل تتميز بشدة إشارة ضعيفة في معظم التتابعات لأن لها زمن ثاني T2 قصير. يمكن زيادة إشارتها وتقلد أو تشابه مرضاً إذا كان المحور الأساسي للمجال المغناطيسي في اتجاه ٥٥ درجة بالنسبة للألياف.

(١٣,٧) التيارات الدوامية Eddy Currents

تتولد التيارات الدوامية عند تشغيل ووقف الانحدارات بسرعة. هذه التيارات يمكن حدوثها في المريض، وفي الكابلات أو الأسلاك حول المريض، أو في المغناطيس نفسه. تظهر التيارات الدوامية عن طريق المغناطيس كهبوط في الإشارة في مجال الصورة. هذه المشاكل يمكن تقليلها عن طريق مثالية نبضات تتابعات الانحدار.

(١٣,٨) مشاكل الحجم الجزئي Partial Volume Artifacts

تحدث مشاكل الحجم الجزئي عندما يكون التحديد المكاني محدوداً. ويتم أخذ متوسط شدة الإشارة للأنسجة المختلفة والهياكل الموجودة في نفس وحدة الحجم. من الممكن أن ينتج عن ذلك إشارة متوسطة عند الحدود الفاصلة بين الأنسجة التي لها شدة إشارات عالية ومنخفضة. مخاطر مشاكل الحجم الجزئي يمكن تقليلها عن طريق زيادة عدد الشرائح المكتسبة في الاتجاه Z.

(١٣,٩) إخماد الدهون غير المتجانس Inhomogeneous Fat Suppression

في وجود مجال مغناطيسي متجانس، فإن الإخماد المنتظم للدهون (التشبع) يمكن تحقيقه عن طريق تطبيق نبضة الراديو RF يكون لها التردد الرنيني لبروتونات الدهون. على الرغم من ذلك، فإنه في التصوير العلاجي، يكون ذلك نادر الإمكانية لأن بروتونات الدهون تكون موجودة عند ترددات مختلفة نتيجة عدم التجانس الموضعي للمجال، والذي قد ينتج من القرب الشديد للمريض من المغناطيس. وعلى ذلك، فإن إخماد الدهون يكون غير متجانس لأن نبضة الراديو RF التي تم تطبيقها لإخماد الدهون لا يمكن أن تطابق الترددات المختلفة لبروتونات الدهون.

عندما يكون من المحتمل وجود عدم تجانس معقول في المجال المغناطيسي، مثلاً، في المرضى الذين لديهم أجسام معدنية غريبة، فإنه يجب اعتبار استخدام تتابع STIR لإخماد الدهون لأنه من المحتمل أن يؤدي إلى نتائج أفضل في مثل هذه الحالات بالمقارنة بتقنيات التشبع المسبق الممزوجة مع تتابعات الصدى المغزلي SE و الصدى المغزلي السريع FSE أو صدى الانحدار GRE.

(١٣, ١٠) مشاكل المنزلق Zipper Artifacts

تشبه مشكلة المنزلق خطاً من البكسلات التي تتردد بين اللون الغامق والفاتح يمتد خلال الصورة في اتجاه تشفير الطور أو التردد. مشاكل المنزلق في اتجاه تشفير الطور تنتج من ضوضاء في ترددات الراديو. هذه الضوضاء من الممكن أن تنشأ من مصدر خارجي قد يصل إلى المستقبل، مثلاً، نتيجة عدم الإغلاق التام لباب حجرة الماسح. سبب آخر هو انبعاث RF من جهاز مراقبة التخدير مثل قياس الأوكسيجين النبضي المستخدم في حجرة المسح. مشاكل المنزلق في اتجاه تشفير التردد تكون عادة نتيجة الاختيار غير التام لإطار الشريحة أو الإرسال غير المضبوط لنبضات الراديو RF.

(١٣, ١١) مشاكل الخطوط المتشابكة أو عظمة السمكة

Crisscross or Herringbone Artifacts

إن مشاكل الخطوط المتشابكة أو عظمة السمكة تحدث نتيجة خطأ في معالجة البيانات أو تكوين الصورة. إنها تتميز بشريط مائل يمكن رؤيته خلال الصورة كلها. هذه المشاكل يمكن التخلص منها عادة عن طريق إعادة تكوين الصورة مرة أخرى.

References المراجع

1- Peh WC, Chan JH (2001). Artifacts in musculoskeletal magnetic resonance imaging: identification and correction. Skeletal Radiol 30:179–191

2- Wood ML, Henkelmann WR (1999) Artifacts. In: Stark DD, Bradley WG (eds) Magnetic Resonance Imaging, 3rd edn. Mosby, St. Louis, p 215

Orekandl.com