طب الأشعة السريري

Clinical Radiology

الطبعة الأولى 2025

حقوق النشر والطبع والتوزيع محفوظة

© المركز العربي لتأليف وترجمة العلوم الصحية - **ACMLS**

ردمك : ISBN: 978-9921-859-02-7

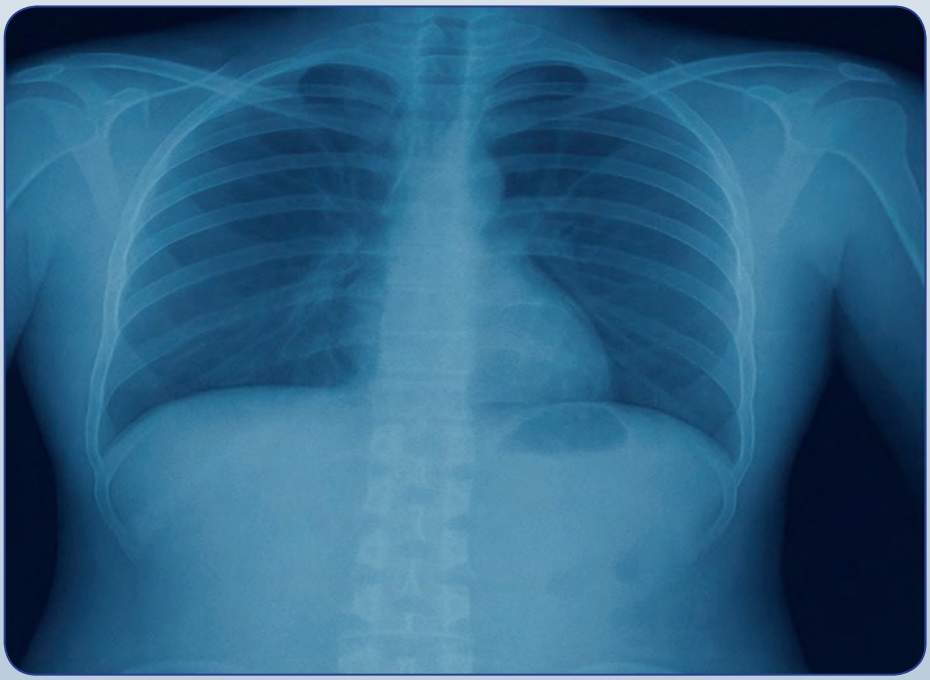
www.acmls.org

ص. ب. 5225 الصفاة - رمز بريدي 13053 - دولة الكويت

تليفون : 965-25338610/1/2 + فاكس :965-25338618/9 +

المركز العربي لتأليف وترجمة العلوم الصحية - دولة الكويت

طب الأشعة السريري



تأليف

د. منى عصام الملا

مراجعة وتحرير

المركز العربي لتأليف وترجمة العلوم الصحية

2025م

المركز العربي لتأليف وترجمة العلوم الصحية ـ دولة الكويت

طب الأشعة السريري

تأليف

د. منى عصام الملا

مراجعة وتحرير

المركز العربي لتأليف وترجمة العلوم الصحية

سلسلة المناهج الطبية العربية

الطبعة العربية الأولى 2025 م

ردمك : 978-9921-859-02-7

حقوق النشر والتوزيع محفوظة

للمركز العربي لتأليف وترجمة العلوم الصحية

(هذا الكتاب يعبر عن وجهة نظر المؤلف ولا يتحمل المركز العربي لتأليف وترجمة العلوم الصحية أي مسؤولية أو تبعات عن مضمون الكتاب)

ص.ب 5225 الصفاة ـ رمز بريدي 13053 ـ دولة الكويت

هاتف : 25338610/1 (965)+ فاكس : 25338618 (965)+

البريد الإلكتروني: acmls@acmls.org

بسم الله الرحمن الرحيم

المركز العربي لتأليف وترجمة العلوم الصحية

منظمة عربية تتبع مجلس وزراء الصحة العرب، ومقرها الدائم دولة الكويت وتهدف إلى:

- توفير الوسائل العلمية والعملية لتعليم الطب في الوطن العربي.
- تبادل الثقافة والمعلومات في الحضارة العربية وغيرها من الحضارات في المجالات الصحية والطبية.
- دعم وتشجيع حركة التأليف والترجمة باللغة العربية في مجالات العلوم الصحية.
- إصدار الدوريات والمطبوعات والأدوات الأساسية لبنية المعلومات الطبية العربية في الوطن العربي.
- تجميع الإنتاج الفكري الطبي العربي وحصره وتنظيمه وإنشاء قاعدة معلومات متطورة لهذا الإنتاج.
- ترجمة البحوث الطبية إلى اللغة العربية.
- إعداد المناهج الطبية باللغة العربية للاستفادة منها في كليات ومعاهد العلوم الطبية والصحية.

ويتكون المركز من مجلس أمناء حيث تشرف عليه أمانة عامة، وقطاعات إدارية وفنية تقوم بشؤون الترجمة والتأليف والنشر والمعلومات، كما يقوم المركز بوضع الخطط المتكاملة والمرنة للتأليف والترجمة في المجالات الطبية شاملة المصطلحات والمطبوعات الأساسية والقواميس، والموسوعات والأدلة والمسوحات الضرورية لبنية المعلومات الطبية العربية، فضلاً عن إعداد المناهج الطبية وتقديم خدمات المعلومات الأساسية للإنتاج الفكري الطبي العربي.

المحتويات

تـــصـــديـــر : ..... ج

المؤلـف في سطـور : ..... هـ

مـقـدمـة الكتـاب : ..... ز

الـفـصـــل الأول : نبذة تعريفية عن فيزياء التصوير الطبي وتقنياته 1

الـفـصـــل الثـانـي : أساسيات التصوير الطبي وطرقه..... 31

الـفـصـــل الثـالـث : تقنيات التصوير الطبي العلاجي..... 85

الـفـصـــل الرابـع : تطبيقات التصوير الطبي داخل جناح العمليات الجراحية..... 101

الـفـصـــل الخامس : أخطار التعرُّض للأشعة (المؤيَّنة وغير المؤيَّنة).... 113

الـفـصـــل السادس : الجديد في علم التصوير الطبي والأشعة..... 143

الـمـــــلحـــــق : صور إضافية لبعض الحالات التي يتم تشخيصها بالتصوير التشخيصي..... 171

المراجـــــــــع : 179

تصدير

يشهد الطب في عصرنا الحالي تطورًا مذهلًا في جميع مجالاته، ولا سيما في مجال التشخيص الطبي، ومن بين أهم الأدوات التي أحدثت ثورة حقيقية في هذا المجال، يبرز التصوير الطبي كإحدى الركائز الأساسية التي يعتمد عليها الأطباء لفهم الحالات المرضية وتشخيصها بدقة، فالتصوير الطبي لم يعد مجرد وسيلة مساعدة، بل أصبح جزءًا لا يتجزأ من رحلة العلاج، بدءًا من الكشف المبكر عن الأمراض، ومتابعة تطورها، ووصولًا إلى تقييم نجاح الخطط العلاجية.

يتناول هذا الكتاب موضوع طب الأشعة السريري، ويقدم تصورًا شاملًا حول أحدث تقنيات التصوير الطبي، بدءًا من المبادئ الفيزيائية التي تقوم عليها هذه التقنيات، ووصولًا إلى التطبيقات العملية التي يستخدمها الأطباء في الممارسة اليومية، ويستعرض الكتاب من خلال فصوله المتعددة الطرق المختلفة للتصوير الإشعاعي مثل: الأشعة السينية، والتصوير بالرنين المغناطيسي، والتصوير بالموجات فوق الصوتية، والتصوير المقطعي المحوسب، إلى جانب توضيح كيفية عمل كل تقنية والمزايا التي تقدمها في مجالات التشخيص المختلفة. كما يتناول الكتاب أيضًا جانبًا مهمًا يتعلق بالسلامة والأخطار المُحتمَلة المرتبطة باستخدام الأشعة، سواءٌ المؤَيَّنة أو غير المؤينة، فمع التوسع الكبير في استخدام هذه التقنيات أصبح من الضروري تسليط الضوء على معايير الأمان، وإرشادات الحماية؛ لضمان تحقيق أفضل النتائج بأقل الأضرار.

إضافة إلى ذلك، يخصص الكتاب مساحة لشرح التطبيقات المتقدمة للتصوير الطبي داخل غرف العمليات، حيث يؤدي التصوير دورًا حيويًا في مساعدة الجراحين على اتخاذ القرارات الدقيقة في أثناء التدخلات الجراحية، كما يقدم لمحة عن المستجدات الحديثة في عالم التصوير الطبي، والتي تمثل قفزات نوعية في تطوير التقنيات، والأجهزة التي تُسهِم في تحسين جودة الرعاية الصحية.

وفي نهاية الكتاب تم إرفاق ملحق يضم أمثلة لحالات مرضية واقعية تم تشخيصها باستخدام التصوير الطبي؛ مما يعزز من قدرة القارئ على ربط المعلومات النظرية بالتطبيقات العملية.

نأمل أن يكون هذا الكتاب مرجعًا قيِّمًا وشاملًا لكلٍّ من الطلاب، والأطباء، والمختصين في مجال التصوير الطبي، فهو لا يهدف فقط إلى نقل المعرفة، بل يسعى أيضًا إلى تعزيز الفهم العميق للدور الحيوي الذي يؤديه التصوير الطبي في تحسين جودة حياة المرضى، ودعم القرارات الطبية الدقيقة.

والله ولي التوفيق،،،

الأستاذ الدكتور/ مرزوق يوسف الغنيم
الأمين العام
للمركز العربي لتأليف وترجمة العلوم الصحية

المؤلف في سطور

- **د. منى عصام بدر الملا**

ـ كويتية الجنسية.

ـ حاصلة على:

- بكالوريوس الأشعة السريرية التشخيصية ـ جامعة الكويت ـ دولة الكويت ـ عام 2007م.
- درجة الماجستير في التصوير بالرنين المغناطيسي ـ دبلن ـ أيرلندا ـ عام 2011م.
- درجة الدكتوراة في التصوير بالرنين المغناطيسي ـ دبلن ـ أيرلندا ـ عام 2014م.
- شهادة دبلوم في تخصص كتابة التقارير الطبية بالرنين المغناطيسي لعظام العمود الفقري والركبة ـ كنت ـ المملكة المتحدة ـ عام 2019م.

ـ عضو في عديد من الجمعيات العالمية من مثل: الجمعية الأمريكية لاختصاصيي الأشعة، والجمعية الدولية لمصوري واختصاصيي الأشعة، والجمعية الأوروبية للرنين المغناطيسي في الطب وعلوم الأحياء، والجمعية الأوروبية للأشعة، وجمعية مصوري الأشعة، وجمعية علوم الأشعة لأمريكا الشمالية.

ـ تعمل حاليًا عضو هيئة أكاديمية مُساندِة (محاضرًا إكلينيكيًا) ـ كلية العلوم الطبية المساعدة ـ قسم علوم الأشعة ـ جامعة الكويت.

مقدمة الكتاب

شهد مجال التصوير الطبي تطورًا كبيرًا على مدى العقود الماضية مع ظهور تقنيات تصوير متقدمة، بدءًا من الأشعة السينية التقليدية، ومرورًا بالتصوير بالموجات فوق الصوتية (الألتراساوند)، والتصوير المقطعي المحوسب (CT)، وصولًا إلى التصوير بالرنين المغناطيسي (MRI) والتصوير بالنظائر المُشعة.

ولطالما شكَّلت فحوص الأشعة الطبية حجر الأساس في التشخيص الطبي الحديث؛ إذ أسهمت في كشف الأمراض، وتوجيه العلاج بدقة متناهية؛ مما جعلها جزءًا لا يتجزأ من الممارسة الطبية اليومية، ومع التطورات السريعة في هذا المجال، أصبح لزامًا على الأطباء والمتخصصين الإلمام بأحدث التقنيات والتطبيقات لضمان تقديم أفضل رعاية ممكنة للمرضى.

وانطلاقًا من هذا الإدراك، جاء هذا الكتاب ليكون مرجعًا شاملًا في طب الأشعة السريري الذي يهدف إلى تقديم المعلومات بأسلوب علمي دقيق ومُبَسَّط في الوقت ذاته، بحيث يخدم الأطباء، وطلاب الطب، والممارسين الصحيين الذين يعتمدون على تقنيات التصوير الطبي في تشخيص الحالات المرضية المختلفة.

ومن خلال هذا العمل تم الجمع بين الأسس النظرية، والممارسات السريرية، مع التركيز على التطبيقات العملية للأشعة في مختلف التخصصات الطبية، ودعم المحتوى بأحدث الأدلة العلمية والصور الإيضاحية التي تُسهِّل استيعاب المفاهيم؛ مما يجعله أداةً فعَّالة لفهم صور الأشعة وتحليلها بمختلف أنواعها.

آمل أن يكون هذا الكتاب إضافة مفيدة للمكتبة الطبية، وأن يُسهِم في إثراء معارف الممارسين الصحيين، ويمكِّنهم من توظيف الأشعة بشكل أكثر كفاءة ودقة في رعاية المرضى. وأسأل الله أن ينفع به كل من يقرؤه، ويجعله خطوة نحو تحسين جودة التشخيص والعلاج.

د. منى عصام الملا

الفصل الأول

نبذة تعريفية عن فيزياء التصوير الطبي وتقنياته

يشير مصطلح التصوير الطبي (Medical imaging) إلى التقنيات والعمليات المستخدمة للحصول على صور للجسم البشري (أو أجزاء منه) بهدف التشخيص، أو العلاج.

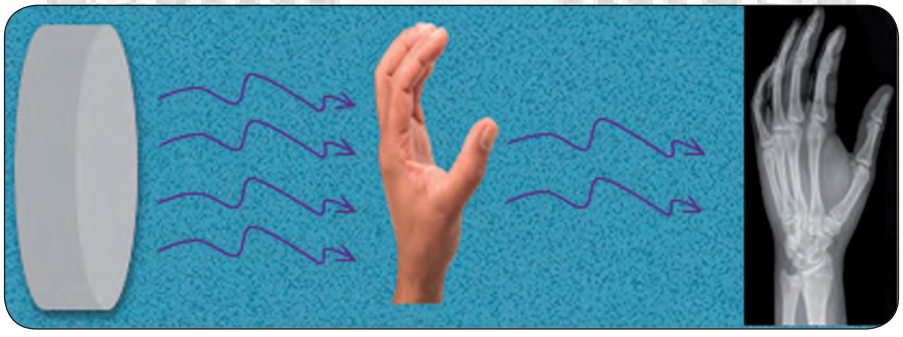
غالبًا ما يُطلَق على التصوير الطبي لقب الأشعة، حيث تتردد على المسامع: الطبيب يطلب الأشعة، أو المريض في طريقه لإجراء الأشعة، وفي المجالس، أو المحادثات تُسمَع دائمًا مقولة: سوف يتم إجراء أشعة. هذه الطريقة التي تُستخدَم للتعريف بفحوص التصوير الطبي خاطئة، ولربما قد يسبب استخدامها لبعض الناس القلق أو الخوف من استكمال بعض الفحوص، فيستخدم كثير منهم كلمة فحص الأشعة، وفي واقع الأمر لا تعتمد كل تقنيات التصوير الطبي على الأشعة السينية في تصوير الجسم؛ لذا يجب على الطاقم الطبي تعريف تقنيات التصوير الطبي بطريقتها الصحيحة لتجنُّب أي شعور سلبي عند المراجع أو المريض تجاه الفحص، وكذلك لضمان اكتمال إجراء الفحوص بطريقة سلسة من دون إرباك المريض، أو اختصاصي الأشعة خلال الفحص؛ لذلك فلابد من الاتفاق في بادئ الأمر على انتقاء المُسمَّيات الصحيحة لطرق التصوير المختلفة، فيُطلق على التقنيات التي تعتمد على الإشعاع في إنتاج الصور تقنيات التصوير المؤيَّنة، ويُطلق على التقنيات التي لا تعتمد على الإشعاع تقنيات التصوير غير المؤيَّنة، والتقنيات التي تعتمد على التصوير بالنوكليدات المُشعَّة (Radionuclide)، أو المواد المشعّة تقنيات التصوير النووي.

ولكون علوم فيزياء التصوير موطنًا لعلوم إجراءات التصوير التشخيصية والعلاجية في علم الأشعة وبدايتها، فسيتم تقديم نبذه تعريفية عن بعض المفاهيم العامة للتصوير الطبي، وبالأخص المفاهيم المهمة الخاصة بفيزياء التصوير الطبي.

وفي هذا الفصل سيتم استكشاف علوم الفيزياء الكامنة وراء تقنيات التصوير الطبي المختلفة، لما لها من أهمية كبيرة في معرفة أساسيات التصوير، وكيفية تحويل الأشعة لصور طبية، وفي فصول قادمة سيتم التركيز على الجانب العملي للتصوير، والجانب التقني للمُعِدات، والتكنولوجيا المُستخدَمة.

أولاً: مفهوم التصوير المؤيَّن

يُعدّ التصوير المؤين تصويرًا طبيًا باستخدام الإشعاع باعتباره عاملًا أساسيًا لإظهار الصورة التشخيصية، كما تُعدّ الأشعة (أو الأشعة السينية) المُستخدَمة في التصوير الطبي هي شكل من أشكال الطاقة (مثل: الضوء، وموجات الراديو) وتُسمى بالإشعاع، وعلى عكس موجات الضوء، تمتلك الأشعة السينية الطاقة الكافية التي تسمح لها بالعبور من خلال الأجسام (مثل: العظام، أو الأنسجة، أو السوائل). وتحتوي الأشعة السينية على طاقات وترددات أعلى من الأشعة فوق البنفسجية، أو الضوء المرئي، أو الأشعة تحت الحمراء، أو الموجات الدقيقة، أو موجات الراديو، وتحتوي على طاقات وترددات قليلة، وأطوال موجية أكثر طولًا من تلك الموجودة بأشعة جاما.



شكل توضيحي لما تُظهِره صورة الأشعة اعتمادًا على المناطق التي تعرَّضت للأشعة السينية. تُظهِر المناطق البيضاء الأنسجة الأكثر كثافة، مثل: العظام التي تمتص الأشعة السينية، بينما تمثل المناطق ذات اللون الداكن المناطق التي مرت فيها الأشعة السينية عبر الأنسجة الرخوة أو الهواء.

ونظرًا لأن التصوير المؤيَّن يحتوي على طاقة كافية لتأيُّن الذرات، وكسر الروابط الكيميائية، فإنه يمكن أن يدمر الخلايا، أو يقتلها ويغير الحمض النووي والجزيئات الأخرى، يمكن لإشعاع ألفا وجاما والنيوترون إحداث نشاط إشعاعي في مواد غير مُشعة سابقًا، وقد يصل الأمر إلى تحويل عنصر إلى آخر. ويُطلِق التأين جزيئات مشحونة؛ لذلك يكون له تأثيرات كهربائية، وفي بعض الأحيان قد يؤدي التفريغ الكهربائي إلى إلحاق الضرر بالناس والحيوانات، وإتلاف المُعِدات، ولكن كيف يحدث ذلك؟ هذا ما سيتم توضيحه والتعرُّف عليه من خلال فيزياء التصوير الإشعاعي.

مفاهيم عامة في فيزياء التصوير الطبي المؤيَّن (أو الفيزياء الإشعاعية)

يتحمل اختصاصيو الأشعة والأطباء مسؤولية مهنية لتعلُّم القوانين الأساسية للفيزياء وتطبيقها من أجل إنتاج صور إشعاعية ذات جودة تشخيصية عالية، والفيزياء الإشعاعية هي دراسة مكونات التصوير الطبي وتقنياته ومعاييره في محاولة لإنتاج صور إشعاعية مثالية للجسم، أو المناطق المراد تشخيصها، والهدف من دراستها هو ضمان استمرارية الحصول على صور تشخيصية واضحة مع التأكيد على أمان المريض والطاقم الطبي وسلامتهما من خطر الإشعاع، وتشتمل المحاور الأساسية للفيزياء الاشعاعية على 14 محورًا تقريبًا وهي:

1. الطيف الكهرومغناطيسي والإشعاع المؤيَّن

تُشكِّل الأشعة السينية جزءًا واحدًا فقط من الطيف الكهرومغناطيسي الذي يتضمن موجات الراديو، وأجهزة الميكروويف (مثل: الرادار، والتدفئة، وما إلى ذلك...)، والأشعة تحت الحمراء، والضوء المرئي، والأشعة فوق البنفسجية، والأشعة السينية، وأشعة جاما، وبالطبع فإن كلًا من هذه الإشعاعات لها بعض الخصائص المشتركة، حيث إنها تنتقل عن طريق المجالات الكهربائية والمغناطيسية مُجتمعة، وتنتقل بالسرعة نفسها في الفراغ وفي خطوط مستقيمة، قد تتفاعل مع المادة؛ مما يؤدي إلى امتصاصها أو تناثرها. والفوتونات ذات الطول الموجي القصير لها تردد عالٍ، وطاقة مرتفعة، وتُعد هذه الفوتونات مفيدةً في الأشعة التشخيصية.

2. خصائص الأشعة السينية

- **الضوئية**

تتسبب الأشعة السينية في تألق بعض المواد، أي: ينبعث منها ضوء في الطيف المرئي بعد امتصاص الأشعة السينية، وتشتمل هذه المواد على تنجستات الكالسيوم (Calcium Tungstate)، أو فسفور الأرض النادرة، وكلاهما موجود في شاشات التكثيف (Intensifying Screens).

- **التأثير الفوتوجرافي**

تنتج الأشعة السينية «صورة كامنة» (غير مرئية للعين) على فِلْم فوتوجرافي، وتصبح هذه الصورة مرئية بعد معالجة هذا الفِلم.

- **الاختراق**

يمكن للأشعة السينية اختراق المواد، أو الأنسجة غير الشفافة للضوء المرئي، ويتم امتصاصها تدريجيًا كلما مرت عبر جسم ما، ويعتمد مقدار الامتصاص على العدد الذري للجسم، وكثافته، وقوة طاقة الأشعة السينية.

- **الإثارة والتأيُّن**

تنتج الأشعة السينية إثارة وتأيُّنًا للذرات، وجزيئات المواد التي تمر من خلالها، والإثارة هي عملية رفع الإلكترون إلى مستوى طاقة أعلى، أما التأين فهو العملية التي يتم فيها إزالة الإلكترون تمامًا من الذرة.

- **التأثير البيولوجي**

تتفاعل الأشعة السينية مع الأنسجة الحية، ويمكن أن تسبب لها بعضًا من التغييرات البيولوجية، ويتم تحديد هذه التغييرات بشكل مباشر عن طريق الذرات المُثارة، أو تأيُّنها، أو بشكل غير مباشر نتيجة للتغيرات الكيميائية التي تحدث بالقرب من الخلايا. وما قد يحدث في بعض الأحيان هو تلف الخلايا المتضررة أو موتها. كما تشمل التأثيرات الجينية تلف الكروموسومات، أو حدوث طفرة في الخلايا التناسلية؛

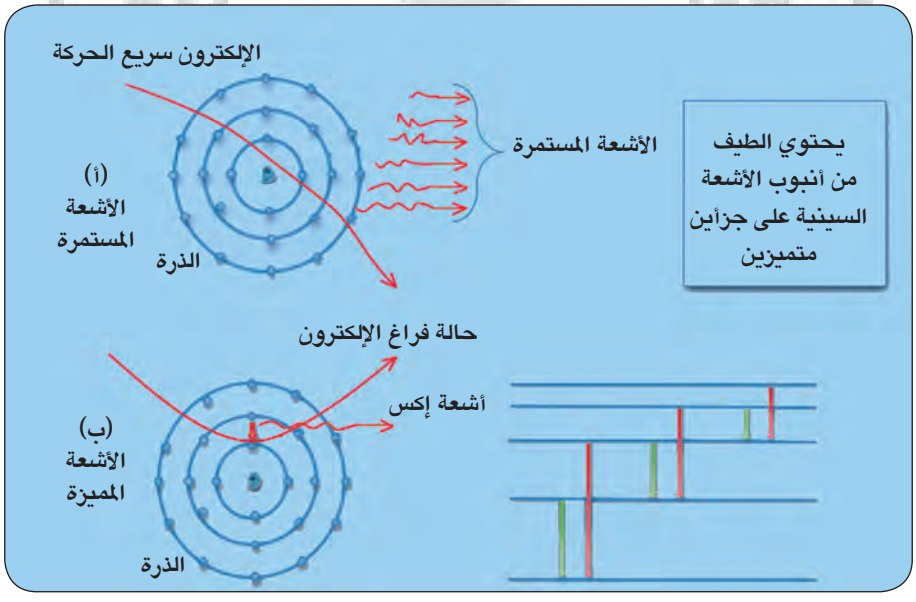
مما قد يؤثر في الأجيال القادمة، ومن التأثيرات الجسدية الثانية أيضًا تلف الأنسجة الأخرى التي تؤدي إلى تغييرات في حياة الفرد (مثل: الحروق الإشعاعية، وسرطان الدم) ويُعتبر الإشعاع خطرًا خاصًا؛ لأن آثاره غير مؤلمة، وخفية، وتراكمية.

3. إنتاج الأشعة السينية

يتم إنتاج الأشعة السينية عندما يتم إبطاء الجسيمات المشحونة أو توقفها، ويتم ذلك عن طريق ما يأتي:

- **الطيف المستمر (Continuous Spectrum)**

إذا تباطأ الإلكترون بالمرور بالقرب من نواة ذرة موجبة الشحنة، فإنه يتم فقدان الطاقة، من مثل: أشعة إكس. فيحتوي فوتون الأشعة السينية على كمية متغيِّرة من الطاقة اعتمادًا على درجة تباطؤ الإلكترون، ويتم إنتاج الأشعة السينية لمجموعة متنوعة من الطاقات المختلفة.



شكل يوضح تفاعل الإلكترونات الحُرَّة مع النوى كهرومغناطيسيًا، إذ يتم إنتاج أشعة سينية مستمرة (أ)، بينما يتم إنتاج الأشعة السينية المميزة في أثناء عمليات انتقال الإلكترون التي تحدث عندما يتم تحرير إلكترون الغلاف الداخلي من الذرة (ب).

- **الطيف المميز (Characteristic Spectrum)**

عندما يتم اصطدام إلكترون ذي طاقة كافية بإلكترون آخر في الذرة يؤدي ذلك إلى إزالة إلكترونات من المدارات الخارجية للذرة، وعندما تنتقل الإلكترونات من مدارات أعلى لملء الفراغات، فإنه يتم إطلاق أشعة إكس بأطوال موجية متعددة تُشكِّل الطيف المميز للعنصر.

4. أنبوب الأشعة السينية

نظرًا لأن الإلكترونات يتم إنتاجها عند إبطاء الإلكترونات سريعة الحركة، أو توقفها، فهناك ثلاثة متطلبات أساسية لإنتاج الأشعة السينية في أنبوب الأشعة السينية وهي: مصدر للإلكترونات (كاثود)، وهدف لوقف الإلكترونات (الأنود)، وطريقة لتسريع الإلكترونات من المصدر إلى الهدف (فرق الجهد العالي بين الاثنين).

5. أجزاء أخرى من جهاز الأشعة السينية

- دائرة الفتيل لتسخين الفتيل.
- دائرة الجهد العالي لتوفير فرق الجهد العالي عبر الأنبوب.
- مؤقِّت للتحكم في مدة التعرُّض الضوئي.

6. العوامل التي تؤثر في جودة الإشعاع وكثافته

يتم قياس الجودة عبر قياس قوة اختراق فوتونات الأشعة السينية، وتزداد جودة الحزمة مع زيادة نسبة فوتونات الطاقة العالية، أما الشدة فهي مقياس لكمية الإشعاع الناتجة، وتؤثر عوامل مختلفة على جودة الحزمة وشدتها مثل: الكيلو فولط (KV): فكلما زاد فرق الجهد عبر الأنبوب، زادت سرعة حركة الإلكترونات، وزادت طاقة فوتونات الأشعة السينية، ومن ثَمَّ تتم زيادة الجودة والشدة، أما الملي أمبير (mA): فهو يؤثر عند زيادة التيار في الأنبوب الذي بدوره يزيد من شدة طاقات الفوتون كافة، وزيادة شدة الحزمة. الوقت: يؤدي الوقت إلى زيادة التعرُّض، فكلما زاد الوقت الذي يتم خلاله إنتاج الأشعة السينية، زادت شدة الإشعاع المنبعث، ويعامل الوقت (بالثواني- S) (Seconds S) والملي أمبير (mA) بشكل عام باعتباره عاملًا مركَّبًا يُطلَق عليه (mAs). المسافة: تؤدي المسافة المتزايدة من مصدر الإشعاع

إلى انخفاض شدة الحزمة الإشعاعية؛ وفقًا لقانون التربيع العكسي، ومن ثَمَّ فإن مضاعفة المسافة من رأس الأنبوب تؤدي إلى انخفاض في شدة الإشعاع بما يعادل مقدار ربع شدته الأصلية.

7. تفاعل الأشعة السينية مع المادة

عندما يمر شعاع من الأشعة السينية عبر المادة تنخفض شدتها مع امتصاص الطاقة، أو تشتتها، فتعتمد درجة التوهين (التفاعل) على العدد الذري، والكثافة الفيزيائية للأنسجة، وطاقة الأشعة السينية؛ مما يسمح للأشعة السينية بواسطة الأنسجة المختلفة للمريض بعمل الصورة الإشعاعية النهائية للمنطقة المراد تصويرها.

8. خواص الفِلْم الإشعاعي وتشكيل الصورة الإشعاعية

تُنتِج الأشعة السينية نمطًا متفاوتًا من السواد على الفِلْم عبر إضعاف فوتونات الأشعة بدرجات متفاوتة عند اختراق أنسجة المريض، ويؤثر النمط الناشئ للفوتونات ذات الطاقات المختلفة في جزيئات الفِلْم (قديمًا كان مستحلب الفِلْم من الجيلاتين الذي يحتوي على حبيبات متفرقة من بروميد الفضة) لإنتاج الصورة الكامنة، ثم يتم بعد ذلك تطوير الفِلْم لتصبح الصور مرئية. إن امتصاص حبيبات بروميد الفضة للأشعة السينية يجعلها قابلة للتطور، حيث تتحول هذه الحبيبات التي تعرَّضت للأشعة السينية إلى اللون الأسود بواسطة المطوِّر، ثم يتم إذابة الحبوب غير المكشوفة وإزالتها، وتُترَك مساحة بيضاء على الفِلْم، و من الاحتمالات عند عمل صورة شعاعية (مثلًا لصدر المريض) حدوث الآتي: بعض الأشعة لا تخترق الصدر إطلاقًا، وتُخفَّف فقط من خلال الهواء؛ مما ينتج عنه مرور أكبر عدد من الفوتونات إلى الفِلْم، وهذا ما يؤدي إلى التعرُّض الأقصى لهذا الجزء من الفِلْم؛ مما يتسبب في اسوداده بشكل أكبر من الأجزاء التي تمر عبر جدار الجسم والرئة.

9. كيفية تأثير عوامل التعريض في صورة الأشعة، أو الفِلْم (قديمًا)

يتحكم الكيلو فولت (kV) في قوة اختراق الفوتونات التي تُجتاز عبر العضو، أو الجسم لتصل للفِلْم، حيث تتميز الأفلام الملتقطة بجهد منخفض من الكيلوفولت، أو بتباين عالٍ (نسبة قليلة من الألوان الرمادية المختلفة)، أي: تظهر الأنسجة باللون

الأسود، أو الأبيض مع القليل جدًا من الرمادي، أما الأفلام المُلتَقَطة بجهد عالٍ من الكيلوفولت أو بتباين منخفض، فيكون الفِلْم أو الصورة الإشعاعية أكثر اتساقًا باللون الرمادي. يتحكم الملي أمبير والوقت في كمية الأشعة السينية التي تصل إلى الفِلْم ويتعرَّض لها الجسم، فينتج عن استخدام الملي أمبير المنخفض جدًا (التعرُّض الناقص) فِلْم شاحب، وينتج عن استخدام الملي أمبير العالي جدًا (التعرُّض المفرط) فِلْم مظلم. اما المسافة فهي تؤثر في كمية الأشعة السينية التي تصل إلى الفِلْم بقانون التربيع العكسي، وسيؤثر هذا في الفِلْم فقط إذا تم تغيير المسافة من دون تغيير ملي أمبير، وكقاعدة عامة مُعتَمدَة في عالم الأشعة، يتم التحكم في عدد درجات اللون الرمادي عبر استخدام الكيلو فولت، وتتحكم الملي أمبير في مدى قتامتها (اسوادها).

10. مستقبلات الصور الرقمية

يتم قديمًا تلقي الفوتونات، أو الإشعاع المنبثق لتكوين الصور الإشعاعية عبر استخدام الكاسيت أو شاشات التكثيف (الفِلْم المحمض) وهو عبارة عن حاوية قوية مُحكَمة الإغلاق من شأنها: احتواء أو إمساك الفِلْم وشاشات التكثيف بشكل مُحكَم لحماية الفِلْم من أي ضوء مرئي؛ مما قد يؤدي إلى تشويه، أو إتلاف الفِلْم والأشعة السينية. توجد في الكاسيت شاشتان مكثفتان تحتويان على مواد تتألق عندما تتعرَّض للأشعة السينية. يُعدّ الفِلْم الإشعاعي حساسًا لهذا الضوء المرئي المنبعث من الشاشات، وكذلك الأشعة السينية نفسها؛ مما يسمح لاستخدام كلٍ من فوتونات الضوء المرئي والأشعة السينية بتقليل أوقات التعرُّض، ومع ذلك يتم استخدام فِلْم من دون شاشات، أو شريط كاسيت عند الحاجة إلى تفاصيل دقيقة للغاية. يتم في الأجهزة الحديثة الآن استخدام جهاز الاستقبال الرقمي (Digital Receiver- DR, Or Image Receiver- IR)، حيث يقوم بتحويل الأشعة السينية إلى أشعة سينية رقمية، أو صور إشعاعية رقمية، وهو إجراء تُستخدَم فيه لوحات حساسة تعمل على تحويل الأشعة إلى صور تشخيصية من خلال استخدام تقنية البيانات الرقمية، وتستخدم هذه التقنية كمية من الإشعاع بنسبة 80% أقل مقارنة بالأشعة السينية التقليدية التي تستخدم الأفلام؛ مما يقلل بدوره بشكل كبير من وقت الفحص، حيث لا توجد حاجة إلى معالجة كيميائية للفِلْم لاستخراج الصور التشخيصية.

11. صفات الصورة التشخيصية الجيدة

من الصفات الجيدة للصورة التشخيصية: وضوح دقيق للأعضاء والمجسَّمات التي هي قيد الفحص (لا تعتمد صورة الأشعة فقط على قدرة الأشعة في اختراق الأجسام، بل يدخل في ذلك بالطبع مقدرة التقني أو اختصاصي الأشعة على تحديد موقع العضو لإجراء التصوير الجيد مع الحد من التشوه الهندسي، كما يجب أن تكون منطقة الاهتمام تحت الإشعاع المركزي (منتصف الجهاز) موازية للكاسيت (شاشة الاستقبال الرقمية) أو قريبة منها، ووجود إمكانية تصوُّر واضح للأجسام والأعضاء الداخلية من حيث التباين (اللون الرمادي، والأبيض، والأسود)، ومن حيث التفاصيل الجيدة، وعدم وجود أي عوامل، أو شوائب من صفتها التضليل على التشخيص، أو إخفاء الأعضاء الداخلية للجسم.

12. الصفات الموضوعية للتصوير الشعاعي الجيد

- **التباين (Contrast)**

وهو الفرق في اللون الأسود (أو السواد) بين لونين متجاورين، على سبيل المثال: عند استخدام الأفلام ذات التباين العالي (High contrast) ستظهر العظام بيضاء اللون فوق خلفية سوداء بشكل موحَّد، بينما لن تعرِض الأفلام ذات التباين المنخفض أي تباين بين اللونين الأسود أو الأبيض، بل إن ما سيظهر هو درجات مختلفة من اللون الرمادي، ويتأثر التباين بالآتي:

- الكيلو فولت (kV): حيث إن استخدام كيلو فولت منخفض ينتج عنه تباين عالٍ.
- ملي أمبير (mAs): يعطي استخدام ملي أمبير قليل (منخفض) تباينًا منخفضًا.
- الخصائص الكامنة في الفِلْم الشعاعي.
- طريقة معالجة الصور قد تؤثر على التباين.
- النتيجة الحاصلة من اصطدام الشعاع بجسم المريض، ومن ثَمَّ تشتُّت الأشعة، أو تناثرها.

- الضباب: وهو حدث متأصل في الفِلْم ينتج عند التعرُّض للضوء المرئي، أو الضوء الآمن غير الصحيح في الغرفة المُظلِمة، أو الإفراط في معالجة الصور.

- **التفاصيل والتعريف الشكلي (Detail and definition)**

تعتمد تفاصيل الصورة الإشعاعية على مدى قدرة الناظر على إدراك تباين الأشكال الداخلية بالمقارنة مع خلفية الصورة، والتعرُّف على هذه الأشكال، أو حدة التفاصيل الخارجية والداخلية للعضو الذي يتم تصويره.

تم تفصيل التباين سابقًا، ولكن يمكن أيضًا إضافة الآتي:

- تتطلب التفاصيل الصغيرة جدًا تباينًا عاليًا ليسهِّل على الناظر رؤيتها.
- إذا اندمج أحد الألوان العاتمة تدريجيًا في الآخر، فستجد العين صعوبةً في إدراك الفرق بينهما.
- إذا تم فصل كثافة لونين عن طريق خط ترسيم ثابت، فإنه يمكن رؤية الفرق بسهولة.
- وجود طمس أو غير وضوح في الصورة (Blurring) من الأسباب التي قد تؤدي إلى سوء التعرُّف على الصورة، وضعف دقة تحديدها، والتي قد تكون ناجمة عن:

ـ العوامل الكامنة في رأس الأنبوب وبين تركيبة الفِلْم، والشاشة.

ـ حركة الآلة أو الكائن الذي يتم تصويره، أو الفِلْم في أثناء التعرُّض للأشعة.

13. تعريف الصور الشعاعية أو تسميتها

من الواجب الحرص على تعريف جميع الأفلام المستخدَمة لتشخيص المرضى، وتسميتها بشكل جيد، حيث يوضح المختص اسم المريض، والمستشفى أو العيادة، وتاريخ الفحص، وهوية المريض، أو رقم الحالة، كما قد يحتاج الفِلْم إلى إدراج معلومات إضافية مثل: علامة يسار/ يمين لتحديد الأطراف، أو نوع اتجاه الأشعة بالنسبة لجسم المريض، وبيان الوقت المستغرَق عند القيام بفحص تصويري يُستخدم فيه أشعة ذات طابع متسلسل.

14. السلامة من الإشعاع

تتلخص السلامة من الأشعة في حماية ثلاث فئات مهمة، وهي:

حماية اختصاصي الأشعة

- يجب ألا يكون الموظفون في الجانب المتلقي للأشعة الرئيسية عند التصوير، أو في الأطراف (الأشعة المشتتة، المتناثرة) من دون حماية.
- لا ينبغي إمساك المريض (عن طريق اختصاصي الأشعة، أو الأقرباء من دون حماية) في أثناء التعرُّض للأشعة إلا إذا كان ذلك ذا ضرورة قصوى مثل: في حالات الأطفال، أو الإعاقات، أو التخدير العام.
- يجب على جميع الأشخاص المشاركين في الفحص ارتداء ملابس واقية مناسبة (مآزر مطاطية خاصة، وقفازات/ أكمام).
- يجب استبعاد الأشخاص غير المختصين بالفحص من الغرفة.
- يجب أن تكون الغرفة كبيرة وبها شاشات واقية للاستخدام في أثناء فحص الأشعة.
- يجب ارتداء مقياس الجرعة الوميضي الحراري (جهاز صغير يستخدم لقياس كمية الإشعاع التي تعرض لها الشخص) (Thermo- luminescent dosimeter) لتحديد ما إذا كان هناك تعرض غير مقبول للأشعة السينية.

حماية المريض

- يجب استخدام أسرع تركيبة مُمكِنة من الكيلوفولت والملي أمبير (kV&mAs) للحصول على صور تشخيصية؛ لتقليص كمية الأشعة التي يتعرَّض لها المريض.
- التأكد من استخدام الإطار الضوئي (الميزاء) (Collimator) لضم الشعاع الأساسي ليشمل فقط منطقة الاهتمام.
- استخدام مسافة ـ بؤرية مناسبة للفِلْم.
- تجنُّب تكرار الصور الشعاعية، وذلك من خلال ضمان اختيار إعدادات جهاز التصوير الشعاعي المناسبة للمريض ونوع الفحص.

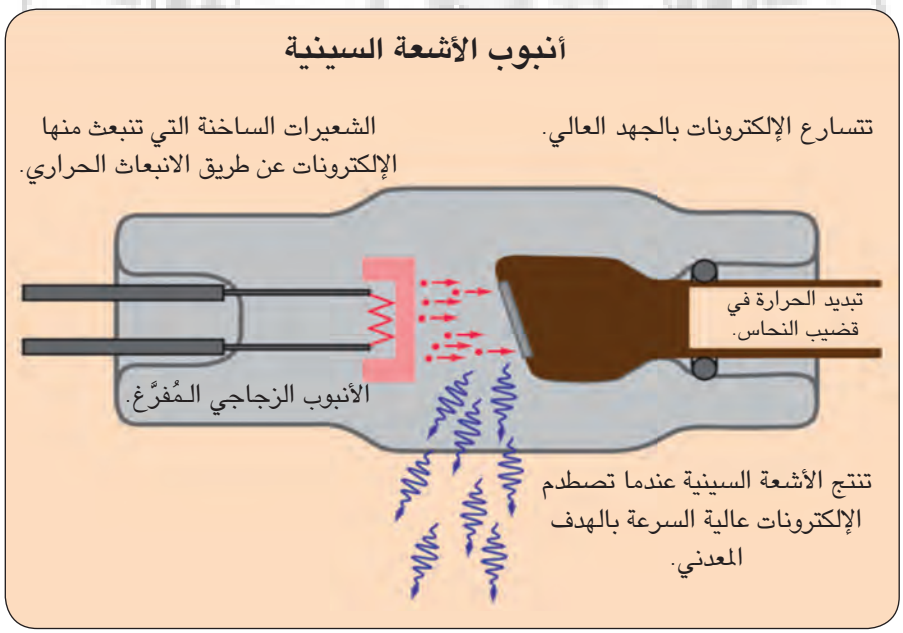
حماية المراجعين وأقارب المرضى

- يجب التأكد من معالجة الأبواب والجدران بالشكل المطلوب لمنع تسرُّب الإشعاع.
- يجب وضع أضواء التحذير خارج غرفة التصوير الإشعاعي للإشارة إلى تحضير الأنبوب، أو التعرُّض له.
- يجب أن تكون هنالك لوحات، أو علامات تحذير من خطر الإشعاع موجودة على الأبواب كافة التي تشمل أجهزة التصوير بالإشعاع.
- لا ينبغي السماح للأشخاص الذين تقل أعمارهم عن 16 عامًا، والنساء الحوامل بالمساعدة في إجراءات التصوير الإشعاعي.

التصوير المؤيَّن، أو التصوير السيني الإشعاعي بأنواعه

بشكل عام يتم التصوير المؤين من خلال استخدام أنبوب مُفرَّغ من الهواء لإنشاء الأشعة السينية، ويحتوي الأنبوب على جانب سالب الشحنة الذي بدوره يحتوي على أسلاك (عادة ما تكون مصنوعة من سلك تنجستن ملفوف) تُستخدَم لإنتاج الإلكترونات المنبعثة التي تتسارع باتجاه الجانب موجب الشحنة (يسمى الأنود). فيحتوي الأنود على هدف (عادة ما يكون مصنوعًا من التنجستن أو مصنوعًا من موليبدينيوم والروديوم في حالات تصوير الثدي) يستقبل الإلكترونات المنبعثة ليتم إنتاج الأشعة السينية. يوجد كلٌّ من الكاثود والأنود داخل الأنبوب المُفرَّغ الذي يتم فيه إنشاء حوالي 90% من الأشعة السينية. عندما تمر الإلكترونات المنبعثة من الكاثود بالقرب من نوى ذرية موجبة الشحنة داخل هدف الأنود وتغير الاتجاه، فإن ذلك يؤدي إلى فقدان الطاقة، فتتكون الفوتونات المعروفة باسم الأشعة السينية، وتسمى هذه العملية بتكسير الأشعة (أو نظرية برمسترهلنج) (Bremsstrahlung). كما يتم إنتاج 10% إضافية من الأشعة السينية عندما يتم إخراج الإلكترونات الذرية الموجودة في الغلاف الداخلي للأنود بواسطة الإلكترونات الساقطة (العابرة)، ومن ثَمَّ استرخاء إلكترونات الغلاف الخارجي لملء فراغات الغلاف الداخلي؛ مما يؤدي إلى انبعاث طاقة إضافية على شكل (X) تُعرَف بفوتونات الأشعة السينية الخاصة، أو المميزة (Characteristic X-Rays). تُستخدَم هذه الطريقة في أغلب طرق التصوير المؤيَّنة مثل: التصوير بالأشعة السينية العامة، والتصوير بالأشعة المقطعية،

أو التنظير الفلوري (Fluoroscopy)، وتصوير الثدي (Mammography)، وفحص هشاشة العظام (Bone Density Test)، وتُستخدَم هذه الفحوص في الغالب لتقييم العظام، والمفاصل، والصدر (خاصة الرئتين)، والبطن، والحوض (خاصة الأمعاء)، والثدي، ويتم ذلك عن طريق تسليط الأشعة السينية على فِلْم (سابقًا) أو كاشف صورة إلكتروني مع وضع المريض في اتجاه ووضعية معينة بين جهاز الأشعة والكاشف، أو الفِلْم، فتتكون صور إسقاطية (ثنائية، أو ثلاثية الأبعاد بحسب نوع الجهاز) لمنطقة مخصصة يتم اختيارها في الجسم. على عكس الأشعة السينية التي يكون فيها أنبوب الأشعة السينية ثابتًا عند التصوير، يستخدم التصوير المقطعي مصدرًا مُجهَّزًا بالأشعة السينية غير ثابت، يدور بشكل دائري حول المريض، ويطلق حزمًا ضيِّقة من الأشعة السينية عبر الجسم، وتستخدم أجهزة المسح المقطعي المحوسب كاشفات رقمية خاصة بالأشعة السينية التي توجد مباشرة مقابل مصدر الأشعة السينية،



شكل يوضح مُجسَّمًا لأنبوب الأشعة الذي يتم فيه إنتاج الأشعة السينية عن طريق تسريع الإلكترونات ذات الجهد العالي، والسماح لها بالتصادم مع هدف معدني.

حيث يتم بواسطتها التقاط الأشعة ونقلها إلى جهاز كمبيوتر. في كل مرة يُكمِل فيها مصدر الأشعة السينية دورة كاملة واحدة يستخدم الكمبيوتر المقطعي المحوسب تقنيات رياضية متطورة لإنشاء شريحة صورة ثنائية الأبعاد للمريض، ويمكن عرض شرائح الصور إما بشكل فردي أو تجميعها معًا بواسطة الكمبيوتر؛ وذلك لإنشاء صورة ثلاثية الأبعاد للمريض تُظهِر الهيكل العظمي، والأعضاء، والأنسجة، إضافة إلى أي أمراض، أو تشوهات يحاوِل الطبيب تحديدها. تتمتع هذه الطريقة بعديد من المزايا بما في ذلك القدرة على تدوير الصورة ثلاثية الأبعاد في الفضاء، أو عرض الشرائح بالتتابع؛ مما يسهِّل العثور على المكان الدقيق الذي قد توجد فيه المشكلة.

يعتمد انتقال الإشعاع عبر الجسم بشكل كبير على نوع الوسط الذي يعبُر من خلاله، مثالاً على ذلك: العظام، والأنسجة، والأعضاء التي بدورها تسمح بمرور الأشعة بكميات مختلفة، فقد تمر الأشعة السينية عبر مادة غير متأثرة، أو قد يتم امتصاصها، أو قد تتناثر؛ مما يؤدي إلى تكوين مركَّب من ظلال الأشعة السينية تُستحدَث منه الصورة الإشعاعية النهائية، وبالطبع هنالك كثير من العوامل التي تتحكم في نوع الصورة المنتجة من أهمها: طاقة فوتون الأشعة، وكثافة المادة وسماكتها، والعدد الذري للمادة التي يتم تصويرها، وهذه العوامل إضافة إلى غيرها تسمح لاختصاصي الأشعة باستحداث (إنتاج) الصورة الإشعاعية، وسيتم في الفصل التالي شرح طرق استخدام الأشعة بتفصيل أكثر.

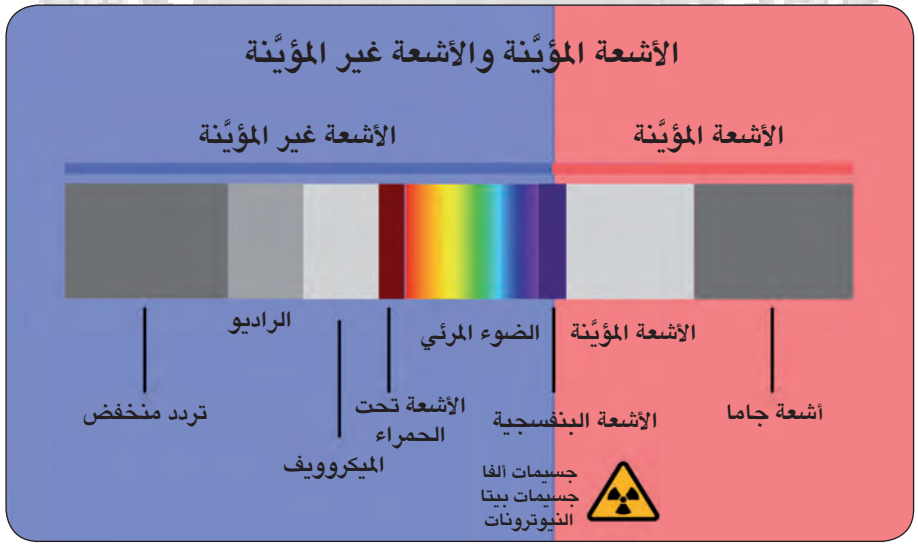
ثانيًا: مفهوم التصوير غير المؤيَّن

الإشعاع موجود في كل مكان حول الناس، ويكون على هيئتين وهما: الإشعاع المؤين، وغير المؤين.

سبق وذُكر الإشعاع المؤين، أما الإشعاع غير المؤين فهو شكل من أشكال الإشعاع ذي طاقة أقل من الإشعاع المؤيَّن، فالتأيُّن هو عملية إعطاء طاقة كافية للإلكترون للانفصال عن الذرة. لا يحتوي الإشعاع غير المؤيَّن على طاقة كافية لإحداث التأيُّن، فعلى عكس الإشعاع المؤيِّن، لا يزيل الإشعاع غير المؤيَّن الإلكترونات من الذرات أو جزيئات المواد التي تشمل كلًا من: الهواء، والماء، والأنسجة الحية، وهذا الإشعاع موجود في نهاية الطول الموجي الطويل للطيف، ولديه القدرة على إثارة الجزيئات والذرات؛ مما يجعلهما تهتزان بشكل أسرع، ومن ثَمَّ يؤدي ذلك إلى رفع الإلكترونات إلى حالات طاقة عُليا.

فيما يأتي بعض الأمثلة على الإشعاع غير المؤيَّن:

- إشعاع الترددات الراديوية (RF- Radio Frequency) المستخدمة في تطبيقات البث والاتصالات.
- الأشعة تحت الحمراء المُستخدَمة في المصابيح الحرارية.
- الأشعة فوق البنفسجية (UV- Ultra Violet) الصادرة من الشمس.
- الضوء القريب من الأشعة فوق البنفسجية.
- الضوء المرئي.
- الميكروويف.
- إشعاع ذو تردد منخفض جدًا (VLF- Very Low Frequency).
- إشعاع التردد المنخفض للغاية (ELF- Extremely Low Frequency).
- الإشعاع الحراري.
- إشعاع الجسم الأسود.



يوضح الرسم موقع الخط الفاصل بين الإشعاع غير المؤيَّن، والإشعاع المؤيَّن في الجزء فوق البنفسجي من الطيف الكهرومغناطيسي.

قد لا ينتج عن الإشعاع غير المؤيَّن آثار صحية خطيرة مثل: الأخطار الناتجة من التعرُّض للإشعاع المؤيَّن، ولكن من آثاره الملحوظة تولُّد حرارة، أو تسخين للجسم المعرَّض، وفي بعض الحالات الشديدة قد تتسبب الحرارة الشديدة في تلف الأنسجة، ولكن التعرُّض المنخفض للإشعاع غير المؤيَّن لا يسبب مشكلة في العادة. على سبيل المثال: يطلق جسم الإنسان طاقة حرارية غير ضارة، بينما يولِّد فرن الميكروويف ما يكفي من الإشعاع غير المؤيَّن لطهي الطعام، ونادرًا ما يتسبب جزء الطول الموجي الطويل من الطيف في حدوث تسخين، ولكن يمكن أن يتسبب في تراكم الشحنة الكهربائية على الجسم، في الحالات القصوى يزعج الإشعاع منخفض التردد استجابات العضلات والأعصاب، وعلى الرغم من أن الأشعة تحت الحمراء، والمرئية، والأشعة فوق البنفسجية لا تؤين الذرات، فإنها ما تزال توفر طاقة كافية لبدء التفاعلات الكيميائية، ويمكن أن يسبب الضوء القوي فرط تصبُّغ الجلد، والتشيخ الضوئي (شيخوخة الجلد المبكرة)، أو إعتام عدسة العين.

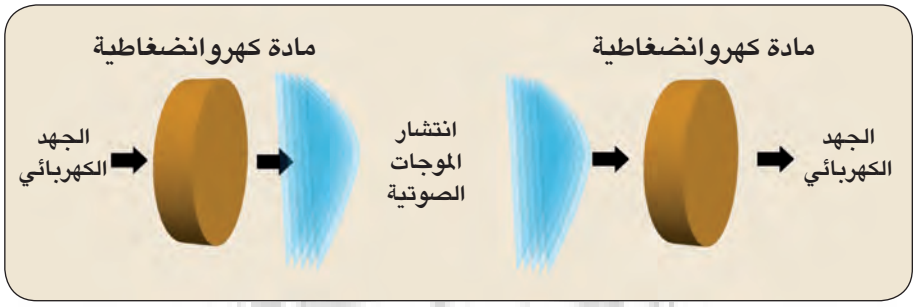
مفاهيم عامة في فيزياء التصوير الطبي غير المؤيَّن (أو فيزياء الإشعاع غير المؤيَّن)

يُعد التصوير غير المؤيَّن أحد مجالات الفيزياء الطبية التي تشمل الموجات فوق الصوتية والتصوير بالرنين المغناطيسي، والمعروف أيضًا باسم التصوير بالرنين المغناطيسي، والتصوير البصري. قد تكون هذه الأساليب من الطرق المفضلة في المجالات الطبية؛ لأنها أقل ضررًا من التصوير باستخدام الأشعة المؤيَّنة. فيما يأتي شرح لتلك الفحوص التصويرية:

1. التصوير بالتردد الصوتي، أو فوق الصوتي (السونار) (Ultrasound Imaging- US)

يُعدُ فهم فيزياء الموجات فوق الصوتية أمرًا ضروريًا للحصول على الصور وتفسيرها بدقة، وهي تقنية لرؤية الأعضاء داخل الجسم باستخدام موجات صوتية عالية التردد، ويتم إنتاج الموجات فوق الصوتية بواسطة محوِّل يمكنه إصدار موجات فوق صوتية، وكذلك رصد أصداء الموجات فوق الصوتية التي تنعكس مرة أخرى.

في معظم الحالات، تتكون العناصر النشطة في محوِّلات طاقة الموجات فوق الصوتية من مواد خاصة تُسمى الكهروانضغاطية (توجد في الطبيعة مواد تنتج تيارًا كهربائيًا عند تعرُّضها للضغط، وللبلورات بِنيَة منتظمة أكسبتها ميزة تراص الأيونات السالبة من جهة، والموجبة من جهة أخرى، وبذلك ينتج فرق جهد يتحول إلى تيار كهربائي، كما تم التوصل إلى أن العظام بها الخاصية الكهروانضغاطية). فعندما يتم إنتاج الصورة الصوتية يُرسِل مولد الإشارة الكهربائية دفعة من الطاقة الكهربائية إلى البلورة الكهروانضغاطية في محول الطاقة؛ مما يتسبب في اهتزاز البلورة وتحويل النبضات الكهربائية إلى اهتزازات ميكانيكية (موجات صوتية)، ونظرًا لعملية التقاط صور الموجات فوق الصوتية مباشرة (أو في وقت فعلي)، فإنه يمكن أن تكشف عن حركة الأعضاء الداخلية، وكذلك حركة الدم عبر الأوعية الدموية، ويحدث ذلك عندما تنتقل الموجات الصوتية إلى الجسم، ثم تنعكس مرة أخرى على الماسح (المحوِّل). وتنتج محولات الطاقة عالية التردد صورًا عالية الدقة، ولكنها تخترق بشكل منخفض لا يتعدى أسفل سطح الماسح (اختراق ضحل). أما محوِّلات الطاقة ذات التردد المنخفض، فإنها تنتج صورًا منخفضة الدقة، ولكنها تخترق بشكل أعمق (وعادةً يتم استخدام ترددات أكبر من 20 كيلو هرتز)، إذا كانت المادة التي يخترقها الصوت موحَّدة بحيث تتدفق من خلالها موجات الصوت بسلاسة فإنها لا تولد أصداءً يلتقطها الجهاز، وينتج عن ذلك صورة فوق صوتية سوداء، ومن ناحية أخرى إذا تم عكس الموجة مرة أخرى إلى المسبار عند اصطدام الموجات الصوتية بالأنسجة التي تمتص الصوت، أو تنقله، تتكون صورة مرئية، وتعتمد الصورة المتكوَّنة اعتمادًا كبيرًا على قوة الانعكاس، وتكون صورة الموجات فوق الصوتية بيضاء أو رمادية، ولا تستطيع الموجات فوق الصوتية، على عكس الأشعة السينية، أو الأشعة المقطعية، تحديد كثافة الأنسجة. في الموجات فوق الصوتية، تعكس الأنسجة السميكة جدًا، مثل: حصوات العظام أو الكلى، صدىً سريعًا وتظهر بيضاء ناصعة، وتنعكس الأصداء أيضًا بسهولة في الهواء، مثل: الهواء الموجود في الأمعاء؛ نتيجة لذلك تبدو حدود الأمعاء بيضاء أيضًا في الموجات فوق الصوتية؛ لذلك قد تظهر الأشياء ذات الكثافة المختلفة إلى حد كبير (مثل: الهواء، والعظام) على الموجات فوق الصوتية على أنها بيضاء ناصعة.



شكل يوضح محوِّل الطاقة بالموجات فوق الصوتية.

من خلال أبحاث أجراها باحثون أمريكيون في الولايات المتحدة الأمريكية وجدوا أن فحوص الموجات فوق الصوتية في أثناء فترة الحمل قد تُعرِّض الجنين لصوت مرتفع، مثل ذلك الذي يصدره قطار مترو الأنفاق عند قدومه إلى المحطة، لكن الأطباء لا يعتقدون أنها قد تسبب أي ضرر دائم للطفل.

2. التصوير بالرنين المغناطيسي (Magnetic Resonance Imaging- MRI)

قد تكون فيزياء التصوير بالرنين المغناطيسي معقَّدة، ويصعُب فهمها في بعض الأحيان بخلاف فيزياء التصوير المؤيَّن مثل: التصوير السيني، أو التصوير المقطعي المحوسب، أو حتى التصوير بالموجات فوق الصوتية، وفي هذه الفقرة سيتم شرحها بطريقة مُختصَرة ومبسَّطة من دون الدخول في تفاصيل متعلقة بتحضير الصور بشكل مباشر.

التصوير بالرنين المغناطيسي (MRI) هو طريقة تصوير تبتكر صورًا لتشريح عمليات الجسم الفيزيولوجية من دون استخدام الأشعة السينية (أو الإشعاع المؤيَّن). ولكن يُستخدم فيها مغناطيس قوي ذو مجالات مغناطيسية متعددة (Gradient fields) لترميز الإشارات الصادرة من جهاز الرنين وموجات الراديو (Radio frequency) ومن ثَمَّ استحداث الصور، وتتم طريقة عملها عندما تنتج الذرات الموجودة في المجال المغناطيسي طاقة بعد استثارتها باستخدام موجات الراديو، ومن ثَمَّ يلتقط جهاز التصوير بالرنين المغناطيسي الإشارات من نوى (مراكز) ذرات الهيدروجين في الجسم،

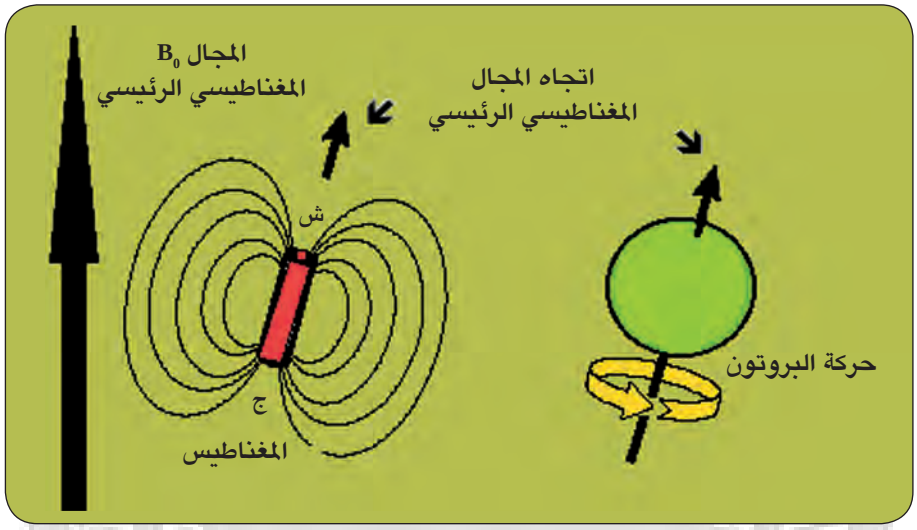
عندها يتم نقل هذه الإشارات إلى جهاز حاسب آلي (كمبيوتر)، حيث يقوم الحاسب بعد ذلك بتحويل الإشارة إلى صورة باستخدام خوارزميات رياضية، ومن العوامل التي لا يتوقع رؤيتها بوضوح؛ نظرًا لاحتوائها على عدد قليل من ذرات الهيدروجين، الهواء وبعض العظام شديدة الصلابة، فينتج عن ذلك مناطق باللون الأسود في الصورة التشخيصية، أما الدهون والماء (أو نخاع العظام، والسائل النخاعي، والدم، والأنسجة الرخوة) الموجودة في الجسم مع إضافة إعدادات الجهاز المُستخدَمة في الفحص، فيمكن رؤيتها بوضوح، وتتراوح بين اللون الرمادي إلى الأبيض.

ويمكن تقسيم عملية التصوير بالرنين المغناطيسي إلى أربعة أجزاء:

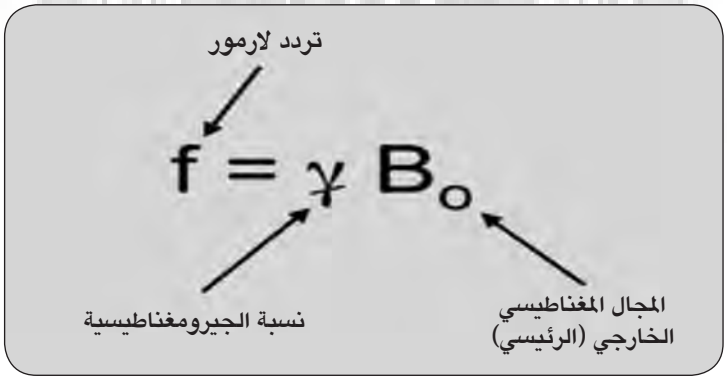
- **التحضير**

تستغل تقنية الرنين المغناطيسي الخواص المغناطيسية الموجودة في جسم الإنسان بالأخص تلك الموجودة في البروتونات موجبة الشحنة، فبالإمكان تعزيز هذه الخواص بشكل أكبر وتقويتها باستخدام جهاز الرنين المغناطيسي، وتوجد البروتونات في أنوية العناصر الموجودة في جسم الإنسان مثل: ذرات الهيدروجين، والكربون، والأكسجين، وبالطبع من الممكن استخدام بروتونات ذرات أخرى من مثل: الكربون، والصوديوم، وهي موجودة في جسم الإنسان، لكن الهيدروجين يتوافر في جسم الإنسان بكمية أكبر بكثير من الذرات الأخرى، ولذلك يُستخدَم في الرنين المغناطيسي، وتعتمد إشارة الرنين المغناطيسي المُستخدَمة في البروتون والنواة على خاصية مَغْنَطة يُطلَق عليها خاصية الدوران المغزلية (Spin). تجعل الحركة المغزلية من البروتون وكأنه مغناطيس يحتوي على قطبين، أحدهما شمالي، والآخر جنوبي، إضافة إلى إعطائه المجال المغناطيسي. وإن أردنا أن نتعلم شيئًا إضافيًا عن حركة البروتون، فإضافة للحركة المغزلية حول المحور (Spinning) فإن البروتونات تتحرك عند وضعها في مجال مغناطيسي بحركة دائرية حول خطوط المجال المغناطيسي تسمى بحركة لارمور الدورانية (بدارية لارمور) (Larmor Precessional Movement)، وتتغير سرعة حركة لارمور الدورانية للبروتون باختلاف قوة المجال المغناطيسي، ونقيس قوة المجال المغناطيسي بوحدة التسلا (Tesla). أما التردد فوحدته هي الهرتز، أو

الميجا هرتز (MHz)، وتزيد الحركة الدورانية بزيادة قوة المجال المغناطيسي (علاقة طردية)، ويُطلق على هذا التردد تردد لارمور، ويمكن حساب تردد هذه الحركة عند مجال مغناطيسي معين بواسطة قانون لارمور (Larmor's Equation).



شكل يوضح تأثير المجال المغناطيسي في بروتونات الهيدروجين، حيث يحتوي الهيدروجين على بروتون وحيد، وتلتف كل البروتونات حول نفسها (حركة الدوران المغزلية) لتنتج شحنة مغناطيسية، وبالإمكان التأثير فيها.



شكل يوضح قانون لارمور الذي يمكن من خلاله حساب تردد لارمور عند مجال مغناطيسي معين.

يُعد المجال المغناطيسي للبروتون محدودًا وصغيرًا جدًا، وهذا ما لا يجعل البشر عبارة عن مغناطيس متحرك على الرغم من وجود الظاهرة المغناطيسية فيه، ومع أن جسم الإنسان يحتوي على عديد من بروتونات الهيدروجين، فإنه لا يوجد لها أي تأثير يُذكر، ويعود السبب في ذلك إلى أنها مبعثرة الاتجاهات فيلغي بعضها بعضًا. ويمكن وصف هذا بطريقة علمية بأن مجموع العزم (Momentum) (كمية الحركة)المغناطيسي الكلي للبروتونات يساوي صفرًا. تلغي المجالات المغناطيسية المتعاكسة بعضها؛ لذلك يتم تجاهلها بشكل كلي، وتبقى كمية قليلة من البروتونات (وعددها بالملايين، فهي قليلة فقط عند مقارنتها بالمجموع الكلي) التي تكوّن مجالاتها المغناطيسية في اتجاه المجال المغناطيسي الخارجي، وبهذا يصبح هنالك مُحصلة مغناطيسية قوية (Net Magnetic Vector- MNV) يمكن استغلالها في رصد إشارة الرنين المغناطيسي، والمجال المغناطيسي الخارجي (B0) هو نفسه مجال المغناطيس الموجود داخل جهاز الرنين، ويُسمى أيضًا المجال المغناطيسي الرئيسي.

- **الاستثارة**

تكون اتجاهات المجالات المغناطيسية في جسم الإنسان مبعثرة، لكن عند وضعها داخل جهاز الرنين المغناطيسي تغيِّر اتجاهاتها، بحيث يصبح لها مُحصِّلة مغناطيسية في اتجاه المجال المغناطيسي الخارجي، وعند وضع البروتونات في مجال مغناطيسي رئيسي سيكون مجموع محصلتها المغناطيسية موازيًا للمجال الرئيسي الذي يُسمى بالمغنطة الطولية. أيضًا ستدور حول خطوط مجالها المغناطيسي بتردد معين يعتمد على قوة المجال المغناطيسي الخارجي، وهذه هي حالة الاتزان، ولا يمكن أخذ أي إشارة من حالة الاتزان؛ لأن الإشارة المغناطيسية التي نريدها تكون مغمورة في اتجاه المجال الرئيسي، ولكي نسجل الإشارة لا بد من استثارتها بحيث تبتعد عن اتجاه المجال الرئيسي، كما أنه يمكن استثارة (Excite) البروتونات بواسطة موجات الراديو التي هي عبارة عن طاقة يتم إرسالها لهذه البروتونات بحيث تكون قادرة على تغيير اتجاه محصلتها المغناطيسية من المغنطة الطولية إلى المغنطة العرضية (Longitudinal Vs Transvers). ويتم إرسال موجات الراديو بتردد محدد بحيث تستثير البروتونات التي تمتلك التردد نفسه فقط في ظاهرة تُسمى بالرنين (Resonance)، والرنين هو تبادل الطاقة بين موجات الراديو والبروتونات عندما يكون لهم تردد متشابه.

- **الترميز المكاني**

لا يحدث للبروتونات التي ليس لها تردد موجات الراديو نفسه أي استثارة، وبهذا يمكننا استثارة البروتونات المرغوبة، وذلك بمعرفة ترددها، فإذا كان الهدف استثارة بروتونات معينة فيجب أن يتم حساب ترددها بواسطة قانون لارمور، ومِن ثَمّ إرسال موجات راديو مساوية لهذا التردد، وتحدث الاستثارة فقط لهذه البروتونات المتوافقة، ولن تتأثر أي بروتونات أخرى بموجات الراديو، وبالطبع جهاز الرنين المغناطيسي هو ما يقوم بهذه الحسابات وليس اختصاصي الرنين المغناطيسي.

- **الحصول على إشارة**

يتم الاسترخاء بعد إيقاف موجات الراديو؛ مما يسمح بعودة البروتونات إلى حالة الاتزان، وهنا يتم خسارة المغنطة العرضية، ويحدث ارتفاع المغنطة الطولية مرة أخرى، ويتم خسارة المغنطة العرضية؛ بسبب خسارة البروتونات للطاقة التي اكتسبتها من موجات الراديو فتعود لحالتها الطبيعية، وتُعد هذه الخسارة في الطاقة هي إشارة الرنين المغناطيسي.

3. التصوير الضوئي أو البصري (Optical Imaging) ـ الألياف الضوئية والمناظير

تؤدي الأنظمة البصرية دورًا مهمًا في التصوير الطبي، بدءًا من تعزيز فهم العمليات البيولوجية الأساسية، ووصولاً إلى تشخيص المرض، فيمكن أن تحقق أنظمة التصوير البصري دقة عالية للتنظير تكون على المستوى الخلوي إلى شبه الخلوي. كما أتاحت التطورات التقنية إمكانية التصوير حتى عدة مئات من الميكرونات (Micron) تحت سطح الأنسجة، وفي بعض الحالات يكون الاختراق الأعمق أيضًا ممكنًا، ويشمل التصوير البصري الطبي مجموعة متنوعة من التقنيات التي تستخدم الضوء للحصول على صور من داخل جسم الإنسان، مثل: تطبيق التنظير في إجراء الجراحة الروبوتية، والتصوير المقطعي البصري (Optical Coherence Tomography)، ويُعدّ التصوير المقطعي البصري تقنية تُستخدم للحصول على صور تحت السطح مثل: الأنسجة المريضة تحت الجلد مباشرة، ويستخدمه أطباء العيون

للحصول على صور مُفصَّلة من داخل شبكية العين، ويستخدمه أطباء القلب أيضًا للمساعدة على تشخيص مرض الشريان التاجي، كما يعمل التصوير الضوئي عن طريق نبضات الليزر التي تستهدف أنسجة المريض، وتولد الحرارة لتوسيع الأنسجة، وتُستخدَم هذه التقنية أيضًا لمراقبة نمو الأوعية الدموية في الأورام، والكشف عن الأورام الجلدية السرطانية، ويمكن للتصوير المقطعي البصري المتنافذ أو المنتشر (Diffuse Optical Tomography-DOT) الحصول على معلومات حول نشاط الدماغ باستخدام ضوء الأشعة تحت الحمراء القريبة، فيعكس الضوء المبعثَر الخصائص الفيزيولوجية مثل: تورم الخلايا العصبية عند التنشيط لتمرير إشارة عصبية، كما يُستخدَم لقياس خصائص الأنسجة مثل: تركيز الهيموجلوبين الكلي وتشبع الأكسجين في الدم. نظرًا لأن هذه التقنية تعمل جيدًا في الأنسجة الرخوة، فتُستخدم أيضًا على نطاق واسع لتصوير سرطان الثدي، والتصوير الوظيفي للدماغ، واكتشاف السكتة الدماغية، والعلاج الضوئي، ومراقبة العلاج الإشعاعي، ويعتمد تصوير رامان الطيفي (Raman spectroscopy) على تشتت رامان للضوء المرئي، أو القريب من الأشعة تحت الحمراء، أو القريب من الأشعة فوق البنفسجية، فيتفاعل ضوء الليزر مع الاهتزازات الجزيئية في المادة، ومع التحولات في الطاقة التي تكشف عن الخصائص الكيميائية للمادة، وتشمل تطبيقاته تحديد المركَّبات الكيميائية وهيكل المواد والبلورات، أما في أثناء إجراء الجراحة، فإنه يتم استخدام أجهزة تصوير رامان (يقوم بتحليل الغازات) لمراقبة خليط الغازات المُستخدَمة في التخدير، ومن ناحية أخرى يمكن للفحص المجهري فائق الدقة (Super-Resolution Microscopy) الحصول على صور عالية الجودة للخلايا الفردية، بمستوى من التفاصيل غير ممكن باستخدام الفحص المجهري الروتيني. فعلى سبيل المثال: يمكن أن يستخدم المجهر الضوئي (Photoactivated Localisation Microscopy-PALM) علامات ضوئية متوهجة (Florescent Markers) لتحديد الجزيئات المُفرَدة.

وهنالك أيضًا التنظير، أو التنظير الداخلي (Endoscopy) وهو إجراء يمكِّن الأطباء من رؤية أعضاء الجسم الداخلية، مثل: بعض المفاصل أو التجاويف الداخلية. المنظار الداخلي هو جهاز يوفر الإضاءة والرؤية باستخدام الألياف البصرية والعدسات، وبحسب الإجراء الطبي، قد يكون جزء المنظار الذي يتم إدخاله في الجسم صلبًا أو مرنًا، ويختلف أيضًا اسم المنظار طبقًا للمنطقة التي يتم تشخيصها مثال على ذلك: ما يدخل من خلال شق في البطن يطلق عليه اسم منظار البطن (Laparoscope)

ويُستخدَم أيضًا في أمراض النساء وجراحة الصدر، أما ما يدخل في الأمعاء والجهاز الهضمي فيُطلَق عليه منظار المعدة (Gastroscope)، ويُستخدم كذلك منظار المفصل (Arthroscope) في تشخيص بعض أمراض المفاصل، ويتم في التنظير استخدام مبدأ الانعكاس الداخلي الكلي للبصريات، حيث ينعكس كل الضوء مرة أخرى إلى الوسط الأول إذا كانت زاوية السقوط في الوسط الأول أكبر من الزاوية الحرجة.

ثالثًا: مفهوم التصوير النووي

يُعدّ التصوير بالطب النووي طريقة لإنتاج الصور عن طريق الكشف عن الإشعاع من أجزاء مختلفة من الجسم بعد إعطاء المقتفي الإشعاعي (النظير المُشع، أو العلامة المُشعة) للمريض، ويتم إنشاء الصور رقميًا على جهاز الكمبيوتر ونقلها إلى طبيب الطب النووي الذي يفسر الصور لإجراء التشخيص، ويُستخدَم التصوير النووي في تشخيص مُختلف الأمراض، وتشمل الحالات التي يتم تشخيصها عن طريق التصوير بالطب النووي ما يأتي:

- اضطرابات الدم.
- مرض الغدة الدرقية، بما في ذلك قصور الغدة الدرقية.
- الأمراض القلبية.
- أمراض المرارة.
- مشكلات الرئة.
- مشكلات العظام، بما في ذلك الالتهابات أو الكسور.
- أمراض الكلى، بما في ذلك الالتهابات، أو الندبات، أو الانسداد.
- أمراض السرطان.

كما يمكن أيضًا استخدام التصوير بالطب النووي لعلاج الحالات المرضية، أو لتقييم كيفية عمل العلاج، وأحد الأمثلة على ذلك هو العلاج المناعي الإشعاعي الذي يَجمَع بين العلاج الإشعاعي والعلاج المناعي لتوصيل الإشعاع بدقة إلى المنطقة

المُستهدَفة، ويتمثل الاختلاف الرئيسي بين تصوير الطب النووي والاختبارات الإشعاعية الأخرى في شكل المعلومات التي يتم الحصول عليها، حيث ترتبط هذه المعلومات بشكل أساسي بالوظيفة الفيزيولوجية للعضو بدلاً من المعلومات التشريحية التي يتم الحصول عليها باستخدام أنظمة التصوير بالأشعة السينية؛ لذلك يقدم التصوير النووي منظورًا مختلفًا لحالة المرض، وينتج معلومات إضافية عن تلك التي تم الحصول عليها من صور الأشعة السينية.

مفاهيم عامة في فيزياء التصوير النووي

يُعدّ التصوير النووي جانبًا من التصوير الطبي، حيث تُستخدَم فيه نظائر دوائية مُشعة لتقييم وظائف الجسم وتشخيص الأمراض، أو علاجها، ويتم فيه استخدام كاميرات مُصمَّمة خصيصًا لتتبُّع مسار المواد المشعة، ومنه التصوير المقطعي المحوسب بانبعاث الفوتون الفردي، أو التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني. تتكون النظائر المُشعة من جزيئات حاملة مرتبطة بإحكام بذَرةٍ مُشعة، وتختلف الجزيئات الحاملة اختلافًا كبيرًا اعتمادًا على الغرض من الفحص، فتستخدم بعض النظائر جزيئات تتفاعل مع بروتين معين، أو سكر في الجسم، ويمكنها أيضًا استخدام خلايا المريض، فعلى سبيل المثال: في الحالات التي يحتاج فيها الأطباء إلى معرفة المصدر الدقيق للنزف المعوي، قد يقومون بإضافة علامة إشعاعية (إضافة ذرات مُشعة) إلى عيِّنة من خلايا الدم الحمراء المأخوذة من المريض، ثم يُعيدون حقن الدم، ويستخدمون فحص التصوير المقطعي البوزيتروني لتتبُّع مسار الدم في المريض، وعند حدوث أي تراكم للنشاط الإشعاعي في الأمعاء فإن ذلك يشير إلى موقع المرض، وبالنسبة لمعظم الدراسات التشخيصية في التصوير النووي، فإنها توصي بإعطاء النظائر المُشعَّة للمريض عن طريق الحقن في الوريد، ويمكن أيضًا إعطاؤها عن طريق الاستنشاق، أو الابتلاع عن طريق الفم، أو عن طريق الحقن المباشر في العضو، وذلك يعتمد على المرض الذي سيتم دراسته، وتساعدنا الفيزياء النووية على فهم:

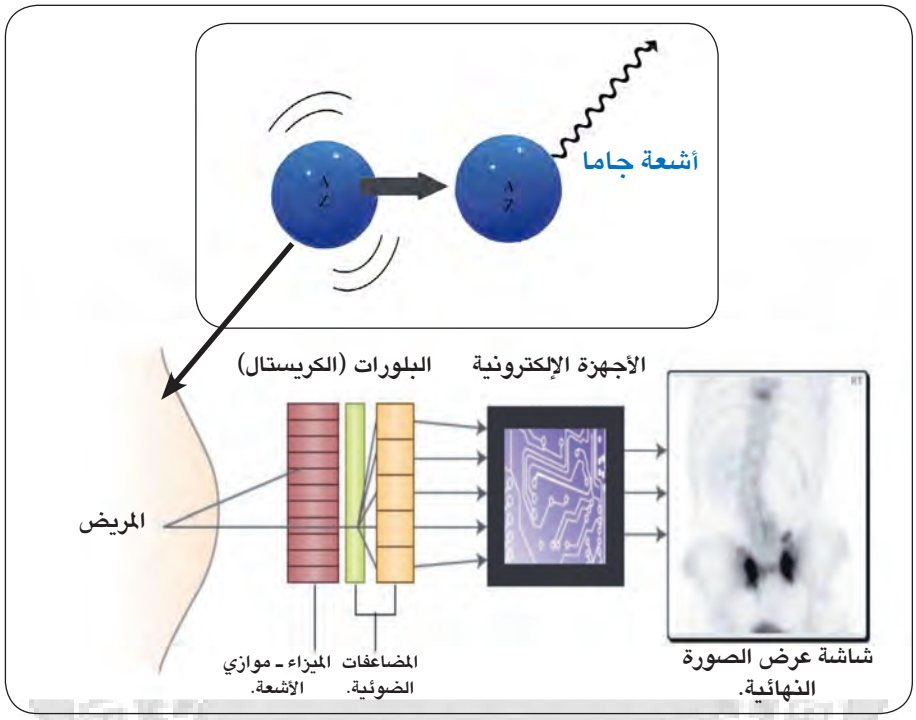
- ما الذرات وجزيئاتها التي يمكن استخدامها لترتبط مع الذرات المُشعة في عملية التشخيص؟
- ما الذرات المُشعة التي يمكن استخدامها في العلاج؟

- الاحتياطات اللازمة لحماية كلٍّ من المريض، أو من حوله من الإشعاع.
- الاحتياطات اللازمة لتقليل آثار الإشعاع على المريض.
- التدابير الوقائية الأخرى اللازمة للتعامل مع بعض المنتجات المُشعَّة والطرق المُتَّبعة للتخلص السليم من المواد المُشعة في قسم الطب النووي.

وحتى يتسنى فهم التصوير النووي من المهم معرفة التعاريف الآتية الخاصة بعلوم فيزياء التصوير النووي:

فيزياء الذرة

تتكون نواة الذرة من بروتونات ونيوترونات متماسكة بقوة نووية فائقة، وتكون الذرات مستقرة عندما تتمكن هذه القوة النووية القوية من الاحتفاظ بالبروتونات والنيوترونات المكوِّنة لها داخل النواة، وعندما تم رسم عدد النيوترونات والبروتونات على الرسم البياني، وُجد أن النوى المستقرة تقع ضمن منطقة ضيِّقة تسمى «نطاق الاستقرار»، تقارب تقريبًا نسبة 1: 1 من النيوترونات إلى البروتونات في ذرات العدد الذري المنخفض، وعند زيادة الوزن الذري للذرة تنحرف هذه النسبة نحو نسبة أعلى من النيوترونات مقارنة بالبروتونات، ويساعد فهم خاصية الاستقرار على فهم أسس الفيزياء النووية، حيث تخضع الذرات الموجودة خارج هذا النطاق لتفاعلات (تحلل أو اضمحلال) في محاولة «للوصول» إلى نطاق الاستقرار هذا، والنواة التي تخضع لـ «بيتا ناقص الاضمحلال» تصدر إلكترون (B-)، يشكل هذا أساس عديد من علاجات الطب النووي، والنواة التي تخضع لـ «بيتا إضافة إلى التحلل» تصدر بوزيترون (B+) الذي يتعرَّض للإبادة عند اصطدامه بإلكترون (E-) لإصدار أشعة جاما التي تتحرك في اتجاهين متعاكسين، ويشكل هذا أساس التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني، ويتم توضيح التغييرات في العدد الذري (Z) والعدد الكتلي (A). إن النواة التي تم استثارتها هي التي تخضع لـ «تحلل جاما»، ومن ثَمَّ تُصدِر أشعة جاما فتنتقل إلى حالة أكثر استقرارًا، ويشكل هذا الإجراء أساس معظم تقنيات التصوير النووي.



شكل يوضح عملية موازاة أشعة جاما المنبعثة من المريض؛ لضمان وصول الأشعة إلى البلورة في خط مستقيم، ثم تقوم البلورات (الكريستال) بتحويلها إلى فوتونات، ويتم مضاعفة الفوتونات وتحويلها إلى إلكترونات، ثم يتم تحويلها بعد ذلك إلى صورة.

أنواع الاضمحلال أو التحلل

اعتمادًا على عدم التوازن بين البروتونات والنيوترونات، تحدث أنواع مختلفة من التحلل، أو الاضمحلال النووي، وتشمل هذه الأنواع:

- تحلُّل بيتا الإيجابي ـ يحدث مع وجود فائض من البروتونات.
- أَسْر الإلكترون ـ يحدث مع وجود فائض من البروتونات.
- تحلُّل بيتا السلبي ـ يحدث مع زيادة النيوترونات.
- تحلُّل ألفا ـ يحدث مع ذرات ذات أوزان ذرية عالية غير مستقرة.

- تحلُّل بيتا الإيجابي ـ يحدث عندما تحتوي الذرة على فائض من البروتونات (وعدد قليل من النيوترونات). في هذه العملية يتم تحويل البروتون موجب الشحنة إلى نيوترون، وهو متعادل الشحنة، وينتج عن هذه العملية انبعاث بوزيترون ونيوترينو (جسيم من دون شحنة وتكون كتلته صفرًا في الأساس)، ويشبه البوزيترون نسخة موجبة الشحنة من الإلكترون، واعتمادًا على طاقته، يقطع هذا البوزيترون مسافة قصيرة حتى تنخفض طاقته إلى 1.02 ميجا فولت حينها يصادف إلكترونًا؛ مما يؤدي إلى حدوث التدمير أو الإبادة، ومن ثَمَّ ينتج عنه انبعاث فوتونين 180 درجة في الاتجاه المعاكس لبعضهما، كلٌّ منهما يبلغ 511 كيلو فولت في الطاقة، هذا الانبعاث الفوتوني هو أساس التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني.
- أَسْر الإلكترون ـ ينتج عنه أسر إلكترون سالب الشحنة بواسطة نواة بروتون ثقيلة ينتج عنها نيوترون، ويقع هذا الإلكترون عادةً في الغلاف (K) للذرة، إن عملية التقاط الإلكترون هي عملية انتقال متساوي الضغط، مع الأخذ في الاعتبار أن الكتلة الذرية (العدد الإجمالي للبروتونات والنيوترونات) لا تتغير، أما العدد الذري، بناءً على عدد البروتونات في النواة، فيتناقص بسبب تحوُّل البروتون إلى نيوترون، ويتكون من عملية أسْر الإلكترون الانبعاث الفوتوني الذي يمكن استخدامه للتصوير.
- تحلُّل بيتا السلبي ـ يحدث عندما تحتوي الذرة على فائض من النيوترونات. في هذه العملية يتحول النيوترون إلى بروتون؛ مما يؤدي إلى إطلاق جسيم بيتا ومضاد للنيوترينو (Anti-Neutrino)، ويشبه جسيم بيتا الإلكترون، ومع ذلك، فإنه يختلف عن الإلكترون بسبب مصدره المُشتَق من النواة، ويؤدي إطلاق جسيم مضاد للنيوترينو وبيتا إلى موازنة تغيِّر الشحنة في العملية، وحينها يزداد العدد الذري أيضًا بمقدار واحد، مع الأخذ في الاعتبار أن النيوترون قد تحوَّل الآن إلى بروتون، وهذه العملية هي انتقال متساوي الضغط، حيث إن كتلة الذرة لم تتغير. ولا يُعد تصوير بيتا السلبي مفيدًا في التصوير، ولكنه مفيد في العلاج.
- تحلُّل ألفا ـ يحدث تحلُّل ألفا عندما تُصدِر النواة جسيم ألفا، وهو في الأساس ذرة هيليوم -4، ويتكون من بروتونين ونيوترونين، وجسيمات ألفا لها شحنة +2 وتنبعث من النويدات الثقيلة.

طريقة إنتاج النويدات (النظائر) المُشِعَّة

يتم إنتاج النويدات المُشِعَّة عن طريق توليد الذرات التي تحتوي على كمية زائدة من النيوترونات والبروتونات من أجل التصوير الطبي والعلاج، وتتولد المواد المشعة التي لا تحدث بشكل طبيعي عن طريق القصف والانشطار (Bombardment & Fusion)؛ مما ينتج عنه نظائر غير مستقرة (نواة ذات نسبة نيوترون «غير مواتية»: بروتون)، ويحدث القصف عن طريق إشعاع النواة إما بالنيوترونات (في مفاعل نووي) أو بجسيمات مشحونة أخرى من السيكلوترون (Cyclotron) وهو جهاز يتم فيه تسريع الجسيمات الذرية ودون الذرية المشحونة بواسطة مجال كهربائي متناوب في أثناء اتباع مسار حلزوني خارجي، أو دائري في مجال مغناطيسي، ويمكن أن تشتمل الجسيمات المشحونة في السيكلوترون المُستخدَم لإشعاع النيوترونات على جسيمات ألفا، أو الديوترونات، أو البروتونات. يتم فصل نظائر التحلل (منتج التحلل) الناتجة عن القصف بسهولة في السيكلوترونات، حيث يحدث التحويل (تغيير في العدد الذري) وبسهولة أقل في العمليات التي تشتمل على قصف نيوتروني (عندما لا تتغير الأرقام الذرية). ينتج عن القصف النيوتروني والانشطار النووي عمومًا نوى تحتوي على فائض من النيوترونات، وتفتقر النظائر الناتجة عن السيكلوترون إلى النيوترونات.

يتم في كلٍّ من التصوير السريري والعلاج السريري استخدام أنواع عدة من النويدات المُشِعَّة المختلفة، وتشمل النويدات المُشِعَّة الشائعة المستخدمة في التصوير ما يأتي:

- **بعض ما يُستخدَم عند انبعاث فوتونات جاما**

يستخدم التكنيشيوم 99m (Technetium-99m) في مجموعة واسعة من التطبيقات السريرية مثل: تقييم التهاب المرارة الحاد، وتسرُّب الصفراء، أما اليرقان الوليدي فيستخدم له ميبروفينين التكنيشيوم 99m (Tc-99m Mebrofenin)، ولتقييم الوظائف الكلويــة يُستخدم التكنيشيوم-99 ماج3 (المركابتو أسيتيل ثلاثي الجلايسين) (Tc-99m MAG3)، ولتقييم الانسداد الرئوي يُستخدَم الألبومين المكدس الموسوم بالتكنيشيوم (Tc-99m MAA).

- **بعض ما يُستخدَم عند انبعاث البوزيترون**

الفلور -18، حيث يتم استخدامه في تقييم الورم، وتقييم حيوية القلب، والتمثيل الغذائي للدماغ، والعدوى، والخَرَف. كما يُستخدَم أيضًا النيتروجين 13 في قياس تدفق الدم في عضلة القلب، والروبيديوم 82 يُستخدَم في تقييم نضح عضلة القلب.

- **بعض ما يُستخدَم في العلاج النووي**

باعثات بيتا ومنها الإيتريوم 90 الذي يُستخدَم بشكل شائع في علاج الأورام الخبيثة في الكبد عن طريق الحقن الانتقائي داخل الشرايين، والراديوم 223 الذي يُستخدَم لعلاج النقائل العظمية في مرضى سرطان البروستات المقاوم للعلاجات الأخرى، ولوتيتيوم 177 يُستخدم لعلاج أورام الغدد الصماء المَعِدية المعوية والبنكرياس التي تكون مقاومة للعلاجات الأخرى، أما السترونتيوم 89، والسماريوم 153 فيُستخدمان باعتبارهما علاجين ملطفين للورم الخبيث العظمي.

- **تطبيق التصوير النووي**

يتطلب استخدام أجهزة التتبع الإشعاعية للطب النووي في الطب تنسيقًا وثيقًا بين مختلف المهنيين، بما في ذلك:

الفيزيائي الطبي، والصيدلاني النووي، واختصاصي التصوير، واختصاصي الطب النووي، والممرض، وأيضًا الطبيب المختص الذي يقدم الإحالة، وهو في غالب الأمر يؤدي دورًا مركزيًا في اختيار الفحص، وتثقيف المريض فيما يتعلق بدور الطب النووي في التشخيص والعلاج، وتُعد مشاركة عديد من المهنيين أمرًا بالغ الأهمية؛ نظرًا لجرعة الإشعاع التي غالبًا ما يتعرض لها العامة في أثناء إعطاء بعض الأدوية الإشعاعية، فيُعد الاتصال الوثيق بين أعضاء فريق العلاج أمرًا بالغ الأهمية فيما يتعلق بكمية النشاط الإشعاعي المتوقع، وطريقة حماية العاملين والمراجعين من التعرُّض للإشعاع، وطريقة تحسين علاج المريض إما في وضع التقييم التشخيصي للمرض، أو في وضع العلاج، وهذا إضافة إلى عديد من المواضيع العملية الأخرى التي سيتم تناولها في الفصول القادمة.

الفصل الثاني

أساسيات التصوير الطبي وطرقه

يمكن فهم علم التشخيص الطبي بشكل أفضل من خلال التطبيقات المفيدة للتصوير بالإشعاع المؤيَّن، أو التصوير غير المؤيَّن، كذلك يمكن أيضًا التعرُّف عليه بشكل أفضل وعلى آثاره الضارة من خلال اكتساب المعرفة عن تكوين المادة المُستخدَمة وبنيتها في التصوير من أجهزة، ومحاليل، ومواد إشعاعية، ويتم ذلك من خلال القدرة على تصور عمليات التأين الفيزيائية التي تم شرحها بالفصل السابق وتطبيقها عمليًا، ومن خلالها يمكن إعداد المهام اليومية، وشرح ـ بكفاءة ـ الإجراءات المرتبطة بالحماية من الإشعاع مع عملية التصوير والفحص، فقد يتصور بعض الناس أن هذه من الأمور السلسة؛ بسبب سهولة الحصول على المعلومات، ولكن في واقع الأمر، في الغالب على الممارسين والباحثين المتخصصين في الأشعة ومشتقاتها الاعتماد على خبرتهم، إضافة إلى معرفتهم والمعلومات المتوفرة في تقييم أي معلومة واستخدامها، أو طرق، أو تجارب تعاملهم يوميًا؛ وذلك بسبب التقدم السريع في العلوم الطبية، وأيضًا لاختلاف التطبيق العملي عن العلوم النظرية التي يتم شرحها في الكتب و المعارف العلمية، وبالطبع على الرغم من استمرار تطوُّر التقنيات والإجراءات الإشعاعية وتوسعها، فإنه تظل المبادئ والأساسيات من أهم ما يتعلمه ممارس المهنة التي تُعد حجر الأساس الذي تُبنى عليه معلوماته التراكمية التي من بعدها يبدأ الممارس في التوسع في مداركه.

يعكس هذا الفصل بعضًا من التقنيات التي أصبحت راسخة بشكل متزايد باعتبارها بدائل علاجية للإجراءات الجراحية التقليدية، وحول دور اختصاصيي الأشعة، وبعض العاملين في الرعاية الصحية الموجودين في قسم الأشعة الذين يعدون أعضاءً حيويين في الفرق المتكاملة، والذين يقدمون الممارسات الإشعاعية الحديثة في مختلف المراكز الطبية.

مبادئ فحص التصوير الطبي

طلب الأشعة

عادةً ما يطلب الطبيب إجراء فحوص التصوير الطبي عن طريق ملء استمارة، أو نموذج طلب إجراء فحص طبي للمريض، ويجب مراجعة نماذج طلب الفحوص الإشعاعية بعناية عن طريق اختصاصي الأشعة قبل بدء الفحص. وبما أن عديدًا من المستشفيات وأقسام الأشعة تستخدم قواعد مختلفة حول نوع (أنواع) المعلومات التي يجب أن تظهر في الطلب؛ لذا فالخطوة الأولى تُعتبر بالغة الأهمية وهي تحديد المريض ومطابقته بشكل صحيح مع الفحص المقصود، فيتحمل هنا عامل الرعاية الصحية المسؤولية الأساسية عن التحقق من هوية المريض، ومن المهم أيضًا أن يحصل اختصاصي الأشعة على تاريخ مرضي قصير للمريض يكون مناسبًا وذا صلة لسبب طلب إجراء الفحص؛ ونظرًا لأنه نادرًا ما يتم فحص المرضى أو إجراء مقابلات معهم من طبيب الأشعة، فإن الملاحظات والمعلومات التي يحصل عليها اختصاصي التصوير بإمكانها أن تساعد بشكل كبير في إجراء تشخيص دقيق لحالة المريض، ويجب أن يتأكد اختصاصي التصوير من الحصول على جميع المعلومات السريرية بطريقة صحيحة، وتوفّر بيئة تضمن خصوصية المريض، وعند فحص المرضى الذين يتم إدخالهم المستشفى، يجب أن يتضمن الطلب أيضًا طريقة نقل المريض إلى قسم الأشعة، أو مرافق التصوير الأخرى (على سبيل المثال: كرسي متحرك، أو نقالة)، ونوع الفحص الذي سيتم إجراؤه، ومعلومات التشخيص ذات الصلة، وأي معلومات عن السيطرة على العدوى، أو العزل لمرضى العزل، كما أنه يجب على اختصاصي الأشعة الذي يتمتع بإمكانية الوصول إلى معلومات المريض السرية، أن يمتثل للوائح قانون التأمين الصحي القابل للنقل والمساءلة (Health Insurance Portability and Accountability Act; HIPAA) لقواعد الأمان والخصوصية المطلوبة لحماية المعلومات الصحية للمريض. ويجب أن يكون اختصاصي الأشعة على يقين من فهم المعلومات المقدَّمة وتوضيحها، إذا لزم الأمر، على سبيل المثال: أي اختصارات مُستخدَمة أو مصطلحات غامضة، أو مصطلحات طبية مختصرة، ويجب أن يكون اختصاصي أو فني الأشعة أيضًا في حالة تأهُّب لملاحظة المعلومات المتضاربة وتوضيحها، على سبيل المثال: طلب إجراء فحص للكاحل

الأيسر عندما يشكو المريض إصابة واضحة في الكاحل الأيمن أو يعانيها، وقد تتطلب الأنظمة المحوسبة، أو سياسة القسم وجود تشخيص مناسب ودقيق للمعلومات المصاحبة لكل طلب لإجراء التشخيص.

كما أنه لا تعتمد نتائج دراسة التصوير فقط على الإشارة، أو المعلومة المستنبطة من الأشعة، أو جودة تنفيذها التقنية، بل يُعدّ اختصاصي الأشعة بكل ما لديه من معرفة وخبرة هو الحلقة الأخيرة في سلسلة التشخيص، فيبحث طبيب الأشعة المشخص عن معلومات الصورة ذات الصلة، ويدركها، ويفرزها، ويقيِّمها، ويصل أخيرًا إلى تشخيص، ويُعدّ كلٌّ من البحث والكشف والتقييم الأولي من المكونات الأساسية للإدراك السليم للتشخيص، ومن دونها فإن كل دراسة تصوير، مهما كان نوع التكنولوجيا الحديثة المُستخدَمة، مَضيعة للوقت والمال، كما أنها قد تزيد من المخاطر على المريض.

تشخيص الأشعة وبرامج تحليل صور الأشعة (Image reporting and viewing stations)

يمكن أن تكون عملية تفسير الصور التشخيصية معقدة وتتضمن عدة خطوات؛ لذا هي خاصة بالطبيب المتخصص بعلوم الأشعة وتفسير الصور الطبية، فتتيح له خبراته العلمية والعملية قراءة الصور، جنبًا إلى جنب مع برامج التصوير الطبي المتقدمة، كما يمكنه إجراء تشخيصات دقيقة في الوقت المناسب، وهو أمر بالغ الأهمية في مساعدة المرضى على تلقي العلاج المناسب في الوقت المناسب.

وتبدأ عملية التشخيص أولاً: باستلام طبيب الأشعة الصور من تقنية التصوير، أو جهاز الحاسوب الخاص بتقنية التصوير، ومن ثَمَّ يراجعها على محطة العمل المخصصة لمراجعة الصور التشخيصية لتقييم جودة الصور للتأكد من أنها واضحة وكاملة، وبمجرد أن يقرر طبيب الأشعة أن الصور ذات جودة جيدة، يبدأ في عملية التشخيص، ويتضمن ذلك مراجعة الصور بالتفصيل والبحث عن أي تشوهات، أو علامات مرضية. كما سيستخدم طبيب الأشعة معرفته في علم التشريح وعلم الأمراض، وخبرته في تفسير الصور لإجراء تقييم أولي للصور، ويُعد برنامج تحليل الصور الطبية (Viewing stations) أحد الأدوات الرئيسية التي يستخدمها أطباء

الأشعة في عملية التحليل وتفسير الصور، فيسمح لهم هذا البرنامج بمعالجة الصور وتحسينها وقياس الميزات المحددة في الصور وتحديدها كميًا، ويمكن أن يكون هذا مفيدًا بشكل خاص في اكتشاف التغييرات الصغيرة، أو الدقيقة التي قد لا تكون مرئية بسهولة في الصور وحدها.

بمجرد أن يُكمِل طبيب الأشعة عملية التحليل، يكتب تقريرًا يلخص فيه النتائج التي توصل إليها ويقدم التشخيص، إن أمكن، ويتم إرسال هذا التقرير بعد ذلك إلى الطبيب المحوِّل أو مقدم الرعاية الصحية، والذي سيستخدمه لاتخاذ قرارات علاج المريض، وتشمل التقارير الطبية وصفًا لنتائج اختبار التصوير، وعادة ما يتضمن معلومات حول تاريخ المريض والمعلومات السريرية ذات الصلة، كما تشمل عادةً معلومات حول عمر المريض، ونوع الاختبار الذي تم إجراؤه، والنتائج، والتوصية.

يمكن لأطباء الأشعة التواصل مباشرة مع مقدمي الرعاية الصحية الآخرين، وكذلك قد يتشاورون مع متخصصين آخرين، مثل: الجراحين؛ لمناقشة خيارات العلاج وتقديم معلومات إضافية حول حالة المريض، كما يمكنهم أيضًا المشاركة في اجتماعات متعددة التخصصات، مثل: مجالس الأورام، حيث يقوم فريق من مقدمي الرعاية الصحية بمراجعة حالة المريض، ومناقشة أفضل مسار لرحلة العلاج الخاصة بالمريض.

في بعض الحالات قد يحتاج طبيب الأشعة إلى إجراء اختبارات تصوير إضافية، مثل: دراسة التباين، لمساعدته على تفسير الصور بدقة كبيرة. تتضمن دراسة التباين حقن مادة تباين (صبغة) في مجرى دم المريض، وإبراز مناطق معيَّنة من الجسم في الصور؛ مما يُسهِّل على اختصاصي الأشعة رؤية أي تشوهات.

عوامل التباين (الصبغة)

تُعدّ وسائط التباين مجموعة من العوامل الكيميائية التي تم تطويرها للمساعدة في توصيف الأمراض من خلال تحسين دقة التباين لطريقة التصوير، وهي مجموعة متنوعة من العوامل المُستخدَمة في الحقن الوريدي، والفموي، أو عبر مجرى البول، أو داخل المفصل، وتم تطوير وسائط تباين محددة لكل طريقة تصوير.

أنواعها

تم استخدام وسائط التباين من خلال إعطاء كبريتات الباريوم لعدة عقود سابقة وهي راسخة باعتبارها عوامل فموية لفحص الجهاز الهضمي، ويقتصر استخدامها عمومًا على فحوص التصوير الشعاعي التنظيري، وفي بعض الأحيان يتم استخدامها أيضًا لفحص التصوير المقطعي المحوسب للجهاز الهضمي (على سبيل المثال: تصوير القولون بالأشعة المقطعية في المرضى الذين يعانون حساسية وسط التباين المعالج باليود)، فهي رخيصة الثمن، ويمكن لمعظم المرضى تحمُّلها جيدًا، ونادرًا ما تحدث مضاعفات نتيجة استخدامها.

كما يُعد اليود أحد عوامل التباين الأساسية المستخدمة في التصوير الشعاعي، والتصوير الفلوري، والتصوير الوعائي (Angiographic)، والتصوير المقطعي المحوسب.

أما وسائط التباين في التصوير بالرنين المغناطيسي فهي قائمة على الجادولينيوم وهو الأكثر شيوعًا في التصوير بالرنين المغناطيسي، وقد كانت وسائط التباين سابقًا تُستخدَم من حين لآخر في فحوص الأوعية الدموية والأشعة المقطعية، ولكن بسبب السُّمية الكلوية، تم التخلي (إلى حد كبير) عن هذا الاستخدام.

وفي السنوات الأخيرة بالنسبة لوسائط التباين المُستخدَمة في فحوص التصوير بالموجات فوق الصوتية، فقد اكتسبت قوة جذب كبيرة للتطبيقات المتخصصة بشكل عام، على سبيل المثال: توصيف آفات الكبد.

التصوير الطبي وتطبيقاته العملية

التصوير المؤيَّن

الأشعة السينية (X-rays)

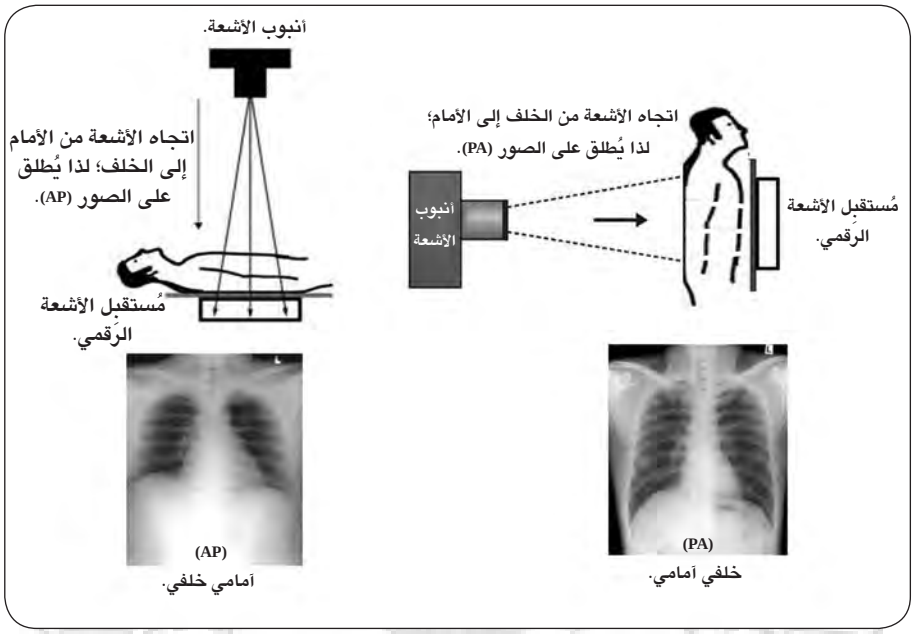
يظل التصوير الإشعاعي (السيني) من أحد العناصر الأساسية في علم الأشعة، على الرغم من أن عمره يزيد قليلًا عن 100 عام، ولكن أساسياته لم تتغير بأي حال

من الأحوال حتى في أوقات ظهور مُعدات التصوير عالية التقنية وذات التكلفة المرتفعة. ويتم الجزء الأكبر من جميع دراسات التصوير التشخيصي باستخدام هذه التقنية، ويُعتبر التصوير الإشعاعي للثدي مثالاً حيًا على ذلك، حيث إنها دراسة التصوير الوحيدة التي ثُبت علميًا أنها تقلل معدل وفيات المرضى بشكل كبير "إذا تم إجراؤها بالشكل الصحيح"، وبالطبع عند النساء فقط.

ومن الممكن أن يُقال عن المبدأ الفني الأساسي للتصوير شعاعي الإسقاط: إنه بسيط جدًا، ولكن مع ذلك، فإن سلسلة الأحداث الكاملة من توليد الأشعة السينية إلى عرض الصورة المطوَّرة يمكن أن تكون مليئة بالمفاجآت؛ مما يجعل عمل الاختصاصيين حافلًا بالترتيبات والخطوات العلمية والعملية، والتي هدفها التأكد من أن يتم التصوير بشكل صحيح، وأن الصورة الإشعاعية التي هي في متناول اليد منتج عالي الجودة. وبالتأكيد مع عدم كفاية المعرفة، أو نقص الخبرة والرعاية، يمكن للأشياء أن تنحرف عن مسارها بسهولة.

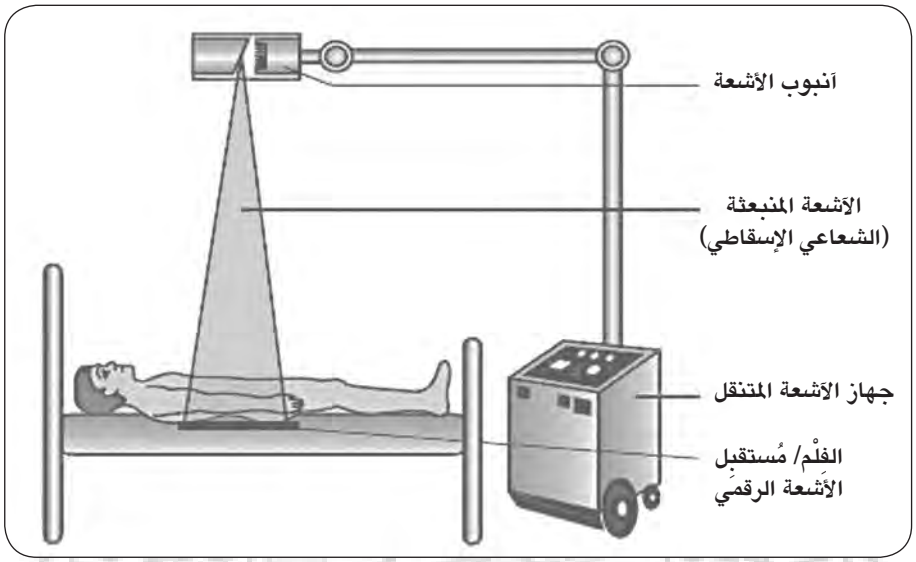
تطبيقات الأشعة السينية العملية

في السابق، كان يتم إنتاج الصور باستخدام مُستحلَب فوتوجرافي قائم على الفضة، ولكن الآن يتم تسجيلها رقميًا وعرضها على شاشات الكمبيوتر في معظم المراكز، ويتم وصف الأشعة و الصور المُستحدَثة تبعًا لمسار حزمة الأشعة السينية. ومِن ثَمَّ، فإن مصطلح العرض الأمامي الخلفي (PA- Posterior Anterior) يشير إلى أن الشعاع يمر من الخلف إلى الأمام، وهو الإسقاط المتعارف عليه لتصوير الصدر الروتيني، وتظهر الصورة على فِلْم الأشعة السينية ثنائية الأبعاد. يتم عرض جميع الأعضاء المصورة على طول مسار الحزمة على الجزء نفسه من الفِلْم؛ لذلك غالبًا ما يكون من الضروري عمل موضعين للتصوير على الأقل للحصول على معلومات حول البُعد الثالث، وعادة ما يكون هذان الموضعان بزاوية قائمة لبعضهما، على سبيل المثال: فِلْم أمامي للصدر وآخر جانبي، وفي بعض الأحيان لا يكون موضعا التصوير بزاوية قائمة مناسبين، ويتم استبدالهما بالأوضاع المائلة بحسب نوع شكوى المريض.



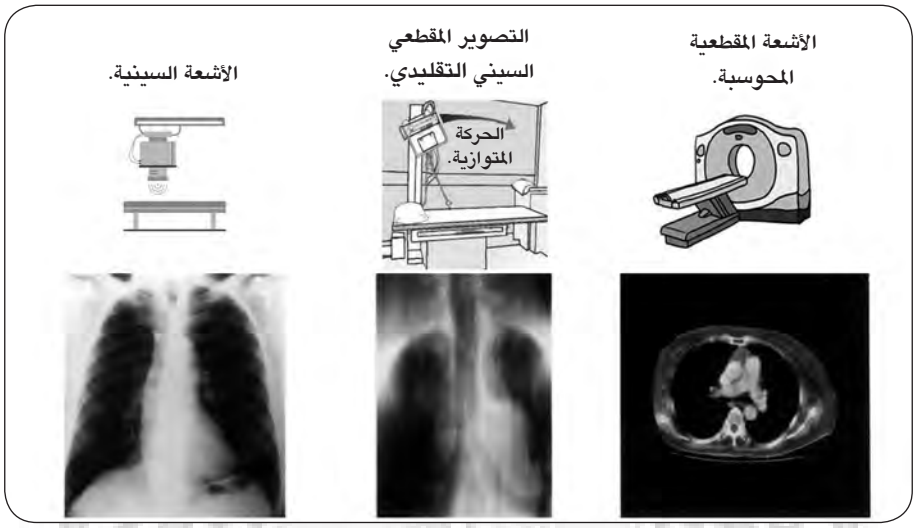
شكل يوضح الفرق في الصورة عند تغيير موضع أنبوب الأشعة وتوجيهه نحو الجسم المراد تصويره.

وتختلف تقنية التصويرالإشعاعي السيني بحسب نوع الجهاز المُستخدَم لإصدار الأشعة، أو بحسب المنطقة المراد تصويرها، على سبيل المثال: استخدام أجهزة الأشعة السينية المحمولة لأخذ صور للمرضى في الجناح، أو في غرفة العمليات، مثل هذه الآلات لها قيود على مواضع التعرُّض وكمية الأشعة التي يمكن استخدامها، وهذا يعني عادة أنه كلما كانت فترات التعرض للأشعة أطول، كانت الصور ذات جودة رديئة، وغالبًا ما يكون وضع المرضى في السرير والحماية من الإشعا ع أقل من الذي يمكن تحقيقه في قسم الأشعة السينية، ومن ثَمَّ يجب طلب التصوير المحمول فقط عندما يتعذر نقل المريض بأمان إلى قسم الأشعة السينية، وبالطبع تم تطوير الأشعة السينية المتنقلة حاليًا بشكل كبير.



شكل يوضح كيف يتم التقاط الأشعة باستخدام جهاز تصوير الأشعة المتنقل.

وبخلاف التصوير المحمول أو المتنقل، نجد أن تصوير الثدي يختلف اختلافًا تامًا عن طريقة التصوير التي يتم إجراؤها في تصوير الصدر والبطن، حيث يتم في تصوير الثدي استخدام كيلو فولت أقل (لتباين الصورة العليا) وملي أمبير أعلى (لفترة تعرُّض قصيرة) مقارنة بتلك الموجودة في التصوير التقليدي الشعاعي للصدر والبطن، كذلك هنالك أيضًا التصوير المقطعي السيني التقليدي (Conventional Tomography Imaging) الذي يتم فيه تصوير شريحة واحدة فقط من الجسم (على سبيل المثال: مفصل الورك)، بينما يتم تشويش الأعضاء بالحركة، ففي أثناء التعرُّض يتحرك أنبوب الأشعة السينية ومستقبل الأشعة في اتجاهين متعاكسين بالتوازي مع مستوى التصوير، ويربطهما دعامة فولاذية؛ مما يسمح لهما بالحركة حول المحور، فيشير موضع المحور إلى الجسم المراد تصويره، ويكون خاليًا من الحركة، وعن طريق تحريكه بعيدًا أو قريبًا يمكن اختيار المواضع المراد تصويرها، يُعد التصوير المقطعي التقليدي نوعًا من أنواع التصوير التي يقل استخدامها يومًا عن يوم؛ لتوفر طرق أحدث في التصوير تغني عن استخدامه، ولكن قد تستمر بعض الأقسام في استخدامه في بعض الدراسات الخاصة الهيكلية بالدرجة الأولى.



شكل يوضح الفرق بين طرق التصوير المختلفة بالأشعة السينية، والصور الناتجة عن كل جهاز.

من تطبيقات الأشعة السينية أيضًا التي قد لا يَنظر لها بعض الناس، ولكنها تُعدّ من أحد الفحوص المهمة، خاصة لكبار السن هو فحص كثافة العظام لتشخيص مرض هشاشة العظام (Osteoporosis). يُعَدّ قياس امتصاص الأشعة السينية ثنائي الطاقة (Dual X-Ray Absorptiometry-DXA) تقنية التصوير بالأشعة السينية، وتُستخدم أساسًا لاشتقاق كتلة مادة في وجود مادة أخرى من خلال معرفة توهين الأشعة السينية (هي عملية تقليل شدة الأشعة في أثناء مرورها عبر مادة ما) الفريد عند طاقات مختلفة، وهي طريقة دقيقة للغاية لقياس كثافة المعادن في العظام (Bone Mineral Density- BMD) وتقييم تكوين كتلة الجسم، ومن ثَمَّ فهو مناسب عالميًا لتطوير التدخلات وتقييمها لمعالجة العبء المزدوج لسوء التغذية، أي: "نقص التغذية" و"الإفراط في التغذية". في مسح لكثافة المعادن في العظام، يتم امتصاص طاقة الأشعة السينية التي تمر عبر العظام، واكتشاف ما لا يتم امتصاصه في الجانب الآخر من الجسم، وكلما زادت كثافة العظام (من المحتوى المعدني العالي)، يتم امتصاص مزيد من الطاقة، واكتشاف طاقة أقل، ويتم الكشف عن الطاقة الإشعاعية لكل عنصر من الصورة (بكسل) (Picture Element) وتحويلها إلى "كثافة مساحية" تُقاس بوحدة جرام/ سنتي متر، ويتم جمع عدد وحدات (البكسل) في المنطقة، ويتم

حساب مقدار العظم في كل بكسل، ويسمح هذا بحساب كثافة العظام للعظم المحدد المعني، وفي الماسحات الضوئية الحديثة يتم استخدام أشعة سينية ذات طاقتين مختلفتين (قياس امتصاص الأشعة السينية المزدوجة)، مع إعطاء جرعة تصل إلى جرعة الأشعة السينية على الصدر، وإذا تم فحص الهيكل العظمي بالكامل، فسيتم تلقي جرعة كبيرة بسبب كِبَر المنطقة المكشوفة، وتسمح الطاقتان بعمل تقدير لامتصاص الأنسجة الرخوة بشكل منفصل عن امتصاص العظام.

ولا يمكن التحدث عن الأشعة السينية من دون ذكر التنظير الفلوري الذي يسمح بدوره بالتصوير الديناميكي في الوقت الحقيقي للمريض، والذي يمكن أن يوفر معلومات بشأن حركة الهياكل، أو الأعضاء التشريحية، والأجهزة داخل المريض. يعتمد التنظير الفلوري على التصوير بالأشعة السينية، وتتشابه المبادئ الفيزيائية لسلسلة التصوير بالأشعة السينية العادية من توليد حزمة الأشعة السينية إلى عرض الصور، ومع ذلك يتم تنفيذ الإجراء باستخدام جهاز الأشعة السينية مختلف التصميم الذي يستخدم التقنيات وكذلك أجهزة الاستحواذ في الوقت الفعلي، وتتكون آلة التنظير الفلوري من نوعين رئيسيين: أنظمة إنتاج الأشعة السينية منخفضة الطاقة المستمرة، وأنظمة إنتاج الأشعة السينية المتقطعة (النبضية) التي تُستخدم بشكل أكثر شيوعًا في الممارسة العملية؛ بسبب انخفاض جرعة الإشعاع التي يتعرَّض لها المريض (وموظفو الأشعة)، وتم تصميم آلات التنظير الفلوري للتحكم في الحرارة الناتجة عن التعرُّض المتكرر في التصوير الفلوري، كما أنها تستخدم طاقات شعاع منخفض مقارنة بتقنيات التصوير بالأشعة السينية العادية، ومن ثَمَّ يتم استخدام مكثفات الصورة لتحسينها، وهذه تحوِّل الأشعة السينية إلى إلكترونات لتضخيم الإشارة عدة آلاف من المرات، ثم تحوِّل حزم الإلكترون مرة أخرى إلى ضوء مرئي، ثم يتم نقل هذه الصورة الضوئية على الشاشة، فيمكن الحصول على صور ثابتة مشابهة لصور الأشعة السينية العادية، وتُستخدَم هذه الفحوص لإلقاء نظرة فاحصة على الجهاز الهضمي، فيتم ملؤه بمحلول تباين معالج باليود، أو معلق الباريوم الذي يحتوي كما ذُكر سابقًا على أعداد ذرية عالية، ومن ثَمَّ فإنها تمتص الأشعة السينية بشكل كبير وتكون مرئية جدًا في الصورة الإشعاعية، ويمكن أيضًا تحضير معلقات الباريوم لتغطي بشكل جيد الجدار الداخلي للأمعاء المليئة بالهواء، أو المليئة بالسوائل (على سبيل المثال: في الحقن الشرجية

للباريوم مزدوجة التباين)، لإلقاء نظرة على نظام الأوعية الدموية، على سبيل المثال: في الإجراءات التدخلية مثل: التوسيع بالبالون للشرايين، يتم حقن محلول التباين المعالج باليود في الوعاء الدموي، وفي تصوير الأوعية تُستخدم تقنية الطرح (الإلغاء) لتحسين صور الأوعية، فبها يتم طرح الصور قبل التباين من الصور بعد إعطاء التباين، فتظهر الصور الناتجة فقط لتفرعات الأوعية الدموية من دون الخلفية التشريحية للأعضاء الأخرى، وهذه التقنية مفيدة بشكل خاص في منطقة البطن، وتصوير قاعدة الجمجمة.

تحليل صور الأشعة السينية

في الفصل السابق تمت مناقشة كيف يتم استخدام الأشعة لاستحداث الصور التشخيصية، وهي صورة مُجمَّعة لجزء من الجسم تم تعريضه للإشعاع، ولكن هذه الصورة قد لا تكفي لعملية التشخيص في جميع الحالات. فعلى سبيل المثال: قد تكشف الأشعة وجود كتلة، أو عقيدة (Nodule) (آفة صغيرة الحجم) في مجال الرئة، ولكنه لا يمكن تحديد العقيدة التي تظهر في صورة الأشعة إن كانت فوق مجال الرئة بشكل عام، أو في جدار الصدر الأمامي، أو الخلفي، أو حتى على سطح الجلد؛ لأن كل هذه الهياكل والأعضاء تكون متراكبة على بعضها عند التصوير، كذلك عند التصوير السيني يتم امتصاص الأشعة السينية بدرجات متفاوتة في أثناء مرورها عبر الجسم، وقد يكون هنالك اختلاف في الأظلال وشفافية الصورة، فانخفاض الشفافية أو "الظل" (على سبيل المثال: الورم) يظهر بلون أبيض، أما زيادة الشفافية (على سبيل المثال: الهواء في الأمعاء) يظهر أسود اللون، فيشتمل التصوير الشعاعي التقليدي على خمس كثافات أساسية وهي: الغاز، والدهون، وجميع الأنسجة الرخوة الأخرى، والهياكل المتكلِّسة (مثل: العظام) والحديد. الأشعة السينية التي تمر عبر الهواء هي الأقل امتصاصًا، ومن ثَمَّ تتسبب باسوداد الصورة الإشعاعية، في حين أن الكالسيوم والحديد يمتصان الأشعة أكثر، ومن ثَمَّ تظهر العظام والأشكال المتكلسة الأخرى بيضاء، ويكون الحديد أكثر بياضًا. أما الأنسجة الرخوة، باستثناء الدهون، على سبيل المثال: الأحشاء الصلبة، والعضلات، والدم، ومجموعة متنوعة من السوائل، وجدار الأمعاء وما إلى ذلك، فإنها تتمتع جميعها بقدرة امتصاص مماثلة، وتظهر درجة اللون الرمادي نفسها في الصور الشعاعية التقليدية. أما الدهون فتمتص عددًا

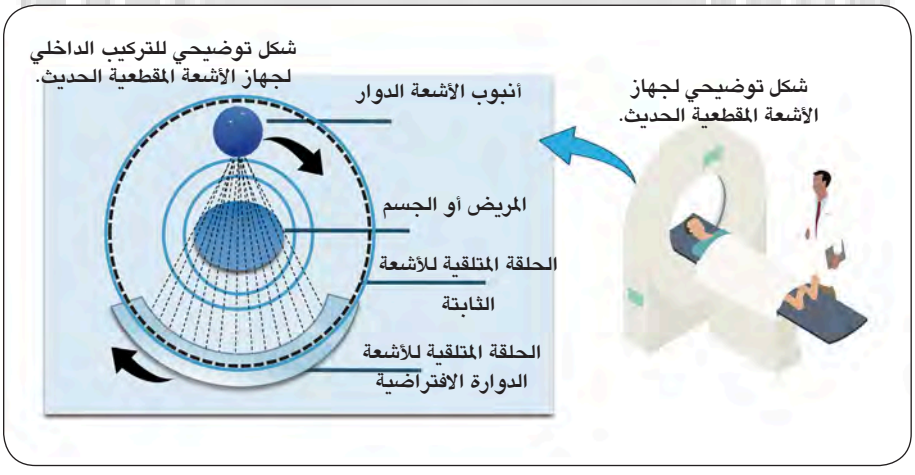
أقل من الأشعة السينية، ومن ثَمَّ تبدو أكثر سوادًا قليلًا من الأنسجة الرخوة الأخرى، وتعتمد قدرة الطبيب على رؤية كلٍّ من الأعضاء الطبيعية والمريضة والتفريق بينها على هذا الامتصاص التفاضلي للأشعة، إضافة إلى عامل الخبرة العملية والعلمية التي تساعد كثيرًا في دقة التشخيص، كذلك بخلاف درجات التفاوت التي تُستخدَم للتشخيص يمكن عمل عدد من الصور المصاحبة للصورة الأساسية مثل: الإسقاط الجانبي للأشعة، أو عمل فحص مصاحب مثل: التنظير الفلوري، أو التصوير المقطعي السيني التقليدي، أو المحوسب، وما إلى ذلك؛ لتوفير أكبر كم من المعلومات عن المرض المراد استكشافه، وزيادة دقة التشخيص، ويُعد وجود تقرير الفحص السريري أحد العوامل المهمة التي تساعد على إجراء عملية التصوير والتشخيص، فمع اجتماع هذه العناصر المهمة، والقليل من التحليل والتفكير التشخيصي يمكن معرفة المرض بشكل دقيق جدًا.

شكل يوضح كيف تستقبل الأجسام المختلفة الإشعاع وتنتج عنها الصور الإشعاعية.

التصوير المقطعي المحوسب (Computer Tomography; CT)

يُعتبر من ضمن التطبيقات التي تستخدم الأشعة السينية لإصدار الصور التشخيصية، وهو حاليًا أداة تصوير أساسية، فتسمح فيه التطورات التقنية الحديثة بتصوير مناطق عديدة من الجسم بشكل سريع للغاية، ومن ثَمَّ تحوّل المعلومات المكتسبة إلى صور، أو إلى شرائح ثنائية الأبعاد في عدة اتجاهات. كما يمكن أيضًا إعادة بناء هذه الصور وتشكيلها لصور أخرى، أو مجسَّمات رقمية مُعقَّدة ثلاثية الأبعاد، ولا يتم إجراء هذا الفحص من دون مبررات، أو أسباب ودلائل صارمة للغاية؛ بسبب جرعة الإشعاع العالية جدًا.

يعتمد مبدأ العمل في التصوير المقطعي المحوسب على أنبوب الأشعة السينية المُثبَّت بشكل حلقة (الدائرة أو الدائري)، حيث يدور هذا الأنبوب بشكل مستمر حول محور جسم المريض من الرأس إلى القدم، فيمر الشعاع المُسقَط عبر الجسم ويصطدم بحلقة، أو قطعة الحلقة المتحركة (مستقبلات التصوير/ أجهزة الكشف). فيتم تسجيل الإشعاع الوارد باستمرار، وترقيم الإشارة وإدخالها في مصفوفة بيانات مع مراعاة اختلاف زوايا حزم الأشعة.



شكل يوضح كيف يدور أنبوب الأشعة السينية بشكل مستمر حول المحور الطولي للمريض، حيث تلتقط الحلقة الدوارة المقابلة لأنبوب الأشعة كمية الإشعاع بعد مرورها عبر المريض وتسجلها، مع الأخذ في الاعتبار أن موضع الأنبوب في كل نقطة يكون له قياس زمني مخصص. يتم بعد ذلك إدخال القيم المسجلة الناتجة في مصفوفة البيانات، ثم يتم حسابها أيضًا لإنشاء صورة تشخيصية.

تلتقط حاليًا في تصاميم أجهزة التصوير المقطعي المحوسب متعدد الشرائح الحديثة مجموعة من أجهزة الكشف (المستقبلات) "شرائح" متعددة من جسم المريض في عملية اكتساب واحدة. يُشكِّل مصدر الأشعة السينية ومجموعة الكاشف وحدة تدور حول جسم المريض بشكل "حلزوني" فيتم الحصول على بيانات التصوير بشكل سريع، حيث يحتوي أحدث تصميم على عدة مئات من أجهزة الكشف؛ مما يؤدي إلى تقليل جرعات الإشعاع، ومن ثَمَّ يسمح بالحصول على كميات كبيرة من بيانات التصوير مع كل دوران وبتأثير أقل من حركة المريض، ويمكن بعد ذلك تحويل مصفوفة البيانات إلى صورة تشخيصية تُعرَض على شاشة الحاسوب، ويشير عدد الشرائح، على سبيل المثال: "الماسح الضوئي شريحة 64"، إلى عدد شرائح الأنسجة المتزامنة التي يمكن لصفوف أجهزة الكشف تصويرها.

تحليل صور الأشعة المقطعية

يُجرى ذلك عن طريق تحديد كل عنصر من عناصر الصورة (بكسل- Pixel)، حيث يتم حساب توهين الإشعاع والتعبير عنه بوحدات هاونسفيلد (هو مقياس كمي يُستخدم لوصف الكثافة الإشعاعية) (Hounsfield HU)، ويستخدم هذا المقياس لمعايرة التدرُّج الرمادي المُطبَّق على توهين الأشعة السينية للمواد في كل صورة. مثال على ذلك: يتم تحديد كثافة الماء بصفر (0 HU)، والهواء بـ (1000-HU)، والعظام بـ (400-600 HU)، ويمكن معالجة الصورة عن طريق تعديل بعض متغيرات هذه الوحدة للتركيز على أنسجة معينة داخل الصورة أو إبرازها، ويُعرف هذا باسم "Windowing & Levelling"، ويتم عرض نطاق محدد مسبقًا.

- النافذة (Windowing): إذا تم تقليل عرض "ويندو"، يتم عرض نطاق أضيق من قيم وحدة هاونسفيلد عبر عدد وحدات البكسل نفسها، وبهذه الطريقة يمكن تقدير الاختلافات الصغيرة في التوهين.
- المستوى (Levelling): هذا هو المستوى الذي يتم حوله ضبط "النافذة" مسبقًا ويسمح بتقدير التفاصيل الدقيقة في أنسجة معيَّنة وسط النافذة – (Centre of Window).

وكما هو الحال في الأشعة السينية، فالأنسجة أو المواد داخل الجسم الأكثر كثافة التي تمتص مزيدًا من الأشعة السينية (تسمى بذات الأرقام المقطعية العالية؛ لأنها تُظهر كمية عالية من التوهين) تكون أكثر بياضًا على صور الأشعة المقطعية، فتظهر المواد (مثل: المعادن، والكالسيوم) أكثر بياضًا، ويُقال: إنها ذات كثافة عالية. أما المواد الأقل كثافة التي تمتص عددًا أقل من الأشعة السينية لها عدد أقل من الأشعة المقطعية. يُقال: إنها تُظهر توهينًا منخفضًا، ويتم عرض كثافات أكثر سوادًا في صور الأشعة المقطعية، وتظهرالمواد (مثل: الهواء، والدهون) أكثر سوادًا ويُقال: إنها ذات كثافة منخفضة.

يمكن أيضًا إجراء عمليات التصوير المقطعي المحوسب بطريقة تعمل على تحسين رؤية الأمراض بعد الحصول عليها، وهي ميزة تُسمى المعالجة اللاحقة، وهي ميزة متقدمة بشكل ملحوظ في التصوير الرقمي بشكل عام. تسمح المعالجة اللاحقة بمعالجة إضافية للبيانات الأولية لإثبات التشخيص على أفضل وجه من دون تكرار الدراسة، ومن دون إعادة تعريض المريض للإشعاع. هناك عديد من تطبيقات تكنولوجيا التصوير المقطعي المحوسب وهي في توسُّع وتطور مستمر، وتختلف عديد من هذه التطبيقات بحسب ملفات تعريف البرمجيات الخاصة بها، بينما المُعدات والأدوات الأساسية غالبًا ما تكون متطابقة، وتشمل هذه التطبيقات: التصوير المقطعي المحوسب التشخيصي ـ يمكن استخدام التصوير المقطعي المحوسب لأغراض التشخيص في جميع مناطق الجسم مثل: تصوير الأوعية ـ حيث يكشف بوضوح عن أمراض الأوعية الدموية، ويمكن أن تساعد المعالجة اللاحقة الإضافية على جعل الأوعية تظهر بصورة أكثر تقنيةً ووضوحًا. يُعدّ تصوير القلب إجراءً يتم غالبًا باستخدام بوابة تخطيط القلب، حيث يتم تصوير شرائح من القلب عند النقطة نفسها في الدورة القلبية. يسمح ذلك بإنشاء صورة مركَّبة دقيقة لجسم يتحرك باستمرار، ويسمح التنظير بالأشعة المقطعية باستخدام التصوير المقطعي، ويُستخدَم في التدخلات والخزعات. كما تُستخدم وسائط التباين في التصوير المقطعي المحوسب لتصور الأوعية الدموية وأنظمة الأعضاء المختلفة، وما قد لا يعلمه بعض الناس أن استخدام الصَّبغة يخفف من جرعة الإشعاع المُمتَصَّة في الجسم؛ بسبب ارتفاع عددها الذري (مثال على ذلك: اليود، والباريوم)، وتضيف عوامل التباين بشكل كبير القيمة التشخيصية في

التصوير المقطعي المحوسب، وهناك عديد من أنواع عوامل التباين المُستخدَمة بشكل روتيني، فتُستخدَم لتقدير الأجزاء الداخلية للأحشاء المجوَّفة بشكل أفضل، وتُعطى بعدة طرق مثل: الفم، أو الوريد، أو يتم حقنها في المستقيم.

أكثر عوامل التباين شيوعًا تشمل العوامل التي تحتوي على اليود (لتصوير الأوعية الدموية)، وتعمل على توضيح الهياكل الوعائية والمجرى الدموي جيدًا. وأيضًا عامل التباين الفموي "السلبي"، على سبيل المثال: الماء الذي يُستخدَم في الغالب لدراسات تصوير المعدة والأمعاء الدقيقة، ولدراسات تصوير الأمعاء الغليظة، أما عامل التباين "الإيجابي"، فيتم استخدام كبريتات الباريوم المخفف له ويمكن أيضًا إعطاء غاز على شكل هواء، أو ثاني أكسيد الكربون عن طريق المستقيم لتوفير تصوير مزدوج التباين. تكون الدهون والهواء دائمًا باللون الأسود في التصوير المقطعي، أما قشرة العظام ووسائط التباين ذات العدد الذري العالي فتكون بيضاء، ولربما الذي قد لا يعلمه كثير من الناس أنه يمكن نظريًا استخدام وسائط التباين التي تحتوي على الجادولينيوم (الذي يحتوي أيضًا على عدد ذري مرتفع) والمخصصة للاستخدام في التصوير المقطعي بالرنين المغناطيسي في التصوير المقطعي المحوسب إذا كان إعطاء اليود غير ممكن، ولكن يتم في غالب الأمر تفادي ذلك؛ بسبب ثمنها الباهظ، وكذلك لأنها مُسجَّلة حتى الآن للاستخدام للتصوير بالرنين المغناطيسي فقط.

الآثار السلبية أو عيوب الصور الإشعاعية السينية/ المقطعية

تكمُن الآثار السلبية للصورة في وجود عامل أو أثر في الصورة يخفي، أو يحاكي مرضًا، أو علَّة، أو تغييرًا خِلْقيًا بالجسم. يمكن أن تظهر هذه الآثار على الأشعة السينية بطرق مختلفة، بما في ذلك وجود بعض الظلال غير الطبيعية، أو تدهور جودة الصورة؛ مما يعوق دقة التشخيص. وأول ظهور لها سُجِّل فعليًا في الأشعة الأولى التي أجراها رونتجن ليد لزوجته، حيث يظهر خاتمها المعدني في الصور الشعاعية، فتُعد المصنوعات اليدوية هي سبب شائع لتكرار الصور الشعاعية، فهي غالبًا ما توجد في أماكن غير متوقعة، ويتم اكتشاف عديد منها في كثير من الصور الإشعاعية السينية، وتصنف الأدبيات هذه الآثار وفقًا للعامل المسبب لها، والتعامل غير السليم مع الأفلام، والأخطاء في أثناء معالجة الأفلام، وحركة المريض

في أثناء التقاط الصورة، مثلًا: عدم إعداد المريض قبل الفحص وتعريفه بالإرشادات الصحيحة من ناحية الملابس والممتلكات الشخصية التي قد تعوق عملية التصوير، كذلك التحرُّك في أثناء الفحص؛ ما ينتج عنه تظليل أو طمس الصورة، ومن المسببات الأخرى: اختيار العوامل الإشعاعية غير الصحيحة، أو التحديد السيِّىء للمنطقة المراد فحصها، وسابقًا كانت تقنيات الغرفة المُظلمة واختيار محاليل تطوير الصورة أو إظهارها عاملًا مساعدًا كبيرًا في وجود آثار سلبية على الصورة الناتجة من الفحص، أما حاليًا ومع استخدام التصوير الإشعاعي الرقمي فأغلب هذه الآثار تحدث نتيجة الإسقاط، أو الاستعمال الخشن، أو السيِّىء لكاشف اللوحة المسطحة، أو التشتت الخلفي الناتج عن الإشعاعات المرتدَّة، أو بعض العناصر الملوَّثة التي قد تكون في مجال الأشعة السينية في أثناء المعايرة، أو تشبع الكاشف، أو التعرُّض الناقص للأشعة، أو أخطاء التحديد الصحيح للموازاة، إضافة إلى مجموعة متنوعة من الأسباب في أثناء معالجة الصورة، أو معاينتها من خلال الجهاز بعد إجراء التصوير.

أنواع الآثار السلبية للتصوير السيني

1. بصمات الأصابع التي هي نتيجة للتعامل غير السليم باليدين.
2. فِلْم فاتح (أو شفاف) ويحدث ذلك؛ نتيجة لعُطْل الجهاز، أو وضع الفِلْم في المثبت قبل سائل التحميض.
3. كهرباء ساكنة وتظهر في صورة علامات "البرق" السوداء الناتجة عن الأفلام غير المغلَّفة بالقوة، أو الانثناء المُفرِط للفِلْم.
4. خطوط سوداء على شكل هلال، وذلك؛ بسبب الضغط بالأظافر على الفِلْم.
5. خطوط بيضاء على شكل هلال؛ بسبب شاشة تكثيف متصدعة.
6. فِلْم أسود؛ نتيجة لتعرُّض الفِلْم بالكامل للضوء.
7. وجود بقع فاتحة (شفافة)؛ نتيجة لالتصاق فقاعات الهواء بالفِلْم في أثناء المعالجة، أو رش المثبِّت على الفِلْم قبل تطويره، أو الأوساخ العالقة على شاشة التكثيف.

أنواع الاثار السلبية للتصوير الشعاعي الرقمي/ المحوسَب

1. تأخر صورة الكاشف، أو وجود ظلال على الصورة، وذلك؛ بسبب وجود صورة كامنة من التعرُّض السابق موجودة عند التعرُّض الحالي.
2. الاتجاه غير الصحيح للكاشف، ينتج عنه خطوط غير شفافة على صورة الأشعة.
3. آثار تجميع الصورة الخاطئة التي تحدث عندما يتم دمج صورتين منفصلتين من التصوير الشعاعي (الرقمي/ المحوسب) في صورة واحدة.
4. التعرُّض المفرط للأشعة ما يجعل الصورة شديدة السواد.
5. الآثار السلبية للمربع الرقمي (البكسل) المختفي (أو الميت) هي عبارة عن أثر سلبي يُرى في أنظمة التصوير الشعاعي الرقمي، حيث يفشل عنصر الكاشف في تلقي إشارة مناسبة، ومن ثَمَّ يظهر في شكل نقطة بيضاء ساطعة في صورة الأشعة السينية، أو على شاشة العرض، ولكن لن يتم رؤيته على الصورة الشعاعية المطبوعة، بل يظل في الموضع نفسه على الشاشة إذا تم نقل الصورة الشعاعية رقميًا.
6. فشل تصحيح إزاحة الكاشف؛ إذ يظهر على شكل ظلال، وسببه عدم معايرة الكاشف الرقمي عندما يشير الجهاز إلى ذلك.
7. فشل الغالق الإلكتروني، قد يؤدي ذلك لترك مشكلات في جودة الصور، أو نتائج غير دقيقة.

أنواع الآثار السلبية للتصوير المقطعي المحوسب

1. الآثار السلبية التي تحدث بسبب المريض

- بسبب الحركة الطوعية أو اللاإرادية للمريض في أثناء الحصول على الصورة، وتظهر على أشكال ضبابية، أو خطوط، أو تظليل، ناتجة عن حركة المريض في أثناء إجراء التصوير المقطعي المحوسب. ويمكن أن يحدث التعتيم أيضًا مع حركة المريض في أثناء فحوص التصوير الشعاعي، أما إذا كانت حركة المريض طوعية فقد يحتاج المريض إلى استخدام الرابطات أو تخديره لمنع ذلك، وكذلك قد تسبب

الحركة اللاإرادية، مثل: التنفس، أو حركة القلب آثارًا سلبية، ويمكن تقليل هذه المشكلة باستخدام تقنية مسح ضوئي سريعة، كما يمكن استخدام تقنيات، مثل: نظام توقيت دقات القلب، أو التنفس في فحوص الصدر، والقلب.

- الانقطاع العابر للتباين (Transient Interruption Of Contrast-TIC) هو أحد آثار التدفق الشائعة في دراسات تصوير الأوعية الرئوية (CT Pulmonary Angiography-CTPA) بالتصوير المقطعي المحوسب. ويُعتبر التعتيم؛ بسبب زيادة تدفق الدم غير المستقر من الوريد الأجوف السفلي (Inferior Vena Cava - IVC) إلى الجانب الأيمن من القلب، وغالبًا في أثناء عملية الشهيق العميق. كذلك يُعدّ الانقطاع العابر لحدوث التباين أكثر شيوعًا عند النساء الحوامل؛ بسبب زيادة الضغط داخل البطن، ويصبح أقل شيوعًا مع زيادة عمر المريض.
- بسبب الملابس والمجوهرات: تُعتبر الآثار السلبية في الصورة؛ بسبب بعض الملابس، والمصنوعات اليدوية من المجوهرات، حالة شبه منتظمة في فحوص التصوير، وخاصة الصور الشعاعية البسيطة، ولكن بشكل عام، يتم التعرُّف عليها إما في وقت التقاط الصورة بواسطة المصور الإشعاعي، أو لاحقًا بواسطة طبيب الأشعة. غالبًا ما يقوم مصور الأشعة إما بإعادة التقاط الصورة بعد أن يقوم المريض بإزالة هذه القطع، أو بشكل أكثر شيوعًا سيقوم بإشارة الموضع على الصورة باستخدام تحذير لتجنُّب الاشتباه في التشخيص؛ لذلك من المهم إزالة الملابس التي توجد في مجال التصوير على وجه الخصوص، ويمكن لمستقبلات الصور الرقمية أن تلتقط حتى الرسم، أو الصور المُلصقة الموجودة على القمصان.

2. الآثار السلبية ذات الخواص الفيزيائية

- تصلُّب الشعاع (Beam hardening): وهي ظاهرة تحدث عندما تمر حزمة الأشعة السينية المكوَّنة من طاقات متعددة الألوان عبر جسم ما؛ مما يؤدي إلى التوهين الانتقائي لفوتونات الطاقة المنخفضة، يُعدّ التأثير متشابهًا من الناحية المفاهيمية لمرشح التمرير العالي، حيث يتم ترك فوتونات ذات طاقة عالية فقط للمساعدة في الحزمة، وهكذا يزداد متوسط طاقة الحزمة ("تصلبًا")، وتُستغل هذه الظاهرة

في التصوير الشعاعي والتصوير المقطعي المحوسب باستخدام مرشحات معدنية "لتقوية" طيف الأشعة السينية مُسبقًا، وتقليل الفوتونات منخفضة الطاقة، وفي التصوير المقطعي المحوسب، قد يؤدي تصلُّب الحزمة من منطقة شديدة الكثافة (مثل: العظام، أو تباين (صبغة) اليود) إلى آثار سلبية تمثلت في مظهرين متميزين: خطوط عريضة داكنة، وشكل الكوب (دائري).

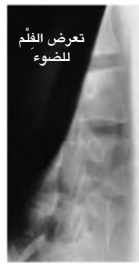
- متوسط الحجم الجزئي: يحدث تشوه الحجم الجزئي عندما يتم تضمين الأنسجة ذات الامتصاص المختلف على نطاق واسع في مكعب الصورة (voxel) نفسه؛ مما ينتج عنه توهين شعاعي يتناسب مع متوسط قيمة هذه الأنسجة، قد تقلل أجهزة التصوير المقطعي المحوسب الحديثة، مع انخفاض مرتبط في حجم فوكسل، بشكل كبير من حدوث هذه الآثار السلبية.
- الضوضاء في التصوير المقطعي هي تغيير غير مرغوب فيه في قيم المربع (Pixel) في صورة متجانسة، وغالبًا ما يتم تعريف الضوضاء بشكل عام على أنها مظهر البقع (النقط) في التصوير المقطعي.
- الاختزال المنخفض وهو ظاهرة تتكون؛ نتيجة خطأ في مؤيد دقة المحول التناظري إلى الرقمي (ADC) في أثناء رقمنة الصورة. فلرقمنة الصورة ثلاث خطوات متميزة: المسح، وأخذ العيِّنات، والتكميم، فإذا حدث نقص في أخذ العيِّنات، فسيقوم الكمبيوتر بمعالجة صورة غير دقيقة؛ مما يؤدي إلى خلل في الصورة ينتج عنه أثر الاختزال المنخفض (التعرُّج)/ أنماط تموُّج في الصورة.

3. الآثار السلبية القائمة على الأجهزة

- تأثير الحلقة: وهي ظاهرة في التصوير المقطعي المحوسب، وتحدث؛ بسبب سوء التقدير، أو فشل عنصر أو أكثر من عناصر الكاشف في ماسح التصوير المقطعي المحوسب، في كثير من الأحيان يمكن أن يكون سبب ذلك هو عدم كفاية جرعة الإشعاع، أو تلوث مادة التباين لغطاء الكاشف، وتحدث بالقرب من المركز المتساوي للمسح، وعادة ما تكون مرئية على شرائح متعددة في الموقع نفسه، حيث إنها مشكلة شائعة في التصوير المقطعي المحوسب، وعادة ما تظهر عند تصوير الرأس/ الجمجمة.

- تأثير قوس الأنبوب: يحدث تقوُّس الأنبوب عندما يكون هناك تماس كهربائي داخل الأنبوب، وعادةً من الكاثود إلى غلاف الأنبوب، والنتيجة هي فقدان مؤقت في توليد الأشعة السينية.
- تأثير قطع غريبة خارج مجال التصوير: يحدث عند ظهور جزء من المريض في محيط مجال رؤية الماسح الضوئي المقطعي، ويمكن أن تكون هذه مشكلة خاصة في المرضى الذين يعانون السمنة المفرطة، والذين لا يتناسبون مع تجويف الماسح الضوئي. فيتعارض نقص البيانات من هذه الأنسجة التي هي خارج المجال مع قدرة البرنامج على إنشاء صورة صحيحة تؤدي إلى خطوط ومناطق ذات كثافة متزايدة، أو منخفضة بشكل غير عادي، في أحسن الأحوال، يكون هذا مجرد تشويش بسيط لا يحتاج إلى علاج، ولكن في أسوأ الأحوال، قد يجعل الصور غير واضحة، وغير قابلة للتشخيص.
- تأثير فقاعة الهواء: سبب تأثير الفقاعة الهوائية في التصوير المقطعي المحوسب هو وجود غاز غير طبيعي في سائل تبريد الزيت المحيط بأنبوب الأشعة السينية، تظهر هذه الفقاعة في صورة كثافة منخفضة خفية، والتي تم وصفها فقط في فحوص تصوير الدماغ.

الجدول (1): بعض الصور التي توضح شكل الآثار السلبية على الأشعة

الجهاز	النوع/ الشكل
التصوير السيني	

تابع/ الجدول (1): بعض الصور التي توضح شكل الآثار السلبية على الأشعة

الجهاز	النوع/ الشكل
التصوير الشعاعي الرقمي/ المحوسب	
التصوير المقطعي المحوسب	

التصوير غير المؤيَّن

التصوير بالموجات فوق الصوتية

التصوير فوق الصوتي التقليدي

كما شُرح سابقًا عن فحوص الموجات فوق الصوتية التشخيصية التي يتم فيها توجيه موجات صوتية عالية التردد إلى الجسم من محوِّل طاقة ملامس للجلد لتوليد الصور التشخيصية، ويتم ذلك بمساعدة مادة شبيهة بالهلام تُغطي الجلد، وتساعد في إجراء اتصال صوتي جيد. فعندما ينتقل الصوت عبر الجسم، فإنه ينعكس من

خلال أسطح الأنسجة الداخلية لإنتاج أصداء يلتقطها محوِّل الطاقة، ويتم تحويلها إلى إشارة كهربائية.

نظرًا لأن الهواء والعظام والمواد الأخرى المتكلِّسة بشدة تمتص كل حزم الموجات فوق الصوتية تقريبًا، فإن الموجات فوق الصوتية تؤدي دورًا ضئيلًا في تشخيص أمراض الرئة أو العظام، وقد تتأثر المعلومات الناتجة عن فحوص البطن بشكل كبير عند وجود غازات في الأمعاء؛ مما يتداخل في عملية نقل الصوت، ويُعَدّ السائل موصِّلًا جيدًا للصوت، والموجات فوق الصوتية هي طريقة تصوير جيدة بشكل خاص لتشخيص الخرَّاجات، وفحص الهياكل المملوءة بالسوائل مثل: المثانة، والنظام الصفراوي، وإظهار الجنين في الكيس الأمينوسي (الكيس السّلويّ). يمكن أن تُظهِر الموجات فوق الصوتية أيضًا هياكل صلبة ذات مقاومة صوتية مختلِفة للأنسجة الطبيعية المجاورة، على سبيل المثال: النقائل (Metastases)، وغالبًا ما تُستخدَم الموجات فوق الصوتية لتحديد ما إذا كانت البِنية صلبة، أو كيسية. تنتج الأكياس، أو غيرها من الهياكل المملوءة بسائل أصداء من جدرانها، ولكن لا يصدر عنها صدى من السائل الموجود بداخلها، أيضًا يتم تلقي أصداء أكثر من المعتاد من الأنسجة خلف الكيس، وهو تأثير يُعرَف باسم التحسين الصوتي. على العكس من ذلك، مع هيكل متكلِّس، على سبيل المثال: حصوة المرارة هناك انخفاض كبير في الصوت الذي سيمر من خلاله؛ لذلك تظهر مجموعة من الأصداء المنخفضة، ليشار إليها باسم الظل الصوتي، وتظهر خلف الحجر المتكلِّس.

إن الوقت الذي يستغرقه كل صدى للعودة إلى محوِّل الطاقة يتناسب إحصائيًا مع المسافة المقطوعة، وتسمح معرفة عمق الوجهة المسؤولة عن الصدى بإنتاج الصورة النهائية. أيضًا من الممكن قياس المسافة بين الوجهات من خلال معرفة سرعة الصوت داخل الأنسجة، ويُعد هذا ذا أهمية عملية كبيرة في علوم الجنين و الولادة، على سبيل المثال: أصبح قياس تشريح الجنين الطريقة القياسية لتقدير عمره.

في أثناء الفحص تمسح حزمة الموجات فوق الصوتية جسم المريض إلكترونيًا، ويتم عرض جزء من التشريح الداخلي على الفور، وتكون الصورة الناتجة عبارة عن شريحة؛ لذا للحصول على تقييم ثلاثي الأبعاد يجب إنشاء عدة شرائح عن طريق تحريك محول الطاقة، أو تعديل زاويته، وذلك على عكس طرائق التصوير الأخرى، فلا توجد إسقاطات ثابتة عند التصوير بالسونار، ويعتمد إنتاج الصور وتفسيرها اللاحق إلى

حد كبير على ملاحظات المستخدم في أثناء الفحص. يمكن أن توفّر صور الموجات فوق الصوتية معلومات مفصَّلة للغاية، على سبيل المثال: يمكن أن تُظهِر الآفات الضئيلة.

ومن الطرق لإنتاج صور ذات طابع عالي الوضوح (صور مفصلة للغاية) يمكن استخدام مجسَّات الموجات فوق الصوتية الصغيرة التي يمكن وضعها بالقرب من منطقة الاهتمام، ولكن بمدى محدود يبلغ بضعة سنتي مترات. ومن الأمثلة على ذلك: فحوص المستقيم لفحص البروستاتة، والفحوص المهبلية لفحص هياكل الحوض. يمكن دمج مجسَّات الموجات فوق الصوتية الصغيرة في نهاية المنظار الداخلي؛ ليتمكن الطبيب من إظهار آفات المريء، والقلب، والشريان الأورطي باستخدام منظار داخلي يُوضع في المريء، ويمكن الكشف عن آفات البنكرياس باستخدام منظار داخلي يتم تمريره إلى المعدة والإثنا عشري. كما تم تطوير مجسَّات خاصة بالموجات فوق الصوتية يمكن إدخالها في الشرايين للكشف عن مرض تصلُّب الشرايين. تم تطوير الموجات فوق الصوتية ثلاثية الأبعاد مؤخرًا، وتُستخدَم بشكل أساسي في الولادة والحمل للحصول على صور ثلاثية الأبعاد للجنين. يتم استخدام محوِّل طاقة تقليدي بالموجات فوق الصوتية؛ ليتحرك ببطء عبر الجسم، ويُسجِّل في الوقت نفسه الموقع وصورة الموجات فوق الصوتية، ليمكنه إنشاء صورة ثلاثية الأبعاد من البيانات المُستَلَمة. لم تظهر أي آثار ضارة على أي أنسجة من خلال الطاقات والجرعات المُستخدَمة حاليًا في التشخيص بالموجات فوق الصوتية. كذلك تم تطوير عوامل التباين بالموجات فوق الصوتية، وتحتوي هذه العوامل على فقاعات هواء مجهرية تُعزِّز الأصداء التي يتلقاها المسبار. يتم تثبيت فقاعات الهواء بحيث تستمر طوال فترة الفحص، كما يمكن إظهار تدفق الدم ونضحه إلى الأعضاء، وتُستخدَم هذه التقنية للمساعدة في توصيف تشوهات الكبد والكلى ومعاينتها، والتحقيق في أمراض القلب.

التصوير فوق الصوتي (الدوبلر)

يظهر صوت تأثير الدوبلر المنعكس عندما تصطدم الموجات الصوتية المتجهة من جهاز الألتراساوند بالخلايا المتحركة (مثل: خلايا الدم)، ينتج عنه تباين متغاير يتوافق مع سرعة حركة الخلايا المتحركة، ومن ثَمَّ يتم تغيير تردد الموجات المنعكسة،

وهذا التغير في التردد (التباين المتغاير) الذي يمكن تحويله إلى إشارة مسموعة، هو المبدأ الذي يقوم عليه مسبار دوبلر المُستخدَم في حالات الحمل للاستماع إلى نبضات قلب الجنين. كما يمكن استغلال تأثير الدوبلر في تصوير تدفق الدم عبر القلب أو الأوعية الدموية، هنا ينعكس الصوت من خلال تدفق خلايا الدم في الأوعية. إذا كان الدم يتدفق نحو محول الطاقة، فإن الإشارة المستقبلة تكون ذات تردد أعلى من التردد المرسل، في حين أن العكس يتعلق بما إذا كان الدم يتدفق بعيدًا عن المحول. يُعرف الاختلاف في التردد بين الصوت المُرسَل والمُستقبل باسم انزياح تردد دوبلر. يمكن تحديد اتجاه تدفق الدم بسهولة، ويكون التدفق نحو المحول ملونًا، واللون المتفق عليه هو اللون الأحمر، بينما يشير اللون الأزرق إلى التدفق بعيدًا عن المحول. في أثناء الفحص يمكن تسجيل شكل موجة سرعة التدفق وعرضه، كما يمكن الكشف عن تشوهات التدفق؛ لأن الأشكال الموجية من شرايين وأوردة معينة لها أشكال مميزة. وإذا كانت زاوية دوبلر معروفة، فيمكن حساب سرعة تدفق الدم، ويمكن حساب تدفق الدم بشرط أن يكون قُطْر الوعاء معروفًا أيضًا. تُستخدَم دراسات الدوبلر للكشف عن الخثار الوريدي وتضيُّق الشرايين وانسدادها، خاصةً في الشرايين السباتية. وفي البطن، يمكن لتقنيات دوبلر تحديد ما إذا كانت البنية عبارة عن وعاء دموي، ويمكن أن تساعد في تقييم تدفق الدم إلى الورم، يتم في الحمل والولادة استخدام الموجات فوق الصوتية دوبلر بشكل خاص؛ لتحديد تدفق دم الجنين عبر الشريان السُّري. وباستخدام تخطيط صدى القلب الدوبلري، من الممكن إثبات القَلَس من خلال حساب تدرجات الضغط عبر الصمامات، حيث إنها في هذه الحالة لا تُغلَق بشكل محكم فتتسبب في عدم كفاءة الصمام.

تحليل الصور بالموجات فوق الصوتية

هناك ثلاثة أنماط رئيسية من الصور المنعكسة:

1. لا انعكاس للموجة الصوتية، يمر كل الصوت تقريبًا عبر الجسم، ويُطلَق على هذا أيضًا اسم (Sonolucent) ويظهر باللون الأسود في الصورة، أما السوائل، كما هو الحال في الاستسقاء، أو الانصباب، أو الخُراجات، فيكون انعكاس الموجات فوق الصوتية صوتيًا.

2. ما يعكسه جزئيًا، أو النقل لبعض الأصوات، وهنا تنعكس الموجات على حدود الأعضاء ذات المعاوقة (الممانعة) الصوتية المختلفة، مثل: الحد الفاصل بين الكبد، والكلية.
3. انعكاس جميع الأصوات، مثل: العظام، والهواء، والتكلُّسات. ويكون استخدام السونار هنا محدودًا جدًا.

يتم إنشاء الصورة عن طريق قياس الحزم المنعكسة، وتعتمد شدة إشارة الحزمة على المسافة التي قطعتها، والجسم الذي انعكست عليه، وخصائص الوسائط التي انتقلت من خلالها، ويتم تقليل تأثيرات التوهين من خلال تعزيز الإشارة من الأشياء البعيدة، ويمكن تقييم الصور مثلما يأتي:

جودة الصورة

يمكن تصنيف العوامل التي تؤثر في جودة الصورة إلى ثلاثة أقسام: عوامل فيزيائية، وعوامل تتعلق بالجهاز، وعوامل تخص المريض، فمن الناحية الفيزيائية يمكن تحسين دقة الصورة باستخدام الموجات الصوتية ذات الأطوال الموجية القصيرة، إلا أن ذلك يؤدي في المقابل إلى انخفاض عمق الاختراق. تشمل العوامل الخاصة بالمريض: غاز الأمعاء، وعمق الأنسجة الدهنية، والمواد الغريبة في الحزمة؛ لذلك غالبًا ما تتأثر جودة الصورة في المرضى الذين يعانون ارتفاع مؤشر كتلة الجسم، وغاز الأمعاء، والأطراف الاصطناعية الجراحية في مجال الرؤية، ويمكن أن تؤثر المعايرة والاستخدام غير الصحيحين للجهاز أيضًا في جودة الصورة.

الدقة

تعتمد دقة العمق (الوضوح في اتجاه حزمة الموجة الصوتية) على تردد نبضة الموجات فوق الصوتية وطولها، وهي تقارب نصف طول النبضة. إن زيادة التردد أو تقصير الشعاع يزيد من دقة العمق، وتعتمد الدقة الجانبية (الوضوح في الاتجاه العمودي لاتجاه حزمة الموجة الصوتية) على عرض الحزمة، ومع ذلك فإن زيادة التردد تقلل من تغلغل الحزمة؛ لأنها تحتوي على توهين أعلى؛ لذلك هناك حل وسط يجب التوصل إليه بين الدقة والعمق لتحسين التصوير.

الآثار السلبية لصور الموجات فوق الصوتية

تحدث الآثار السلبية للتصوير بالموجات فوق الصوتية بشكل شائع، ومن الضرورة الإلمام بها بشكل جيد لتجنُّب التشخيصات الخاطئة، ولا ينبغي الخلط بينها وبين عيوب مسبار الموجات فوق الصوتية التي تمثل فشلًا أو عطلًا بالأجهزة نفسها، وبعضها كالآتي:

- التحسين الصوتي (Acoustic Enhancement)، والمعروف أيضًا باسم التحسين الخلفي، أو المعزِّز من خلال الإرسال إلى الصدى المتزايد العميق للهياكل التي تنقل الصوت جيدًا بشكل استثنائي، وببساطة يُنظر إليه على أنه زيادة فيتولد الصدى (البياض) خلف منطقة الكيس.
- ظاهرة التظليل الصوتي (أو تسمى التظليل الصوتي الخلفي)، وتتميز هذه الظاهرة بوجود فراغ إشارة خلف الهياكل التي تمتص الموجات فوق الصوتية، أو تعكسها بقوة، وهو شكل من أشكال التصوير المصطنع. يحدث هذا بشكل متكرر مع الهياكل الصلبة، حيث إن الصوت ينفذ بسرعة كبيرة في المناطق التي تتراكم فيها الجزيئات بشكل وثيق، مثل: العظام، أو الأحجار.
- التعرُّج (Aliasing)، هو ظاهرة متأصلة في تصوير الدوبلر الذي يستخدم طريقة أخذ العينات المتقطع (أخذ العينات من الإشارات الصوتية في نقاط محددة) الذي يؤدي فيه معدل أخذ العينات غير الكافي إلى عدم القدرة على تسجيل الاتجاه والسرعة بدقة.
- تباين الخواص (Anisotropy)، هو خلل مُصطَنَع في الموجات فوق الصوتية، لا سيما في العضلات والأوتار في أثناء إجراء الموجات فوق الصوتية للعضلات الهيكلية. في تطبيقات الجهاز العضلي الهيكلي قد يؤدي هذا الاختلال إلى تشخيص غير صحيح للأوتار أو تمزقها، ولكن للشخص المتمرس في بعض الحالات قد يكون تباين الخواص مفيدًا في التشخيص، وإن كان الوتر محاطًا بهياكل أخرى زاهية الصدى (مثل: الدهون)، ففي هذه الحالة سيؤدي تغيير زاوية محوِّل الطاقة إلى جعل الوتر ناقص الصدى؛ مما يميزه عن الهياكل الأخرى.

- خلل الإزهار أو نزف الألوان، ويحدث ذلك عندما تمتد إشارة اللون التي تشير إلى تدفق الدم إلى ما وراء حدوده الحقيقية، منتشرة في المناطق المجاورة مع عدم وجود تدفق فعلي.
- يُعتبر مظهر الشريان الأورطي المزدوج من الآثار الشائعة نسبيًا بالموجات فوق الصوتية، وتظهر بشكل تكرار للشريان الأورطي البطني بشكل مُصطَنع في المستوى المستعرض. تُعتبر معرفة هذا الخلل ذات أهمية كبيرة؛ لأن التشخيصات التفاضلية المُحتَمَلة تشمل الحالات التي تهدد الحياة (مثل: تسلُّخ الأورطى).

التصوير بالرنين المغناطيسي

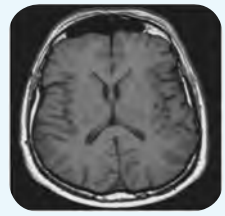
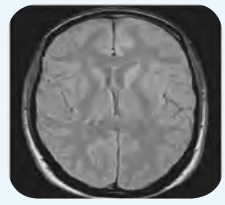
تعتمد المبادئ الأساسية للتصوير بالرنين المغناطيسي على نوى عناصر معينة تتماشى مع القوة المغناطيسية عند وضعها في مجال مغناطيسي قوي، وفي الأجهزة المستخدمة حاليًا في التصوير الطبي، تكون نوى الهيدروجين (البروتونات) في جزيئات الماء والدهون هي المسؤولة عن إنتاج الصور التشريحية. فلنفترض أنه تم تطبيق نبضة ترددات راديوية على تردد الرنين الخاص بذرة الهيدروجين، في هذه الحالة تقوم نسبة من البروتونات بتغيير اتجاه المحاذاة من الضعيف إلى القوي من خلال زاوية محددة مسبقًا، وتدور في المجال نفسه مع بعضها، ومن ثَمَّ تتم إزالة (انتهاء) نبضة التردد الراديوي، فتعود البروتونات لحالتها الضعيفة ومواقعها الأصلية (ما يسمى بإعادة الترتيب). عندما تقوم البروتونات بإعادة تنظيم نفسها أو ترتيبها (تسمى هذه بحالة الاسترخاء)، فإنها تطلق إشارة (أو بعض الطاقة)، وعلى الرغم من ضعفها الشديد، فإنها يمكن اكتشافها وتحديد موقعها بواسطة لفائف نحاسية موضوعة حول المريض. وبحسب توزيع بروتونات الهيدروجين يمكن تكوين صورة تشريحية لها، ويحدث ذلك عبر استخدام ماسح التصوير بالرنين المغناطيسي النموذجي الذي هو عبارة عن مغناطيس دائري كبير، ويوجد داخل المغناطيس ملفات إرسال الترددات الراديوية واستقبالها، وكذلك ملفات التدرج للسماح بالتحديد/ التوطين المكاني لإشارة التصوير بالرنين المغناطيسي، فتقوم المُعدات المساعدة بتحويل الإشارات إلى شكل رقمي يمكن للحاسوب معالجته لإنشاء صورة.

تتمثل إحدى مزايا التصوير بالرنين المغناطيسي عن التصوير المقطعي المحوسب في إمكانية تصوير المعلومات مباشرة في أي مستوى، فيعطي التصوير بالرنين المغناطيسي معلومات مختلفة جدًا عن التصوير المقطعي المحوسب، وهو أول تطبيق ناجح لفحص الدماغ والحبل الشوكي، حيث يتمتع التصوير بالرنين المغناطيسي بمزايا كبيرة مقارنة بالأشعة المقطعية، وكذلك بعض العيوب. يُعدّ التصوير بالرنين المغناطيسي أيضًا تقنية راسخة لتصوير العمود الفقري، والعظام، والمفاصل، وأعضاء الحوض، والكبد، والجهاز الصفراوي، والمسالك البولية، والقلب، وللوهلة الأولى قد يبدو من المدهش أن يوفر التصوير بالرنين المغناطيسي معلومات قيِّمة في أمراض الهيكل العظمي؛ لأن الأنسجة المتكلسة لا تولد أي إشارة في أثناء الإجراء، ويتم تفسير هذا التناقض الظاهري من خلال التصوير بالرنين المغناطيسي الذي يوفر صورًا لنخاع العظام والأنسجة الرخوة من الداخل والمفاصل المحيطة.

تحليل الصور بالرنين المغناطيسي

لا تعتمد قوة الإشارة على كثافة البروتون فحسب، بل تعتمد أيضًا على توقيت حالتي الاسترخاء التي يُطلَق عليها (T1 و T2)، فيعتمد T1 على الوقت الذي تستغرقه البروتونات للعودة إلى طبيعتها في محور المجال المغناطيسي، بينما يعتمد T2 على الوقت الذي تستغرقه البروتونات في التحلل من المجال (المعروف أيضًا باسم اضمحلال T2). وتكون صور الرنين المغناطيسي مُحمَّلة أو مُثْقَلة بإحدى هذه الحالات التي من خلالها يمكن معرفة نوع التباين في الصورة، ومن ثَمَّ نوع النسيج أو التعرّف على شكل الأعضاء. فعلى سبيل المثال: الصورة المُثقَلة (Weighting) بـ T1 هي الصورة التي يرجع فيها التباين بين الأنسجة بشكل أساسي إلى خصائص الاسترخاء T1، بينما في الصورة المثقلة بـ T2 يرجع التباين إلى خصائص الاسترخاء T2، كما قد تنتج بعض التسلسلات صورًا تقترب بشكل أساسي من كثافة البروتون، وتظهر معظم التغيرات المرضية (الباثولوجي) بشكل أكبر ومختلف في أوقات الاسترخاء والتحلل، فتظهر هذه التغيرات أقل في الإشارة (أكثر سوادًا) في الصور المُثقَلة بطاقة/ إشارة T1 وأعلى في شدة الإشارة (أكثر بياضًا) على صورة مُثقلة بطاقة/ إشارة T2 من الأنسجة الطبيعية المحيطة بها، ويمكن تحديد شدة ثِقَل الT1 و T2 للصورة عن طريق

تغيير توقيت نبضات التردد الراديوي وتسلسلها بشكل مناسب، ويبين الجدول الآتي تأثير الماء والدهون بالنسبة لثقل الإشارة وتباينها في الصور:

نوع التسلسل في الصور	صورة	تأثير الماء	تأثير الدهون
T1w ـ مثقلة		منخفض	عالٍ
T2w ـ مثقلة		عالٍ	منخفض
PD/ كثافة البروتون ـ مثقلة		متوسط/ عالٍ	عالٍ

لا يقتصر الرنين بالطبع على سلسلة التصوير، أو الكثافة البروتينية، ولكن هناك عديد من التسلسلات الأخرى التي تحتوي على مجموعة متنوعة ومحيرة من الأسماء والاختصارات التي تم تصميمها لتسليط الضوء على خصائص الأنسجة المختلفة، فعلى سبيل المثال: لإظهار محتوى الماء (تسلسل HASTE)، وتقليل الإشارة من الدهون، ومن ثَمَّ تسليط الضوء على المرض، أو تحسين التباين (قمع الدهون أو تسلسل STIR)، أو إظهار مزيج من محتوى الماء والدهون قد يظهر في (الفوكسل)

المكعب نفسه (تصوير التحوُّل الكيميائي/ Chemical shift imaging). وتشمل التطورات الحديثة التصوير الموزون/ المُثقَل بنظرية التناضح والانتشار والتحليل الطيفي بالرنين المغناطيسي (Spectroscopy) الذي يمكن أن يميز الأنسجة بشكل أكبر، وغالبًا ما يُستخدَم في تقييم الأورام. أما الأساسيات العلمية لتصوير الأوعية الدموية باستخدام التصوير بالرنين المغناطيسي فإنها معقدة ويتجاوز شرحها نطاق هذا الكتاب، ويجب الاكتفاء بقول: إنه مع بعض التسلسلات، لا ينتج الدم سريع التدفق أي إشارة، بينما ينتج مع بعضه الآخر إشارة ساطعة، حيث يمكن لهذه التسلسلات استغلال "مبدأ تأثير الحركة" لتصوير الأوعية الدموية. غالبًا ما تستخدم مثل هذه التسلسلات الحساسة للتدفق لتصوير الرأس والرقبة على سبيل المثال: يمكن إظهار التشوهات الشريانية الوريدية داخل الجمجمة وتضيُّق الشرايين السباتية بسهولة من دون وسائط تباين، وتشبه الصور الناتجة صورة الأوعية التقليدية.

أما الصور الديناميكية المعزَّزة بالتباين (DCE-MRI) باستخدام صبغة الجادولينيوم فتُستخدَم للتعرُّف على تشريح الأوعية الكبيرة، أو تعزيز خصائص تكوين الأوعية الورمية. تمامًا كما كانت وسائط التباين ذات قيمة كبيرة في التصوير المقطعي المحوسب، فإن مواد التباين المغناطيسية توفر معلومات تشخيصية مفيدة باستخدام التصوير بالرنين المغناطيسي. إن أكثر العوامل المستخدمة على نطاق واسع هي مركبات الجادولينيوم التي تعبُر الحاجز الدموي الدماغي فقط عندما تتضرر بسبب المرض، وتتركز في الأنسجة خاصة في حالة المرض مع إمداد الدم المرتفع. تُظهِر الأنسجة التي يتركز فيها العامل كثافة إشارة عالية جدًا (أي تظهر بيضاء) على الصور المثقلة بعامل T1/. تُستخدم أيضًا الوسائط الخاصة بالأنسجة، مثل: العوامل الخاصة بخلايا الكبد، وعوامل أكسيد الحديد لتصوير الخلايا الشبكية البطانية. هناك تطبيق خاص للتصوير بالرنين المغناطيسي المعزز بالتباين، وهو تصوير الأوعية بالرنين المغناطيسي الذي إلى جانب تصوير الأوعية المقطعي المحوسب، يحل تدريجيًا محل تصوير الأوعية التشخيصي التقليدي. تُعتبر عوامل التباين القائمة على الجادولينيوم آمنة بشكل عام، كما أن التفاعلات الناتجة عن الحساسية من الصبغة نادرة، وبغض النظر عن ذلك فلا يفضل استخدامها في حالات الحمل، وأيضًا المرضى الذين يعانون الفشل الكلوي أو غسيل الكلى، أو الذين ينتظرون زراعة الكبد معرَّضون لخطر الإصابة بالتليف الجهازي الكلوي الذي يمكن أن يكون قاتلاً. وفي هؤلاء المرضى يتم إجراء فحص بالرنين المغناطيسي من دون استخدام صبغة الجادولينيوم.

الآثار السلبية لصور الرنين المغناطيسي

في معظم الحالات يتطلب التصوير بالرنين المغناطيسي وقتًا أطول للمسح (غالبًا عدة دقائق) من التصوير المقطعي المحوسب، و على المريض أن يظل ثابتًا في أثناء إجراء المسح، وغالبًا ما تؤدي الحركات اللاإرادية من مثل: التنفس، ونبض القلب، والتمعج (انقباضات عضلية في الجهاز الهضمي) إلى ظهور آثار سلبية؛ مما يؤثر في جودة الصورة، ولعلاج هذه المشكلات تم إدخال تقنيات لتسريع أوقات المسح والحد من تأثير الحركة باستخدام طرق إلكترونية مختلفة مثل: استخدام تسلسل يعتمد على تخطيط حركة نبضات القلب، أو حبس الأنفاس، وهذا التسلسل متوفر الآن بسهولة. وتميل معظم الآثار السلبية إلى الحدوث على طول محور معين من مُعدات منحدر الرنين (Gradients)؛ لذا من العادة أن يُشار للمحور عند التحدث عن أي أثر سلبي، وعند وجود خلل أو أثر سلبي في الصورة، فإنه من المفيد إجراء فحص منهجي للسمات العامة للخلل لمحاولة فهم فئتها العامة، وتشمل هذه الميزات: نوع التسلسل، على سبيل المثال: صدى الدوران السريع (Fast Spin Echo- FSE)، والتصوير المنحدر (Gradient imaging)، والاستحواذ الحجمي (Volumetric acquisition)، واتجاه المرحلة والتردد، وإشارة الدهون أو السوائل، ووجود أنسجة وأعضاء خارج مجال الصورة، أو وجود أجسام معدنية غريبة.

الآثار السلبية لأجهزة التصوير بالرنين المغناطيسي وغطاء (درع) الحماية/ الوقاية لغرفة الرنين

- الأنماط الخطية (تشبه السحاب) (Zipper): وهو أثر سلبي يمتد في حزمة واحدة أو عدة حزم من الضوضاء الإلكترونية عبر الصورة. توجد أسباب مختلفة لمشكلات السحاب في الصور، ولا يوجد حل واحد، فيمكن أن يكون هذا الخلل مرتبطًا بمشكلات في الأجهزة أو البرامج، سواءٌ أكانت الماسحة الضوئية نفسها، أو الواقي. والسبب الشائع هو تداخل في إشارات التردد الراديوي الزائفة التي تؤدي إلى تشويش بيانات التصوير المُسْتَقْبَلة.
- خلل متعرِّج: تُعرف أيضًا باسم الأثارالمتقاطعة، وقد تكون مرتبطة بنقطة واحدة أو عدة نقاط بيانات شاذة في فضاء تجميع المعلومات k (k-space) (هو فضاء رياضي في التصوير بالرنين المغناطيسي يحتوي على البيانات الأولية التي

تُستخدم لتكوين الصورة النهائية بعد تطبيق تحويلات رياضية). في مساحة الصورة، تشبه الخطوط المتباعدة بانتظام مظهر نسيج بنمط متعرِّج، وقد تغطي الصورة بأكملها في شريحة واحدة أو شرائح متعددة.

- أثر سلبي يشبه خطوط الحمار الوحشي: تظهر على شكل شرائط ساطعة ومظلمة بالتناوب في الصورة. تم وصف خطوط الحمار الوحشي بأنها مرتبطة بمشكلات حساسية الجهاز للمعادن. في التصوير المقطعي المحوسب، هناك أيضًا الأثر السلبي الذي يتمثل في وجود شرائط ساطعة ومظلمة متكررة تنتج من عمليات إعادة البناء ثلاثية الأبعاد، وكذلك من النزف في التلم المخيخي، وربما المربك في الأمر، وجود علامة خطية على شكل حمار وحشي في عظام أولئك الذين عولجوا بالبيسفوسفونات الدورية لتكوين العظم الناقص، وتم استخدام المصطلح لوصف عدة أنواع مختلفة منها، وهو أمر قد يكون محيرًا نوعًا ما، وتشمل ما يأتي:
  - ـ تموُّجًا في نسيج الصورة.
  - ـ حزمًا مدببة في فضاء ـ ك (K- space).
  - ـ تعبئة صفرية/ شرائط متناوبة من التظليل والظلام.
- عدم التجانس: يعتبر عدم التجانس نوعًا من خلل التصوير بالرنين المغناطيسي الذي يحدث بسبب عوامل متعددة، مثل: المنطقة التشريحية غير المنتظمة (على سبيل المثال: الكتف، والوركان، والكاحلان)، أو وجود أجسام معدنية، أو عدم تجانس المجال الرئيسي، والمشكلة الرئيسية في هذا الخلل هي أنه يمكن أن يشابه الوذمة أو التهاب النسيج الخلوي تحت الجلد، يوصى بشدة باستخدام التسلسلات التي لا تعتمد على تجانس المجال المغناطيسي الرئيسي.
- أثر يشبه السماء المرصَّعة بالنجوم: يُعدّ هذا الأثر في التصوير بالرنين المغناطيسي (مثل: Sensitivity encoding-SENSE) شائعًا نسبيًا، ويُصادَف عادةً مثل: توزيع غير منتظم لضوضاء في الصورة (Noise) (إشارات عشوائية غير مرغوب فيها تظهر في الصورة)، ويؤثر عادةً في الجزء المركزي من الصورة (كونه بعيدًا عن الملفات السطحية) أكثر من الأنسجة السطحية.

الآثار الناتجة عن برنامج التصوير بالرنين المغناطيسي

- خلل بأشكال متداخلة على شرائح (تُعرف أيضًا باسم الخلل المتقاطع): ويحدث فيه فقدان للإشارة المرئية في صورة زوايا وشرائح متعددة، ويُرى ذلك بشكل شائع في العمود الفقري القطني، ولا ينبغي الخلط بينه وبين الآثار المتصالبة التي على الرغم من تشابهها في السببية، فإنها لا ترجع إلى الصور التي تكون بزاوية.
- الآثار المتصالبة: وهي تشير إلى فقدان الإشارة داخل شريحة بسبب الإثارة المُسبقة من نبضة التردد الراديوية المخصصة لشريحة مجاورة.

الآثار السلبية بسبب حركة المريض الإرادية واللاإرادية

- آثار الحركة في مجال ترميز التردد (Phase-Encoding): يحدث ذلك نتيجة لتحرك الأنسجة/ السوائل في أثناء الفحص، وتتجلى هذه الآثار على شكل ظلال في اتجاه ترميز التردد، عادةً في اتجاه المحور القصير للصورة. يمكن رؤية هذه الظلال الناتجة عن النبضات الشريانية، والبلع، والتنفس، والتمعُّج، والحركة الجسدية للمريض. عندما تظهر هذه العلامات (الظلال) على الأعضاء والأنسجة، فإنها يمكن أن تحاكي شكل أحد الأمراض، ويمكن تمييزها؛ لأنها تمتد عبر مجال الرؤية بالكامل.
- خلل/ أثر شريحة الدخول: يحدث عندما تدخل الدورات غير المشبعة في الدم أولًا في شريحة أو شرائح، ويتميز بإشارة ساطعة في وعاء دموي (شريان أو وريد) عند الشريحة الأولى التي يدخلها الوعاء. عادة تظهر الإشارة على أكثر من شريحة واحدة، وتتلاشى مع المسافة، وتُستخدم هذه الآلية بشكل إيجابي لتوليد صور الأوعية الدموية بالرنين المغناطيسي.

الآثار السلبية لعدم تجانس الأنسجة والأجسام الغريبة

- أثر الحدود السوداء: تُعرف أيضًا باسم أثر الحبر الهندي، أو تحوُّل الكيميائية من النوع 2، وهو عبارة عن خط أسود يحدث بشكل مصطنع يقع في جهة المياه الدهنية مثل: تلك الموجودة بين العضلات، والدهون. ينتج عن هذا تحديد دقيق لحدود الدهون في العضلات؛ مما يُضفِي على الصورة مظهرًا كما لو أن شخصًا

ما قد حدد هذه الواجهات بحبر يكون أحيانًا جذابًا بصريًا، ولكن ليس بقصد معرفة تشريحية.

- تأثير الزاوية السحرية: يحدث في التسلسل الذي يكون فيه الوقت (TE) قصيرًا (أقل من 32 ملي ثانية)، أو المُثقلة بـ T1/، أو المُثقلة بكثافة البروتون، أو صدى التدرج. ويقتصر على مناطق الكولاجين المرتبط بإحكام عند 54.74 درجة من المجال المغناطيسي الرئيسي (B0)، ويبدو شديد الكثافة، ومن ثَمَّ من المحتمل أن يُحسَب بمثابة مرض اعتلال الأوتار.
- أثر الحساسية/ القابلية المغناطيسية: يحدث هذا الخلل؛ بسبب عدم تجانس المجال المغناطيسي المحلي من مركبات متعددة، ويتم مواجهته بشكل خاص في أثناء التصوير بالقرب من أجهزة تقويم العظام، أو الأسنان المعدنية، وعدم تجانس المجال المغناطيسي المحلي (B0) هو خاصية للجسم الذي يتم تصويره بدلًا من وحدة التصوير بالرنين المغناطيسي نفسها، ويُعد الخلل المزهر من أكثر الآثار الشائعة المرتبطة بالحساسية.
- فيما يتعلق بالحساسية المغناطيسية، يمكن تصنيف معظم المواد على أنها قد تكون كما يأتي:

ـ المواد الديامغنطية (Diamagnetic): هذه المواد لا تحتوي على عزوم مغناطيسية دائمة مثل الماء الذي يعتبر (ضعيفًا) مغناطيسيًا.

ـ المواد البارامغناطية (ممغطسة) (Paramagnetic): هي مواد تنجذب إلى المجال المغناطيسي ولكن بشكل ضعيف جدًا مقارنة بالمواد الحديدية، وتفقد مغناطيسيتها بمجرد إزالة المجال المغناطيسي.

ـ مغناطيسية فائقة (Super Paramagnetic): تحتوي المواد المغناطيسية الفائقة على جسيمات صغيرة جدًا ذات حساسية مغناطيسية يمكنها الاستجابة بسرعة وبقوة للمجال المغناطيسي.

ـ المغناطيسية الحديدية/ عالية النفاذية (Ferromagnetic): تحتوي هذه على تكتلات صلبة، أو بلورية كبيرة من الجزيئات مع إلكترونات غير مقترنة وتظهر "ذاكرة مغناطيسية"؛ مما يخلق مجالًا مغناطيسيًا باقيًا بعد التعرُّض لمجال مغناطيسي

خارجي. تشمل أمثلة المعادن المغناطيسية: الحديد، والنيكل، والكوبالت، وكلها تشوه الحقول المغناطيسية، وتسبب تشوهات شديدة في صور التصوير بالرنين المغناطيسي.

- خلل الآثار الكيميائية: هو اكتشاف شائع في بعض تسلسلات التصوير بالرنين المغناطيسي، ويستخدم في (MR-Spectroscopy). وتحدث هذه في اتجاه تشفير التردد؛ بسبب التسجيل الخاطئ المكاني لجزيئات الدهون، والماء.

التصوير النووي

عندما تتحلل النظائر المُشعَّة تصدر أشعة جاما، وهي التي تُستخدَم في التصوير التشخيصي، وأشعة جاما هي عبارة عن إشعاع كهرومغناطيسي يشبه الأشعة السينية، وينتج عن التحلل الإشعاعي للنواة عديد من النظائر المُشعَّة التي تحدث بشكل طبيعي، على سبيل المثال: البوتاسيوم -40، واليورانيوم -235، لهما فترات نصف عمرية تبلغ مئات السنين، ومن هنا فإنهما غير مناسبين للتصوير التشخيصي. بينما ما يتم استخدامه في التشخيص الطبي هي نظائر مُشعة مُصطَنعَة، ومعظمها لها فترات نصف عمر قصيرة، عادة ما تكون بضع ساعات أو بضعة أيام. وللحفاظ على جرعة الإشعاع للمريض عند الحد الأدنى، يجب استخدام أصغر جرعة مُمكنة من النظير ذي عمر نصف قصير. يجب ألا تحتوي الأدوية المُشعة على تأثيرات بيولوجية غير مرغوب فيها، كما أنه يجب إخراجها بسرعة من الجسم بعد الانتهاء من الفحص.

يمكن تمييز النويدات المُشعة كيميائيًا بواسطة مواد معيَّنة تتركز بشكل انتقائي في أجزاء مختلفة من الجسم، وفي بعض الأحيان تتركز النويدات المُشعَّة في شكلها الأيوني بشكل انتقائي في العضو، لذلك ليست هناك حاجة لربطها بمركَّب آخر. هذه النويدات المشعة هي تكنيشيوم 99m (99mTc) الذي يتم تحضيره بسهولة، وله عمر نصفي مناسب يصل إلى ست ساعات، وينبعث منه إشعاع جاما بطاقة مناسبة لسهولة الكشف، وتشتمل النويدات المُشعَّة الأخرى المستخدمة على الإنديوم 111، والجاليوم 67، واليود 123، والثاليوم 201. ويمكن استخدام تكنيشيوم (Technetium-99m) في شكل أيوني (مثل: مادة بيرتكنيتات) للكشف عن الغشاء المخاطي المَعدي المنتبذ في رتج (كيس صغير يتكون في جدار الأمعاء) ميكل (Meckel's diverticulum)، ولكن عادةً ما يتم تمييزه بمواد أخرى. على سبيل المثال: تمتص العظام الفسفات العضوي المركب المسمى بالتكنيشيوم، ويمكن استخدامه لتصوير الهيكل العظمي، ويستخدم الألبومين ـ التكنيشيوم ـ 99m في التصوير النووي لتقييم نضح الرئة، حيث يتم وسم

الألبومين بالجسيمات المشعة -مثل: التكنيشيوم ـ 99m بحجم (10-75) ميكرومتر، ثم حقنه في الوريد. ومن الممكن أيضًا تصنيف -خلايا الدم الحمراء للمريض بتكنيشيوم ـ 99m لتقييم وظيفة القلب، أو الخلايا البيضاء باستخدام الإنديوم 111، أو تكنيشيوم ـ 99m للكشف عن وجود الخُرَّاج. يمكن استنشاق كميات صغيرة من الغازات المشعة، مثل: زينون 133، أو زينون 127، أو كريبتون 81م لتقييم تهوية الرئتين، وتُعدّ كل هذه الأدوية المشعة خالية من الآثار الجانبية.

في التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني (PET)، تُستخدم نظائر مشعة قصيرة العمر تُصدِر بوزيترونات، ويتم إنتاج هذه النظائر باستخدام السيكلوترون قبل الاستخدام مباشرة. عند تصادم كل بوزيترون مع إلكترون، يحدث تلاشٍ (إفناء) للجسيمين؛ مما يؤدي إلى إصدار شعاعين من أشعة جاما يتحركان في اتجاهين متعاكسين. تُكتشف هذه الفوتونات بواسطة كاميرا جاما متخصصة؛ مما يتيح إنشاء صورة دقيقة للتوزيع الإشعاعي داخل الجسم.. تعكس الصور الناتجة توزيع النظير باستخدام نظائر العناصر المهمة بيولوجيًا مثل: الكربون، أو الأكسجين، ويمكن استخدام التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني لدراسة العمليات الفيزيولوجية مثل: نضح الدم للأنسجة، واستقلاب المواد مثل: الجلوكوز، إضافة إلى المسارات الكيميائية الحيوية المعقدة مثل: تخزين الناقل العصبي وربطه. إن العامل الأكثر استخدامًا هو الفلورودیوكسي جلوكوز (F-18 fluorodeoxyglucose; FDG)، يُعدّ هذا العامل تناظريًا للجلوكوز وتأخذه الخلايا بما يتناسب مع استقلاب الجلوكوز الذي يزداد عادة في الخلايا السرطانية، نظرًا لأن نشاط العضلات يؤدي إلى امتصاص الفلورودیوكسي جلوكوز، فعليه يجب على المريض أن يأخذ قسطًا من الراحة والهدوء في الفترة الفاصلة بين حقن الفلورودیوكسي جلوكوز والمسح. يجب تفسير الصور بعناية؛ لأن الحالات غير السرطانية قد تُظهِر امتصاصًا يشبه السرطان، والتصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني باستخدام المادة هو الأسلوب الأكثر حساسية لتحديد مراحل الأورام الصلبة، مثل: سرطـان الشُّعَب الهوائية، وفي متابعة الأورام الخبيثة، وخاصة سرطان الغدد اللمفاوية، حيث قد لا تتمكن تقنيات التصوير الأخرى من التمييز بين المرض النشط، والتليف المتبقي.

يُستخدَم التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني أيضًا لتقييم أمراض القلب الإقفارية واضطرابات الدماغ مثل: الخرف، والصرع، ومرض باركنسون. يوضح

التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني الوظيفة البيولوجية، بينما يعطي التصوير المقطعي المحوسب معلومات تشريحية. إذا تم دمج التصوير المقطعي مع التصوير النووي، يمكن تحديد موضع الآفات التي تم اكتشافها بواسطة التصوير النووي بدقة بواسطة التصوير المقطعي المحوسب. تسمح المُعدات الحديثة بإجراء هذين الفحصين بالتتابع على الجهاز نفسه.

تحليل الصور النووية

يتم الكشف عن أشعة جاما المنبعثة من النظير بواسطة كاميرا جاما؛ مما يتيح إنتاج صورة، وتتكون كاميرا جاما من بلورة كبيرة من يوديد الصوديوم، يصل قطرها عادة إلى 40 سنتي متر، مقترنة بعدة أنابيب مضاعفة ضوئية. ينتج الضوء عندما تصطدم أشعة جاما وتنشط بلورة يوديد الصوديوم، ومن ثَمَّ يتم تضخيم الضوء إلكترونيًا وتحويله إلى نبضة كهربائية. يتم تضخيم النبض الكهربائي وتحليله بواسطة وحدة معالجة بحيث يمكن إجراء التسجيل، ويتم ربط بعض أشكال الكمبيوتر بكاميرا جاما لتمكين التقاط صور تسلسلية سريعة، وإجراء تحسين الصور بالكمبيوتر عند الحاجة، وفي حالات مختارة يتم إجراء التصوير المقطعي. وفي هذه التقنية تتحرك كاميرا جاما حول المريض، ويمكن لجهاز الكمبيوتر تحليل المعلومات، وإنتاج صور مقطعية مشابهة للتصوير المقطعي المحوسب. كما أنه يمكن للتصوير المقطعي بالانبعاثات الكشف عن الآفات غير المرئية في المناظر القياسية، ونظرًا لأنه يتم إصدار فوتون واحد قابل للاستخدام فقط لكل تفكك، تُعرف هذه التقنية باسم التصوير المقطعي المحوسب بإصدار فوتون واحد (SPECT). تستخدم تقنيات الطب النووي لقياس الوظيفة ولإنتاج صور تشريحية، ومع ذلك فإن المعلومات التشريحية التي تقدمها هذه التقنية محدودة؛ بسبب الدقة المكانية الضعيفة نسبيًا لكاميرا جاما مقارنة بطرق التصوير الأخرى.

الآثار السلبية للتصوير النووي

يمكن تقسيم الآثار السلبية للتصوير النووي على نطاق واسع إلى آثار نتجت عن الأدوات والأجهزة المستخدمة، والأدوية الإشعاعية، وتقنية التصوير، وقد تكون الآثار السلبية متعلقة بالعلاج أو بسبب المريض:

الآثار السلبية الناتجة عن الأدوات المُستخدمة والأجهزة

باستخدام كاميرات جاما الرقمية، قد تُظهِر البيانات الأولية للصورة التي تم الحصول عليها بعض الخلل، أو العيوب بوضوح، ولكن بعد المعالجة قد تصبح دقيقة أو متغيرة ويصعب التعرُّف عليها، وتختلف الآثار السلبية بحسب المسبب حيث:

- يمكن أن تنشأ الآثار السلبية لتماثل الصورة (Uniformity) من عيوب في الأنبوب المضاعف الضوئي، وبلورة يوديد الصوديوم، إضافة إلى وجود المشكلات الإلكترونية والميكانيكية الأخرى.
- يمكن أن يحدث الخلل عند استخدام النيوكليوتيدات المُشعَّة متعددة السيقان مثل: 67Ga، و 201Tl، و 111In؛ مما يتسبب في عدم الدقة، ومن ثَمَّ حدوث أخطاء طفيفة حتى مع تصحيحات البرامج.
- يمكن أن يكون للتوهين آثار سلبية متأصلة في إشعاع جاما؛ بسبب الطاقة التي تمتلكها. تتعامل أدوات الموازاة مع الغالبية العظمى من المشكلات المُحتَملة لتوهين كاميرا جاما، ولكن ما يزال من الممكن حدوث عيوب تشتت كومبتون (هو ظاهرة فيزيائية يحدث فيها تشتت فوتون عند اصطدامه بإلكترون؛ مما يؤدي إلى انخفاض طاقة الفوتون وزيادة طوله الموجي). الطاقة القليلة تسبب مزيدًا من التشتت ومزيدًا من الإشعاع المُمتَص من المريض، والخلل الناتج عن عُطل الموازاة ليس له حافة ساطعة حول المنطقة الضوئية؛ مما يميزها عن عيوب الكريستال مثل: الشقوق. إذا كان الضرر أكثر انتشارًا فيمكن مقارنة الصور بين أجهزة الموازاة المختلفة للكشف عنها، ويمكن أن يحدث انحناء أو عيب في الميزاء (حاجب من مادة ماصة للأشعة) (Collimator) في أثناء عملية التصنيع، أو بسبب الإجهاد الميكانيكي، ويمكن أيضًا أن تقلل معالجة البرامج للصورة من عيوب الموازاة.

الآثار السلبية الناتجة عن المستحضرات الصيدلانية المُشعة

تُعدّ الاستخدامات المتعددة للنيوكليوتيدات المشعة ذات عيوب تصوير نادرة، ولكنها شيء يجب مراعاته في أقسام الطب النووي المزدحمة، حيث قد يحدث تداخل

في التوقيت. عندما يتم التخطيط لإجراء أكثر من مسح للطب النووي، فإنه يجب دائمًا مراعاة فترات نصف العمر الفيزيائية والبيولوجية، ويُرجى العلم أن توقيت العلاج بالنظائر المشعة باستخدام التصوير الومضاني يمكن أيضًا تجنُّب حدوثه، ويمكن تغيير فترات نصف العمر البيولوجية من خلال تصرفات المريض مثل: تناول وجبات غير مجدولة (عند الصيام)، أو أدوية تؤثر في حركة الأمعاء في أثناء إفراغ المعدة، أو دراسات عبور القولون، وقد تحتوي الأطعمة أو الأدوية على مادة تباين الأشعة.

آثار سلبية ناتجة عن أعطال تقنية

- عادةً ما يتم تجنُّب عيوب موقع الحقن عن طريق البرامج، أو حجب الرصاص، فيساعد هذا على تحديد الموقع وتقليل مشكلة تجاوز مربعات الصورة (البكسل). تُعتبر عيوب تسرب المادة الدوائية شائعة، بما في ذلك التراكم المحلي والتتبع اللمفاوي المُحتَمل للعقد اللمفاوية لإعطاء العقد الإيجابية الكاذبة. ويمكن أن يؤدي الحقن غير المقصود داخل الشرايين إلى تجميع الدم، أو عيوب التدفق التي بدورها تؤدي إلى تأخير نتائج الفحص.
- قد تنجم الآثار السلبية أيضًا عن إدخال القسطرة والأنابيب الطبية في الجسم، مع استخدام القسطرة الوريدية، قد تلتصق المستحضرات الصيدلانية المُشعَّة بالجدار البلاستيكي، أو قد تبقى الكميات المتبقية في تجويف القسطرة، أو النظام الوريدي في حالة وجود عديد من الصمامات؛ بسبب الغسل غير السليم بمحلول ملحي بعد الإعطاء. يمكن أن تؤدي أكياس القسطرة البولية، أو أكياس فغر الكلية أيضًا إلى إضعاف رؤية المنطقة إذا تم وضعها بشكل غير صحيح.

آثار سلبية متعلقة بالمريض

- قد تؤثر الاختلافات التشريحية مثل: سُمك الجمجمة، وكثافة العضلات، وتوزيع الدهون في طريقة التوهين. وبالطبع يمكن لوجود الأغراض غير التشريحية الخارجية في مجال التصوير المستوي أن تسبب عيوب التوهين (على سبيل المثال: الملابس، والعملات المعدنية، والمفاتيح، ومشبك الحزام) أو الداخلية (على سبيل المثال: مُنَظِّم ضربات القلب، وأجهزة تقويم العظام، والتباين المبتلع سابقًا،

وغرسات الثدي، والسدادة القطنية). الآثار السلبية الملوثة هي الأكثر شيوعًا في الطب النووي، وعادة ما تحدث هذه عند العثور على المواد المُشعَّة في مناطق غير متوقعة.

- يمكن لوجود البول في المثانة أن يُضعف تركيز الفوتون العالي عند تصوير الورك والحوض في مجال التصوير المستوي، ولحل هذه المشكلة يمكن استخدام قسطرة المثانة التي تقلل الوقت بين إفراغ المثانة والتصوير، كذلك تساعد على تقليل عيوب التصوير.
- تتسبب عيوب الحركة التنفسية في عدم وضوح الصورة، وأخطاء التوهين، ونتائج سلبية خاطئة (غالبًا بالقرب من الحجاب الحاجز). يحدث التسجيل الخاطئ عادة بالقرب من حدود الأعضاء. مثال على التسجيل الخاطئ: إذا كانت آفة الكبد بالقرب من واجهة الحجاب الحاجز الرئوية قد تظهر الآفة في الرئة بدلًا من الكبد بسبب خلل في الجهاز التنفسي، وعلى الرغم من التقدم في تصوير نضح عضلة القلب، فإنه ما تزال عيوب حركة المريض موجودة، وخاصة السعال، والالتواء، والانزلاق، والانكماش في أثناء الاستحواذ على الصورة.

آثار ذات صلة بالعلاج

- تؤثر الإجراءات الطبية، مثل: العلاج الإشعاعي في الأنسجة عن طريق زيادة الامتصاص في مرحلة الالتهاب، وتقليل الامتصاص في المرحلة التليفية مع عديد من الأدوية الإشعاعية. يمكن رؤية ذلك من خلال تقييم علاج ورم خبيث في العظام إذا تم إجراؤه مبكرًا جدًا. يتضرر عظم ما بعد العلاج ويُعاد تشكيله؛ مما يتسبب في امتصاص عالٍ وتطور إيجابي كاذب للورم الخبيث عندما يتعافى العظم ببساطة. يشار إلى هذا أحيانًا باسم "ظاهرة التوهج/ (Flare Phenomenon) في فحص التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني باستخدام فلورودیوكسي جلوكوز (FDG PET).
- من المؤكد أن إجراء الجراحة الحديثة يسبب زيادة في الامتصاص، حيث يوجد أيضًا التهاب وشفاء. قد تكون مواقع الحقن تحت الجلد قد زادت من امتصاص

بعض النظائر المشعة (على سبيل المثال: تكنيشيوم ـ 99م ميثيلين داي فسفونات (^{99m}Tc-MDP)، وقد تحجب مناطق (العمود الفقري القطني، والحوض، والبطن) مناظر مستوية أمامية، ويمكن تأكيدها باستخدام المستوى الجانبي. يمكن للمرضى الذين يخضعون لغسيل الكلى، والذين يعانون مرض الفشل الكلوي المزمن أن يكون لديهم تخليص (طرح) زائد من خلال الكبد للتعويض عن القصور الكلوي؛ مما يؤدي إلى تغيير التوزيع الحيوي للمستحضرات الصيدلانية المُشعَّة. يمكن أن يكون لهؤلاء المرضى أيضًا تفاعلات كيميائية مختلفة مع الأدوية الإشعاعية التي تتضمن عوامل مثل: تغيرات الأُس الهيدروجيني، وتشوهات الكهارل، والغسيل الكلوي قبل امتصاص الهدف الكافي.

- تبدِّل التغيرات الفيزيولوجية المرضية والكيميائية الحيوية التوزيع الحيوي للمستحضرات الصيدلانية المشعة، ومن الأمثلة على ذلك: فشل الجهاز الإخراجي، واستقلاب الجلوكوز المتغير (تأثير الصيام عند تصوير عضلة القلب بالجلوكوز المشع)، ومستويات الهرمون غير الطبيعية (قصور الغدد جارات الدرقية مع فحص العظام)، والتفاعلات الالتهابية، وغيرها كثير.
- الأدوية العلاجية التي يتناولها المريض قد تغير التوزيع الحيوي، أو الحرائك الدوائية للمستحضرات الصيدلانية الإشعاعية، ومن الأمثلة على ذلك: أدوية القلب التي تدخل في اختبارات الإجهاد عن طريق منع القلب من الوصول إلى المعدل المطلوب، ومثال آخر: مثبطات المناعة التي تقلل الانجذاب الكيميائي، وتقلل من امتصاص الكريات البيض ذات العلامات الإشعاعية.

تطبيقات حية لأساسيات التصوير الطبي على بعض الصور والحالات الطبية

- الأشعة المؤيَّنة.
- الأشعة السينية العادية.

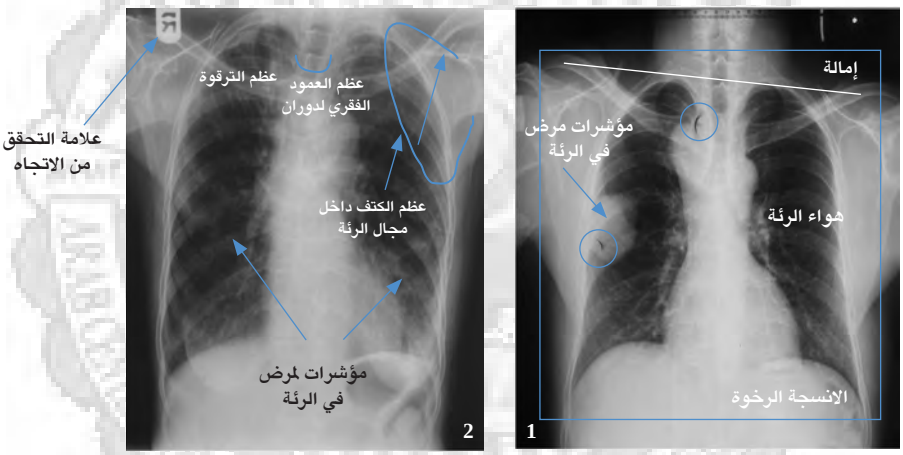
يتطلب تحليل الأشعة السينية تدريبًا وخبرة، لذلك من المهم استشارة اختصاصي رعاية صحية مُدرَّب، أو طبيب اختصاصي أشعة لتفسير النتائج بدقة، ويتضمن تحليل الأشعة السينية تقييم الهياكل والأنماط المرئية على الصورة لتحديد أي تشوهات أو مخاوف صحية مُحتَملة، وفيما يأتي بعض الخطوات للمساعدة في تحليل الأشعة السينية:

أ- التحقق من الاتجاه: يجب التأكد من أن الصورة موجهة بشكل صحيح، بحيث يكون الجانب الأيمن للمريض على الجانب الأيسر من الصورة، والعكس صحيح.

ب - النظر إلى الجودة الإجمالية: التحقق من تعرُّض الصورة وتباينها وحدتها. كذلك التأكد من أن الصورة ذات جودة عالية، وأنه لا توجد مشكلات فنية يمكن أن تؤثر في التشخيص.

ج - تقييم العظام: التحقق بالنظر من العظام؛ لتقييم شكلها، وكثافتها، ومحاذاتها. والتحقق من وجود أي علامات لكسور، أو خلع، أو تشوهات فيها.

د - تقييم المفاصل: التحقق من فحص المفاصل بحثًا عن أي علامات لالتهاب أو تلف.

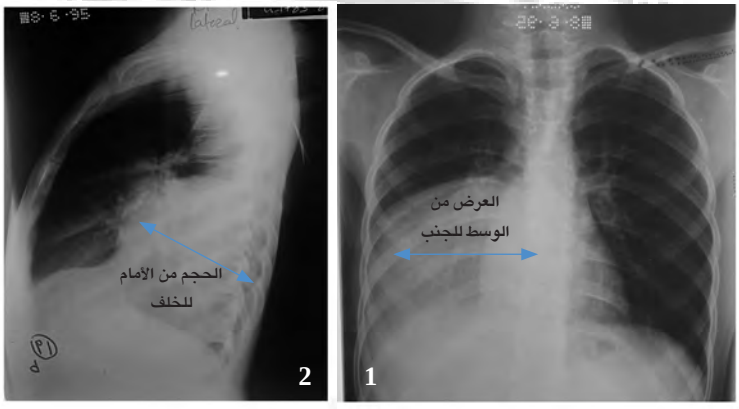


الصورة 1 و 2 عبارة عن أشعتين سينيتين للصدر تم تصويرهما باستخدام الطريقة التقليدية للتصوير لمرضين مختلفين. في الصورة 1 و 2 نجد بعض النواقص والمشكلات الفنية التي قد توثر في عملية التشخيص، وتشمل بعض هذه المؤشرات: عدم وجود علامة التحقق من الاتجاه في الصورة 1 مثل الموجودة في الصورة 2، كذلك وجود بعض المشكلات الفنية (الدائرة) وهي آثار سلبية من أظافر اليد في الصورة 1، وفي الصورة 2 نجد عظم الكتف الخلفي داخل مجال الرئة وهو أمر خاطئ عند التصوير. وفي كلتا الصورتين يتضح أن هناك مشكلة في استخدام جهاز التصوير وتوجيهه بطريقة صحيحة؛ مما يقلل من جودة الصورة وزيادة جرعة الإشعاع للجسم (الطريقة الصحيحة نجدها في صورة 1 المربع). كلتا الصورتين يوجد بهما دوران في محور الجسم وإمالة؛ مما ينتج عنهما تغيُّر في إحداثيات الأعضاء من حيث الشكل والحجم، ويمكن معرفة الدوران والإمالة من بعض الأعضاء مثل: حجم الرئة، وعظام الترقوة، والعمود الفقري، تُبدِي كلتا الصورتين مؤشرات تدل على وجود مرض بالرئة.

ت ـ التحقق من وجود أجسام غريبة: البحث عن أي أجسام غريبة، مثل: الرصاص، أو الشظايا المعدنية التي قد تكون موجودة في الجسم.

ث ـ المقارنة بالصور السابقة (إذا كانت متوفرة): إذا كانت هناك صور سابقة بالموجات فوق الصوتية متوفرة، فمن الواجب مقارنة الصور الحالية بها؛ لتحديد حدوث أي تغييرات بمرور الوقت.

ح ـ تقييم الأنسجة الرخوة: مثل: العضلات، والأعضاء؛ للتحقق من وجود تشوهات، أو كتل.

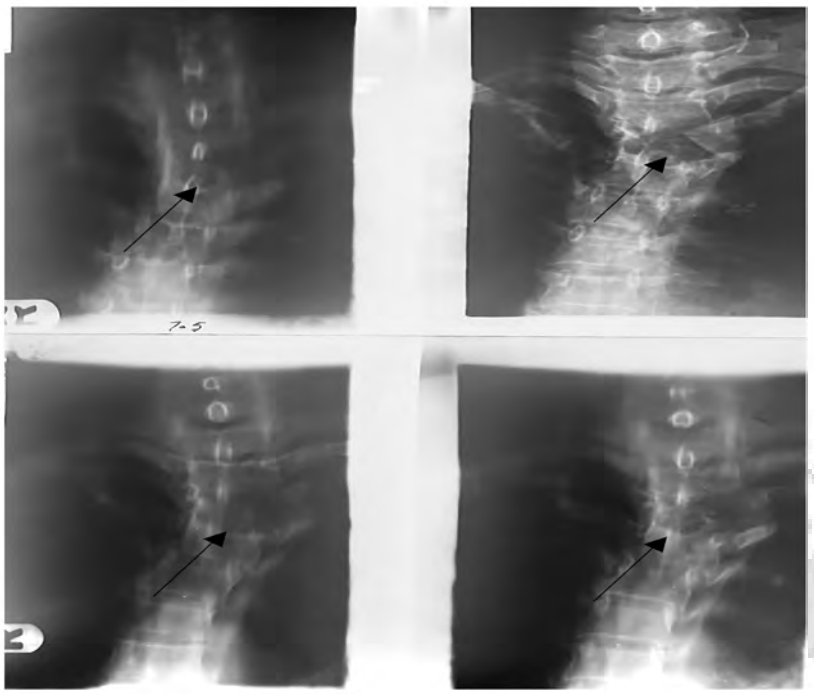


الأشعة 1 و 2 صورتان مختلفتان لمريض واحد: الصورة (1) هي اتجاه التصور (الخلفي ـ الأمامي) والصورة (2) هي اتجاه التصوير الجانبي ويتم اخذ هذه الوضعيات لتقييم التوحيد أو المناطق ذات الكثافة الرئوية المتزايدة، ويتم التقاط الصورة (1) مع وقوف المريض ومواجهة جهاز الأشعة السينية، مع دخول شعاع الأشعة السينية إلى ظهر المريض والخروج من خلال جدار الصدر، يتم التقاط المنظر الجانبي للمريض واقفًا وبجانب جهاز الأشعة السينية، مع دخول شعاع الأشعة السينية إلى جانب المريض والخروج من الجانب الآخر، ويوفر استخدام كلا العرضين معلومات تكميلية حول موقع الدمج، وحجمه، وشكله، فيُظهِر العرض (1) الأجزاء الأمامية والخلفية من الرئتين، بينما يُظهِر العرض الجانبي الجانب الوسطي (الإنسي) والخارجي الجانبي. يمكن تحديد عمليات التوحيد بشكل أفضل وتمييزها من خلال مقارنة وجهتي النظر وتقييم أنماطهما، وهوامشهما، والميزات المرتبطة بهما. إضافة إلى ذلك، يمكن أن يساعد استخدام كلتا الصورتين في التمييز بين التوحيد الحقيقي (الأنسجة الصلبة) والانخماص (أنسجة الرئة المنهارة أو فاقدة التهوية)، أو الانصباب (تراكم السوائل في الفضاء الجنبي)، وهذا أمر مهم للتشخيص الدقيق.

تأثير صبغة (مواد التباين) في صورة الأشعة

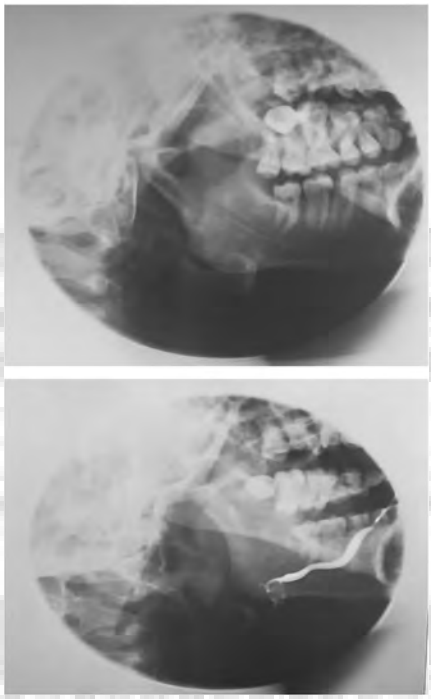
صورة لأشعة سينية للجهاز البولي مع استخدام صبغة (مواد التباين)، استخدام صبغة التباين في التصوير بالأشعة السينية، يجعل المنطقة أكثر إشراقًا، أو بياضًا على صورة الأشعة السينية التقليدية، أو الصورة الرقمية؛ وذلك لأن صبغة التباين أكثر كثافة من الأنسجة المحيطة؛ مما يسمح لها بامتصاص مزيد من الأشعة السينية، وتبدو أكثر بياضًا في الصورة. يمكن أن يساعد هذا التباين بين الصبغة والأنسجة المحيطة على إبراز الأوعية الدموية، أو الأعضاء، أو الهياكل الأخرى التي يصعُب رؤيتها على الأشعة السينية العادية. تصوير المسالك البولية عن طريق الوريد (IVU) يساعد الصبغة على تحديد الأجزاء المرئية المختلفة من الجهاز البولي في الصور، بما في ذلك: الكلى، والحالب، والمثانة، والإحليل، ويساعد التصوير أيضًا في تقييم حجم الكلى، وشكلها، وموقعها، ووجود عدم تناسق، أو شذوذ في الشكل أو الحجم قد يشير إلى وجود مشكلة مثل: عيوب في عملية ملء المثانة، أو عدم انتظام، أو تمدد في الحوض الكلوي والحالب، وكذلك وجود أي علامات للعدوى.

التصوير المقطعي السيني التقليدي



تصوير مقطعي تقليدي للعمود الفقري تظهر فيه آفة عظمية مدمرة في الجزء العلوي من العمود الفقري الصدري، تقنية التصوير الإشعاعي تنتج صورًا مقطعية مفصلة للعمود الفقري عن طريق التقاط صور متعددة بالأشعة السينية من زوايا مختلفة. يمكن أن يكون مفيدًا في تشخيص وتقييم حالات العمود الفقري المختلفة، مثل: الكسور، وأمراض القرص التنكسية، وأورام العمود الفقري. يستلقي المريض في أثناء التصوير المقطعي التقليدي للعمود الفقري، ويتحرك أنبوب الأشعة السينية في حركة خطية حول الجسم. يتم التقاط صور الأشعة السينية على فترات زمنية محددة، ويتم تجميعها لإنتاج صورة ثنائية الأبعاد للعمود الفقري تركز على مجال الاهتمام. يمكن أن يوفر التصوير المقطعي التقليدي للعمود الفقري صورة أكثر تفصيلًا للعمود الفقري من الأشعة السينية القياسية؛ مما يسمح بتقييم هياكل العمود الفقري، مثل: الفقرات والأقراص الفقرية، والحبل الشوكي. يمكن أن يساعد أيضًا على تحديد التشوهات، أو الإصابات التي قد لا تكون مرئية في الأشعة السينية القياسية.

التصوير التنظيري الفلوري



صورة فحص بالتصوير التنظيري وهو التصوير اللُّعابي الفلوري الذي يتم فيه تصوير الغدد اللعابية باستخدام عامل التباين، والأشعة السينية، يتم استخدامه بشكل شائع لتقييم مشكلات الغدد اللعابية وتشخيصها، مثل: الالتهاب، أو الانسداد، أو الأورام. يتم في أثناء الإجراء، حقن عامل التباين في قناة الغدة تحت الفك السفلي، ويتم التقاط صور الأشعة السينية بينما يتدفق عامل التباين عبر الغدة وقنواتها، إذا كان هنالك حصوات موجودة، فسيظهر بمثابة مشكلة في عملية الملء في الصور؛ مما يشير إلى أن عامل التباين لا يمكن أن يتدفق بعد العائق (الحصوات). يمكن أن يساعد تصوير اللعاب بالتنظير التألقي المتخصصين في الرعاية الصحية على تحديد حجم حصوات الغدة، وعددها، وموقعها تحت الفك السفلي.

- **الأشعة المقطعية**

إضافة إلى الخطوات التي تم ذكرها سابقًا في تصوير الأشعة السينية، يمكن إضافة بعض الخطوات الإضافية، حيث تتطلب قراءة الصور المقطعية (التصوير المقطعي) أسلوبًا منهجيًا لتحديد جميع المعلومات المهمة وتحليلها. وفيما يأتي بعض الخطوات التي قد تساعد على قراءة صور التصوير المقطعي المحوسب:

أ ـ **مراجعة تفاصيل الدراسة:** التحقق من معلومات المريض، ونوع الفحص والمؤشرات الخاصة بدراسة التصوير المقطعي؛ للتأكد من الحصول على الصور الصحيحة.

ب ـ **تحديد التشريح:** تحديد الأعضاء، أو الهياكل المرئية في الصور، ومقارنتها بمرجع التشريح الطبيعي.

ج ـ **تقييم الحجم والشكل:** يجب تقييم حجم الأعضاء وشكلها، أو الهياكل المرئية في الصور، والبحث عن أي عدم انتظام قد يشير إلى وجود مشكلة.

د ـ **تقييم الكثافة وتكوين العضو:** تقييم الكثافة والتكوين للأعضاء، أو الهياكل المرئية في الصور، والبحث عن أي مناطق ذات كثافة متزايدة، أو منخفضة، أو نسيج غير طبيعي قد يشير إلى وجود شذوذ.

هـ ـ **البحث عن تحسين التباين (الصبغة):** يجب استخدام التصوير المحسَّن بالتباين لتقييم وجود مادة التباين وتوزيعها في الأعضاء، أو الهياكل المرئية في الصور.

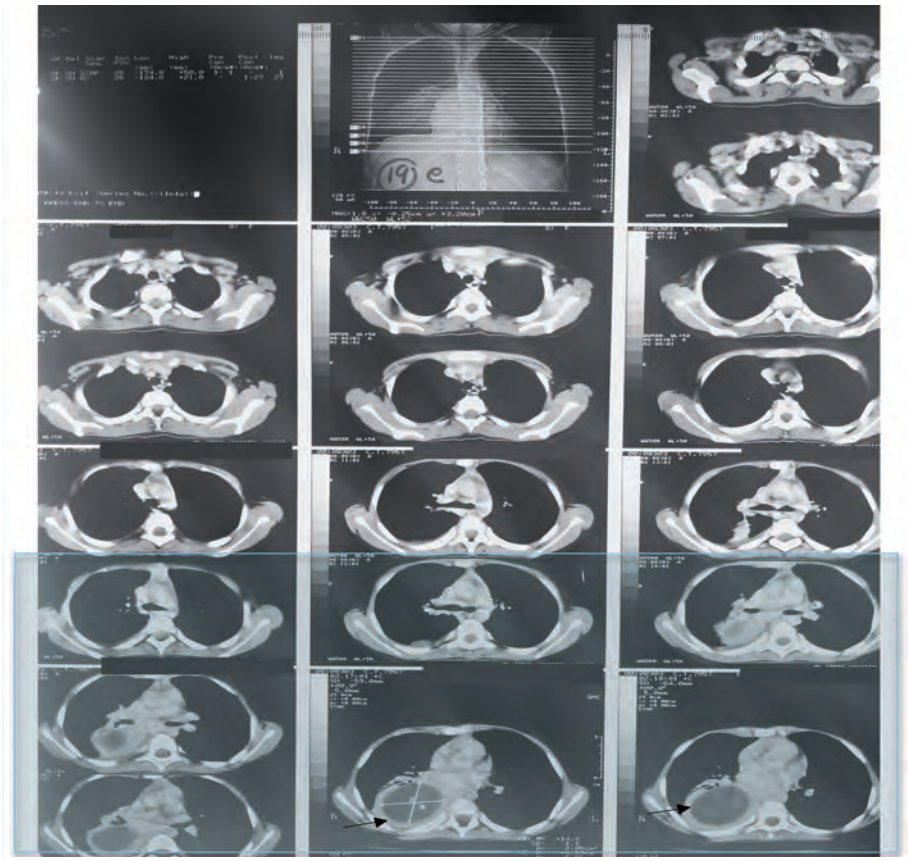
و ـ **البحث عن التشوهات:** البحث عن أي كتل، أو آفات، أو تشوهات أخرى قد تكون موجودة في الأعضاء، أو الهياكل المرئية في الصور وتقييم مدى التشوهات من خلال تحديد موقعها، وحجمها، ومداها، ومقارنتها بالدراسات السابقة.

ز ـ **تقييم الأوعية الدموية:** فحص الأوعية الدموية بحثًا عن أي تشوهات، مثل: تمدد الأوعية الدموية، أو انسدادها.

ح ـ **فحص الرئتين:** يجب تقييم الرئتين بحثًا عن أي تشوهات، مثل: مناطق التوحيد، أو انخماص الرئة.

ط ـ تقييم الدماغ: فحص الدماغ بحثًا عن أي تشوهات، مثل: الأورام، أو النزف، أو علامات السكتة الدماغية.

ي ـ فحص البطن والحوض: فحص البطن والحوض بحثًا عن أي تشوهات، مثل: الكتل، أو تجمُّعات السوائل.



صور مقطعية لمنطقة الصدر (حالة المريض)، يمكن هنا رؤية المرض الذي تم اكتشافه بالأشعة السينية، وبشكل أكثر دقة يمكن من خلال الأشعة المقطعية تحديد حجم الورم ومدى تأثيره في الجسم والأعضاء المجاورة.
وتشير الأشعة إلى أن منطقة كبيرة من أنسجة الرئة أصبحت صلبة، وعادةً يكون ذلك؛ بسبب تراكم السوائل، أو القيح، أو الدم، أو المواد الأخرى، وتظهر المنطقة كثيفة ومعتمة، ويمكن أن يختلف حجم الورم اعتمادًا على السبب الأساسي، وقد يتراوح من أورام صغيرة إلى أورام كبيرة منتشرة يمكن أن تشمل معظم الرئة أو جميعها.

الأشعة غير المؤينة

- **صور السونار العادية**

يمكن من خلال التصوير بالموجات فوق الصوتية إجراء عدة قياسات لتقييم حجم الغدة وخصائصها وأي عقيدات قد تكون موجودة مثل: قياس الحجم الكلي للغدة الدرقية عن طريق حساب حجمها، وعادة ما يتم حسابها باستخدام الصيغة البيضاوية (الطول × العرض × الارتفاع × 0.524)، وقياس طول كل فص من الغدة الدرقية، وعرضه، وارتفاعه بشكل منفصل؛ لتقييم أي عدم تناسق أو تضخم. في حالة وجود العقيدات، يمكن قياس حجمها، وشكلها، وموقعها، يقاس قطر العقدة عادة في بُعْدين، ويمكن حساب الحجم باستخدام الصيغة البيضاوية، كما يمكن أيضًا تقييم صدى الغدة الدرقية وأي عقيدات باستخدام الموجات فوق الصوتية. يشير الصدى إلى مقدار الصوت المنعكس في المسبار، والذي يمكن استخدامه لتقييم نسيج الأنسجة. يمكن استخدام الفحص بالموجات فوق الصوتية (دوبلر) لتقييم تدفق الدم إلى الغدة الدرقية، وأي عقيدات يمكن أن توفر معلومات حول خطر الإصابة بالأورام الخبيثة، تختلف القياسات المحددة التي يتم إجراؤها في أثناء التصوير بالموجات فوق الصوتية للغدة الدرقية اعتمادًا على إشارة الفحص، وتفضيلات الطبيب المترجم، أو اختصاصي الموجات فوق الصوتية، ومن المهم ملاحظة أنه في حين أن هذه القياسات يمكن أن توفر معلومات قيمة، فإنه يجب دائمًا تفسيرها في سياق التاريخ السريري للمريض ونتائج التصوير الأخرى.

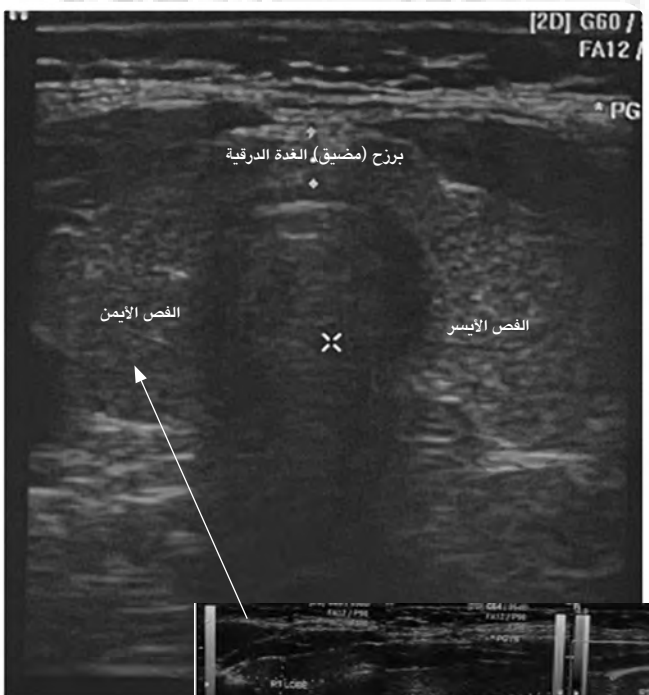
من المهم أن نلاحظ أن تفسير صور الموجات فوق الصوتية يتطلب مهارة عالية وتدريبًا على يد اختصاصي طبي مؤهل وذي خبرة، مثل: طبيب اختصاصي الأشعة، أو طبيب اختصاصي الموجات فوق الصوتية، وهما الأفضل أداءً لذلك، ويتضمن تحليل صور الموجات فوق الصوتية عدة خطوات، بما في ذلك الحصول على الصور، وتفسيرها، وإعداد التقارير. فيما يأتي بعض الخطوات العامة التي يمكن اتباعها:

أ ـ **الحصول على الصور:** باستخدام مُعدات الموجات فوق الصوتية المناسبة وإعداداتها يمكن الحصول على صور عالية الجودة، فمن الضروري التأكد من أن الصور واضحة، وأن الهياكل التشريحية ذات الأهمية يتم تصورها بشكل كافٍ.

ب ـ تفسير الصورة: يتم مراجعة صور الموجات فوق الصوتية بشكل منهجي وشامل، مع ملاحظة أي تشوهات، أو تغييرات في الهياكل التشريحية، والانتباه إلى صدى الأنسجة، والأعضاء، وحجمها، وشكلها، ووجود أي تجمعات، أو كتل سائلة.

ج ـ تحديد أي تشوهات وقياسها: استخدام القياسات والحسابات لتحديد حجم أي تشوهات في الصور وموقعها، ويمكن أن تساعد هذه القياسات على تحديد شدة الحالة، وتتبُّع أي تغييرات بمرور الوقت.

د ـ المقارنة بالصور السابقة (إذا كانت متوفرة): إذا كانت هناك صور سابقة بالموجات فوق الصوتية متوفرة، فمن الواجب مقارنة الصور الحالية بها؛ لتحديد أي تغييرات حدثت بمرور الوقت.



إجراء تصوير بالموجات فوق الصوتية للغدة الدرقية.

عملية حساب وتقييم فص الغدة الأيمن

- **الرنين المغناطيسي**

يتطلب تحليل صور الرنين المغناطيسي فهمًا شاملًا لتقنيات التصوير بالرنين المغناطيسي والتشريح، ويجب أن يقوم به اختصاصي رعاية صحية مؤهل، مثل: اختصاصي الأشعة، أو تقني التصوير بالرنين المغناطيسي، ويتضمن تحليل صور الرنين المغناطيسي تقييمًا شاملًا لجودة الصور الفنية، بما في ذلك الدقة والتباين والآثار السلبية. وفيما يأتي بعض الخطوات الأساسية التي يجب اتباعها عند تحليل صور الرنين المغناطيسي:

أ ـ **الحصول على الصور:** باستخدام معدات وبروتوكولات التصوير بالرنين المغناطيسي المناسبة.

ب ـ **جودة الصورة:** تقييم الجودة الإجمالية للصور التي تشمل نسبة الإشارة إلى الضوضاء، والدقة المكانية، والتباين، يجب البحث عن أي تشويش، أو تشويه، أو مشكلات أخرى قد تؤثر في القيمة التشخيصية للصور.

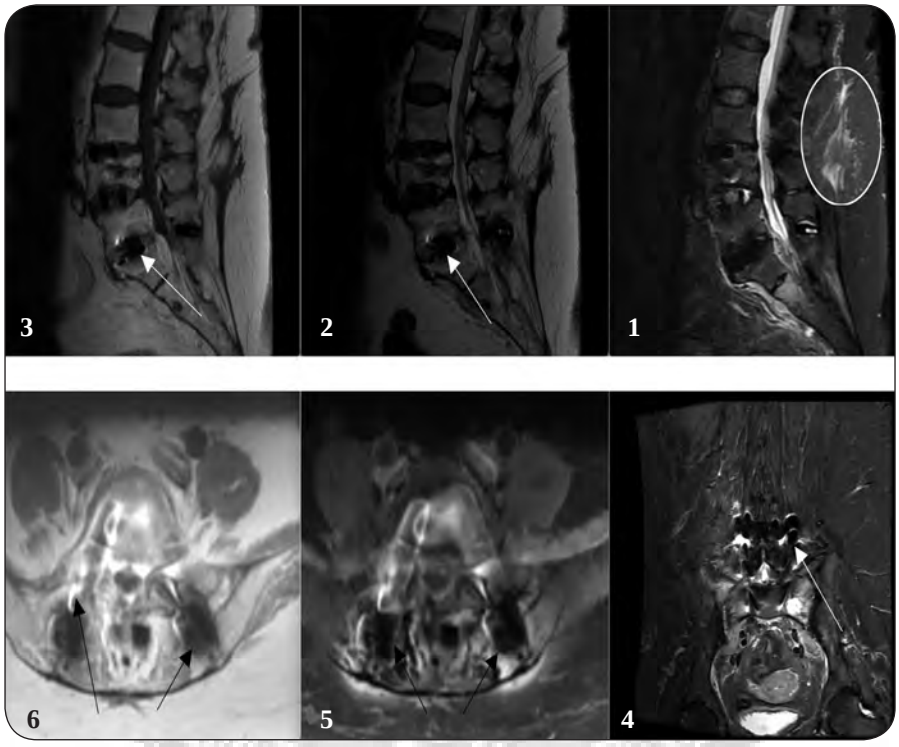
ج ـ **توجيه الشريحة والتغطية:** يجب التأكد من أن اتجاه الشريحة وتغطيتها مناسبان للإشارة السريرية للاختبار، كما يجب التأكد من أن جميع الهياكل والمناطق ذات الصلة قد تم تصويرها بشكل مناسب، وأنه لا توجد فجوات، أو تداخلات كبيرة في التغطية.

د ـ **تقييم الآثار السلبية:** وتشمل هذه الآثار السلبية الشائعة في التصوير بالرنين المغناطيسي تأثير الأعضاء المتحركة (القلب والرئة) وحركة الجسم، والآثار والمشكلات الفنية الصادرة من المزروعات المعدنية.

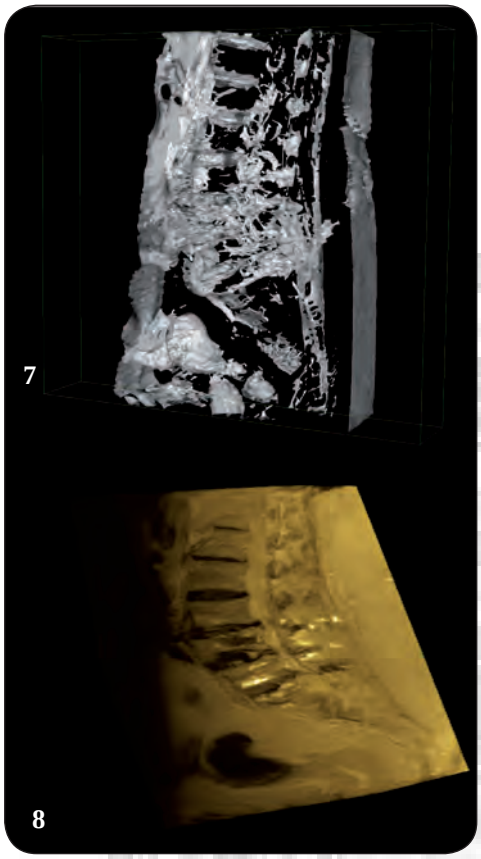
هـ ـ **المعالم التشريحية:** تحديد المعالم التشريحية على الصور، مثل: الأوعية الدموية، والأعضاء، والتراكيب العظمية. كما يجب التأكد من أن اتجاه الصور صحيح، وأن الهياكل التشريحية مرئية بوضوح.

و ـ **تفسير الصورة:** يجب مراجعة الصور بشكل منهجي وشامل، مع ملاحظة أي تشوهات، أو تغييرات في الهياكل التشريحية، والانتباه إلى كثافة الإشارة وحجمها، وشكل الأنسجة، والأعضاء، ووجود أي تجمعات أو كتل.

ز ـ تحديد أي تشوهات وقياسها: استخدام القياسات والحسابات لتحديد حجم أي تشوهات وموقعها، مثل: الكتل، أو الآفات، ومن ثم قياس شدة الإشارة وتباين الأنسجة للمساعدة على التمييز بين الهياكل الطبيعية، وغير الطبيعية.



فحص بالرنين المغناطيسي لمنطقة الظهر لتشخيص العمود الفقري. في الصور (1-3) عرض مقطعي للجسم من الجوانب (اليمين لليسار)، والصورة 4 عرض مقطعي من الأمام للخلف، والصورة (5-6) عرض مقطعي للجسم من الرأس للقدم. يُستخدم التصوير بالرنين المغناطيسي لتشخيص العمود الفقري القطني قبل الجراحة لتحديد تفاصيل الإجراء المطلوب، وبعدها لمتابعة النتائج والتأكد من نجاح العملية. قد تتأثر جودة الصور ببعض العوامل مثل: وجود المعادن أو التشوهات، لكن يمكن تحسينها بتقنيات خاصة. كما يساعد التصوير في اكتشاف المضاعفات المحتملة بعد الجراحة، مثل: تلف الأعصاب أو عدم استقرار الفقرات، والتي قد تتطلب تدخّلًا علاجيًا إضافيًا. إضافة إلى ذلك، يُستخدم الرنين المغناطيسي لمراقبة التعافي على المدى الطويل، خاصة في حالات استمرار الألم أو ظهور مشكلات جديدة مثل: الالتهابات، أو تكوّن أنسجة غير طبيعية؛ مما يسهم في تقديم العلاج المناسب، وتحسين حياة المريض.



شكل تصوير بالرنين المغناطيسي ثلاثي الأبعاد مع العظام ومن دونها.

الفصل الثالث

تقنيات التصوير الطبي العلاجي

يُطلق على الأشعة العلاجية أيضًا علاج الأورام بالإشعاع، أو العلاج الإشعاعي. يُستخدم الإشعاع بأشكال عديدة؛ لقتل الخلايا السرطانية ومنعها من التكاثر، ويمكن استخدام الأشعة العلاجية في علاج السرطان أو السيطرة عليه، أو يمكن استخدامه؛ لتخفيف بعض الأعراض المرتبطة به.

تم استخدام الأشعة العلاجية بعد بضع سنوات فقط من اكتشاف الأشعة السينية في عام 1895م، والراديوم في عام 1898م، وتم الإبلاغ عن أول علاج للسرطان عن طريق الإشعاع في عام 1899م، وقد اشتمل على حالة سرطان الجلد ليجعل من علاج الأورام بالإشعاع تخصصًا طبيًا في عام 1922م، ويمكن استخدام العلاج الإشعاعي بمفرده، أو مع أنواع العلاج الأخرى مثل: الجراحة، والعلاج الكيميائي وغير ذلك باستثناء استخدامه لسرطان الخلايا القاعدية السطحي الصغير، كما يُعدّ التصوير عنصرًا أساسيًا في علاج أيٍّ من مرضى السرطان؛ لذلك يجب أن تكون مبادئ التصوير والمتطلبات المحددة لكل موقع ورم مفهومة بوضوح.

يُطلق على مقدمي الرعاية الصحية الذين يستخدمون الأشعة العلاجية اختصاصي علاج الأورام بالإشعاع، أو مصوري العلاج الإشعاعي، حيث إنهم مختصون بتشغيل مُعدات معقدة وعالية التقنية لتقوم بإجراء تخطيط المرضى وعلاجهم، ويقرر اختصاصي العلاج الإشعاعي مقدار الإشعاع ونوعه الذي يجب استخدامه بناءً على نوع السرطان، وموقع الورم، وحساسية الأنسجة المحيطة به.

سنلقي في هذا الفصل نظرة واضحة على دور اختصاصي العلاج، ودور هذا التخصص في رحلة علاج المرضى. كما سيتم شرح ما يمكن أن يتوقعه الشخص من العلاج الإشعاعي، والأنواع المختلفة للعلاج الإشعاعي، بما في ذلك: كيفية عملها، والآثار الجانبية لها، والمخاطر، والنتيجة المُحتَمَلة من العلاج.

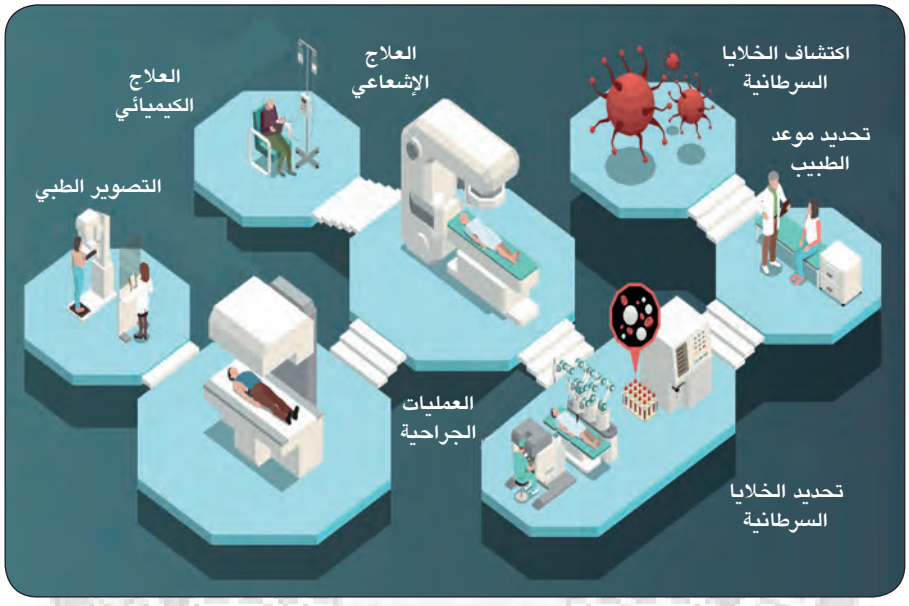
دور التصوير في العلاج الإشعاعي

كان التصوير بالأشعة السينية متاحًا بعد وقت قصير من اكتشاف الأشعة السينية بواسطة العالم رونتجن (Rontgen) في عام 1895م، والجدير بالذكر أنه على الرغم من التحسينات التقنية في إنتاج صور الأشعة السينية العادية وزيادة فهم استخدام مواد التباين، فقد استغرق الأمر ما يقارب ثمانين عامًا للتطورات التي حدثت في التصوير لتظهر باعتبارها تطبيقات عملية في المراكز الطبية المختلفة، ومنذ ذلك الحين تواصلت التحديثات على مبدأ التصوير السيني الأساسي، ولُوحظ أكثرها في التصوير المقطعي المحوسب، وهو الأكثر تطورًا وسرعة، ومن ثَمَّ التوسُّع التدريجي للتصوير بالرنين المغناطيسي (MRI)، وتقنيات التصوير الجزيئي، والتصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني/ التصوير المقطعي المحوسب (^{18}F-FDG PET/ CT) في تخطيط العلاج الإشعاعي.

ما نتج من هذه التغييرات التكنولوجية الهائلة هو أنه أصبح للتصوير الطبي دور واسع النطاق في مراحل علاج المريض، وعقب هذا الإجراء يجب متابعة المريض، وسيتضح أن للتصوير دورًا محوريًا في اكتشاف الأورام الخبيثة والأمراض، ما قد ينتج عنه إجراء جراحي، أو تصوير موجه بالأشعة لتأكيد طبيعة المرض، ومن بعد ذلك تقييم النطاق الكامل لهذا الاكتشاف، وتحديد مرحلة المرض من خلال تقييم مسارات الانتشار المباشر واللمفاوي والدموي، وتُعد مرحلة تحديد المرض أمرًا بالغ الأهمية لتحديد رحلة العلاج أو المراحل اللاحقة، ومن ثَمَّ فمن الضروري إجراء التصوير منذ البداية، وبالنسبة للمريض الذي يخضع للعلاج الإشعاعي، فإن التقييم الدقيق مع التصوير التشخيصي للورم المراد علاجه والأعضاء المحيطة المعرَّضة للخطر أمر بالغ الأهمية لتخطيط العلاج الإشعاعي (باستثناء أورام الجلد التي يمكن رؤيتها بسهولة)، ومن خلاله يتم تقدير منطقة الاهتمام كاملة مع تشريحها، ومدى مشاركة الهياكل، والأعضاء، والأنسجة المحيطة، كما أن مدى قرب الورم من الأعضاء الحيوية يُعدّ أمرًا ضروريًا جدًا لا يمكن معرفته بدقة إلا من خلال التصوير، والفحوص المناسبة.

بعد إتمام العلاج تعتمد الإدارة النهائية لرحلة علاج المريض على تقييم الاستجابة والمراقبة المستمرة للأورام وانتشارها، فمراكز السرطان الحديثة أصبح لديها مجموعة متطورة من طرق التصوير المتاحة لكل مريض لتقديم معلومات مُفصَّلة عن التوزيع

التشريحي والخصائص الفيزيولوجية للورم المعني، ومدى استجابته لعلاج الإشعاع، ويتمثل التحدي هنا في تحسين استخدام كل طريقة للحصول على المعلومات الأكثر دقة وموثوقية باستخدام هذه التكنولوجيا المتاحة.



شكل يوضح المراحل التي يخوضها المريض عند اكتشاف خلايا سرطانية بالجسم.

كيفية استخدام العلاج الإشعاعي في علاج الأورام السرطانية الخبيثة والأمراض

مبدأ العلاج بالإشعاع

العــلاج الإشعاعـي أو الأشعة العلاجية، واختصاره بـ RT أو RTX أو XRT) (Radiotherapy، هو علاج يستخدم الإشعاع المؤيِّن الذي يتم توفيره بشكل عام باعتباره جزءًا من علاج السرطان للسيطرة على الخلايا الخبيثة، أو قتلها، ويتم توصيله عادةً بواسطة معجِّل خطي، وقد يكون العلاج الإشعاعي علاجيًا لعدة أنواع من السرطان إن كان موضعيًا، وفي منطقة واحدة من الجسم، ويمكن استخدامه أيضًا باعتباره

جزءًا من العلاج المساعد، ولمنع تكرار الورم بعد إجراء الجراحة لإزالة الورم الخبيث الأولي (على سبيل المثال: المراحل المبكرة من سرطان الثدي). وأيضًا يمكن أن يُعدّ العلاج الإشعاعي متآزرًا مع العلاج الكيميائي، حيث يمكن أن يُستخدَم قبل العلاج الكيميائي، أو في أثنائه، أو بعده.

ويتم تطبيق العلاج الإشعاعي بشكل شائع على الورم السرطاني؛ بسبب قدرته على التحكم في نمو الخلايا، حيث يعمل الإشعاع المؤيَّن عن طريق إتلاف الحمض النووي للأنسجة السرطانية؛ مما يؤدي إلى موت الخلايا، ولمنع تعرّض الأنسجة الطبيعية للإشعاع (مثل: الجلد، أو الأعضاء التي يجب أن يمر للإشعاع من خلالها لعلاج الورم)، يتم توجيه حزم الإشعاع المتشكلة من عدة زوايا لتعريض الورم للإشعاع من الاتجاهات كافة؛ مما يوفر جرعة مُمتصة كبيرة في منطقة المرض بالمقارنة بالأنسجة السليمة المحيطة. إلى جانب الورم نفسه قد تشمل مجالات الإشعاع أيضًا تصريف الغدد اللمفاوية إذا كانت مرتبطة إكلينيكيًا (سريريًا) أو إشعاعيًا مع الورم، أو إذا كان هناك خطر انتشار إن كان الورم خبيثًا. كذلك من الضروري ضم جزء من الأنسجة الطبيعية المحيطة بالورم للتأكد من عدم وجود تحوُّلات في هذه الأنسجة، أو في بعض الحالات يكون هنالك إحساس بعدم اليقين؛ بسبب حركة الجسم الداخلية (على سبيل المثال: التنفس) ومن ثَمَّ تحرُّك مكان الورم، ومن الشائع أيضًا الجمع بين العلاج الإشعاعي والجراحة، أو العلاج الكيميائي، أو العلاج الهرموني، أو العلاج المناعي، أو خليط من الأربعة. يمكن علاج معظم أنواع السرطان الشائعة بالعلاج الإشعاعي بإحدى هذه الطرق، أو بخليط منها، ويعتمد مبدأ العلاج بالإشعاع على استخدام حزم طاقة مكثفة للقضاء على الخلايا السرطانية، وبما أن جسم الإنسان تتحكم الجينات في كيفية نمو خلاياه وانقسامها، فالإشعاع هو طاقة يحملها تيار من الجسيمات لإتلاف الجينات (DNA) في الخلايا، وعندما يتلف الإشعاع جينات الخلايا السرطانية، فإنها لا تستطيع النمو والانقسام، ومع مرور الوقت يؤدي عدم الانقسام إلى موت الخلايا، وهذا يعني أنه يمكن استخدام الإشعاع لقتل الخلايا السرطانية، وتقليص الأورام. وتُعدّ مرحلة دورة الخلية مهمة؛ لأن الإشعاع عادة يقتل الخلايا التي تنقسم بنشاط، ولا يعمل بسرعة كبيرة على الخلايا في مرحلة الراحة، أو التي تنقسم بمعدل أقل (الخلايا السليمة) وتؤثر كمية الإشعاع ونوعه الذي يصل إلى الخلية وسرعة نمو الخلية في مدى سرعة موت الخلية أو تلفها، فيُعطى مصطلح

الحساسية الراديوية للخلايا التي يكون لها احتمالية تلف بالإشعاع (يستهدفها الإشعاع)، ولأن الخلايا السرطانية تميل إلى الانقسام بسرعة النمو خارج نطاق السيطرة، يقتل العلاج الإشعاعي الخلايا السرطانية التي تنقسم، ويؤثر ذلك أيضًا في الخلايا المنقسمة للأنسجة الطبيعية؛ مما قد يؤدي إلى ضرر الخلايا الطبيعية، فيسبب ذلك آثارًا جانبية سلبية على جسم المريض، ولتفادي ذلك بأعلى قدر يوازن العلاج الإشعاعي دائمًا ما بين تدمير الخلايا السرطانية وتقليل الضرر الذي يلحق بالخلايا الطبيعية. كما أن الإشعاع لا يقتل الخلايا السرطانية، أو الخلايا الطبيعية على الفور، فقد يستغرق الأمر أيامًا أو حتى أسابيع من العلاج حتى تبدأ الخلايا بالموت، وقد تستمر في الموت لعدة أشهر بعد انتهاء العلاج، وغالبًا ما تتأثر الأنسجة التي تنمو بسرعة، مثل: الجلد، ونخاع العظام، وبطانة الأمعاء، على الفور. في المقابل تُظهِر أنسجة الأعصاب، والثدي، والدماغ، والعظام تأثيرات لاحقة؛ لهذا السبب قد لا تظهَر الآثار الجانبية للعلاج إلا بعد فترة طويلة من انتهاء مرحلة العلاج.

أنواع الإشعاع

يمكن تصنيف الإشعاع المؤيَّن إلى نوعين رئيسيين: إشعاع الفوتون (الأشعة السينية، وأشعة جاما)، وإشعاع الجسيمات (مثل: الإلكترونات، والبروتونات، والنيوترونات، وأيونات الكربون، وجسيمات ألفا، وجزيئات بيتا). بعض أنواع الإشعاع المؤين لديها طاقة أكثر من الأخرى، وكلما زادت الطاقة، زادت قدرتها على اختراق (دخول) الأنسجة، ويسمى الإشعاع المستخدم في علاج السرطان بالإشعاع المؤيَّن لأنه يُشكِّل أيونات (جزيئات مشحونة كهربائيًا) في خلايا الأنسجة التي يمر بها، وتنتج هذه الأيونات عن طريق إزالة الإلكترونات من الذرات والجزيئات، وهذا ما يمكِّنها من أن تقتل الخلايا أو تغيِّر الجينات بحيث تتوقف الخلايا عن النمو، تُعتبر الطريقة التي يتصرف بها كل نوع من أنواع الإشعاع مهمة في التخطيط للعلاجات الإشعاعية. يقوم اختصاصي علاج الأورام بالإشعاع (طبيب مُدرب خصيصًا لعلاج السرطان بالإشعاع) باختيار نوع الإشعاع الأكثر ملاءمة لنوع سرطان كل مريض وموقعه.

ويُعدّ شعاع الفوتون عالي الطاقة أكثر أشكال الإشعاع شيوعًا المستخدمة في علاج السرطان، وهو نوع الإشعاع نفسه المُستخدَم في أجهزة الأشعة السينية، ويأتي من مصدر مُشع مثل: الكوبالت، أو السيزيوم، أو آلة تسمى المعجِّل الخطي

(Linear Accelerator/ LINAC - لیناك). تؤثر حزم الطاقة الفوتونية في الخلايا على طول مسارها خلال مرورها عبر الجسم للوصول إلى السرطان، ثم الخروج من الجسم، كما يتم أيضًا إنتاج حزم الإلكترون أو حزم الجسيمات بواسطة المعجِّل الخطي، وتُعدّ الإلكترونات أجزاءً سالبة الشحنة من الذرات لديها مستوى طاقة منخفض، ولا يتغلغل بعمق في الجسم، لذلك يُستخدَم هذا النوع من الإشعاع في أغلب الأحيان لعلاج الجلد، وكذلك الأورام والغدد اللمفاوية القريبة من سطح الجسم، وكذلك حزم البروتون التي هي شكل من أشكال إشعاع حزمة الجسيمات. كما أن البروتونات هي أجزاء موجبة الشحنة من الذرات، وتُطلِق طاقتها فقط بعد السفر لمسافة مُعيَّنة، وتسبب ضررًا طفيفًا للأنسجة التي تمر بها، وهذا يجعلها جيدة جدًا في قتل الخلايا في نهاية مسارها؛ لذلك يُعتقد أن حزم البروتونات قادرة على إيصال مزيد من الإشعاع إلى السرطان مع إحداث ضرر أقل للأنسجة الطبيعية القريبة. يُستخدم العلاج الإشعاعي بحزمة البروتون بشكل روتيني لأنواع معينة من السرطان، ولكن ما تزال بحاجة إلى مزيد من الدراسة في علاج الأنواع الأخرى، حيث إنها تتطلب مُعدَّات عالية التخصص، وليست متاحة على نطاق واسع. يمكن لبعض التقنيات المستخدمة في العلاج بالبروتون أن تعرِّض المريض أيضًا للنيوترونات.

تُستخدم حزم النيوترونات في بعض سرطانات الرأس، والرقبة، والبروستاتة لعلاج بعض الأورام غير الصالحة للإجراء الجراحي، ويكون النيوترون عبارة عن جسيم في عديد من الذرات ليس له شحنة. يمكن أن يساعد إشعاع الحزمة النيوترونية في بعض الأحيان عندما لا تعمل أشكال أخرى من العلاج الإشعاعي، وقليل من المراكز الطبية التي تقدمه، وقد انخفض الاستخدام جزئيًا؛ لأنه قد يكون من الصعب استهداف الحزم بشكل فعَّال؛ لأن النيوترونات يمكن أن تلحق الضرر بالحمض النووي أكثر من الفوتونات، فإن التأثيرات في الأنسجة الطبيعية يمكن أن تكون أكثر حدة، وأخيرًا إشعاع أيون الكربون يُعدّ مفيدًا في علاج السرطانات التي لا تستجيب عادةً بشكل جيد للإشعاع (تسمى السرطانات المقاومة للإشعاع) يُطلق عليه أيضًا الإشعاع الأيوني الثقيل؛ لأنه يستخدم جسيمًا أثقل من البروتون أو النيوترون. والجُسيم هو جزء من ذرة الكربون التي تحتوي نفسها على البروتونات، والنيوترونات، والإلكترونات، ونظرًا لكونها ثقيلة جدًا، يمكن أن تُلحق ضررًا بالخلية المستهدفة أكثر من أنواع الإشعاع الأخرى. كما هو الحال مع البروتونات، يمكن

تعديل شعاع أيونات الكربون؛ لإحداث أكبر قدر من الضرر للخلايا السرطانية في نهاية مسارها. لكن التأثيرات في الأنسجة الطبيعية القريبة يمكن أن تكون أكثر حدة، وهذا النوع من الإشعاع متوفر فقط في عدد قليل من المراكز في العالم، ويتم إنتاج جسيمات ألفا وبيتا بشكل أساسي من مواد مُشعة خاصة يمكن حقنها، أو ابتلاعها، أو وضعها في الجسم، ويتم استخدامها غالبًا في اختبارات التصوير، ولكن يمكن أن تكون مفيدة في علاج السرطان.

أهداف العلاج الإشعاعي

تعتمد أهداف العلاج الإشعاعي على نوع السرطان ومدى انتشاره، ويمكن إعطاء العلاج الإشعاعي بمفرده، أو بمثابة جزء من خطة العلاج التي تتضمن علاجات مختلفة، وتتضمن بعض طرق استخدام العلاج الإشعاعي ما يأتي:

- علاجًا أساسيًا، غالبًا ما يكون الهدف من العلاج الإشعاعي هو التخلص من جميع أنواع السرطان بالجسم، ومنعها من العودة مرة أخرى.
- إعطاء العلاج الإشعاعي قبل العلاجات الأخرى، مثل: الجراحة؛ لتقليص حجم الورم الكبير، وهذا ما يسمى "العلاج الإشعاعي المساعد الجديد".
- إعطاء العلاج الإشعاعي لتدمير أي خلايا سرطانية متبقية، وهذا ما يسمى "العلاج الإشعاعي المساعد".
- استخدام العلاج الإشعاعي للتخفيف من علامات السرطان وأعراضه، وهذا ما يسمى "العلاج الإشعاعي الملطف".

يمكن استخدام العلاج الإشعاعي لعلاج عديد من أنواع السرطان المختلفة، وإحصائيًا يتلقى أكثر من نصف المصابين بالسرطان بعض العلاج الإشعاعي، فبالنسبة لبعض أنواع السرطان، فيُعدّ العلاج الإشعاعي وحده علاجًا فعَّالًا، وتستجيب أنواع السرطان الأخرى بشكل أفضل لمجموعة من العلاجات، كما يمكن أيضًا استخدام العلاج الإشعاعي لعلاج السرطان الراجع والسرطان النقيلي، والسرطان الراجع هو السرطان الذي يعود بعد العلاج، أما السرطان النقيلي فهو السرطان الذي انتشر إلى أجزاء أخرى من الجسم.

العلاج الإشعاعي وإمكانيته في التسبب في الإصابة بسرطانات إضافية

تم تأكيد الصلة بين الإشعاع والسرطان منذ سنوات عديدة من خلال دراسات الناجين من القنابل الذرية في اليابان، وتعرُّض بعض العاملين في وظائف تختص بالإشعاع (بشكل مستمر، أو متقطع)، وكذلك مرضى السرطان، أو أمراض أخرى تم علاجهم بالإشعاع، وترتبط بعض حالات اللوكيميا بالتعرُّض للإشعاع في الماضي. يتطور معظمها في غضون بضع سنوات من التعرُّض للعلاج الإشعاعي، فمع بلوغ الخطر ذروته في (5-9) سنوات، ينخفض ببطء، كما وُجد أن أنواع السرطان الأخرى التي تظهر بعد التعرُّض للإشعاع تستغرق وقتًا أطول لتظهر، وهذه سرطانات أورام صلبة، مثل: سرطان الثدي، أو الرئة، ولا يُرى معظمها لمدة عشر سنوات على الأقل بعد التعرُّض للإشعاع، ويتم تشخيص بعضها حتى بعد أكثر من 15 عامًا.

وخلال العقود القليلة الماضية، تحسَّنت تقنيات العلاج الإشعاعي بشكل مُطرد. فأصبحت العلاجات الآن تستهدف السرطانات بشكل أكثر دقة، كما أنه مع انتشار العلم والمعرفة تم التعرُّف بشكل أكبر على حجم الإشعاع، وجرعاته، وكميته التي يجب أن يتلقاها المريض، ومن المتوقع أن تقلل هذه التطورات من عدد السرطانات الثانوية التي تنتج عن العلاج الإشعاعي، وبشكل عام يُعدّ خطر الإصابة بالسرطان الثاني منخفضًا، ويجب موازنته مقابل الفوائد المُكتَسَبة من العلاج الإشعاعي.

أنواع العلاج الإشعاعي

العلاج الإشعاعي الحديث هو عملية معقَّدة متعددة الخطوات، تعمل على تحسين الميزات للمسرِّع الخطي الحديث، ومؤخرًا، تم تطوير آلات العلاج بالجزيئات لتوصيل جرعة عالية من الإشعاع إلى الورم مع تقليل التعرُّض للأعضاء المحيطة المعرَّضة للخطر، ومن ثَمَّ ضمان تلقي المرضى معالجة دقيقة قابلة للتكرار، ويعتمد نوع الإشعاع الذي يوصي به الطبيب على نوع السرطان، وحجم الورم، وموقعه، والصحة العامة للشخص. وقد يساعد العلاج الإشعاعي على تحقيق أهداف العلاج المختلفة، على سبيل المثال: قد يعزز من فعالية الجراحة، أو يساعد على منع انتشار السرطان، أو يخفف من أعراض السرطان المتقدم.

يعتقد معظم الناس أن العلاج الإشعاعي يأتي من آلة خارج الجسم، ولكن يمكن إعطاء العلاج الإشعاعي بعدة طرق، ففي بعض الأحيان يتم إعطاء الإشعاع بأكثر من طريقة في وقت واحد، أو يمكن إعطاء أنواع مختلفة من الإشعاع واحدة تلو الأخرى. تتضمن بعض الطرق التي يمكن بها تقديم الإشعاع ما يأتي: العلاج الإشعاعي الخارجي، والمعالجة الكثبية، أو الإشعاع الداخلي، والمستحضرات الصيدلانية الإشعاعية.

شكل يوضح المراحل التي يخوضها مريض السرطان في رحلة العلاج.

العلاج الإشعاعي الخارجي

هو المصدر الموثوق والأكثر شيوعًا لعلاج السرطان، وتعني كلمة الخارجية أن حزم الطاقة تأتي من آلة خارج الجسم، ويقوم اختصاصي الرعاية الصحية بتوجيه الحزم بدقة لتخترق الجسم وتصل إلى موقع السرطان، والاسم الآخر للإشعاع الخارجي هو العلاج عن بُعد، وتشمل أنواع العلاج الإشعاعي ما يأتي:

العلاج بالبروتون: يَستخدِم هذا العلاج حزمة من البروتونات لتوصيل الإشعاع مباشرة إلى الورم، ويتوافق شعاع البروتون مع شكل الورم وعمقه مع

الحفاظ على الأنسجة والأعضاء السليمة، ويُستخدَم؛ لعلاج سرطانات البروستاتة، والرئة، والرأس، والرقبة، والكبد، والمريء، والدماغ، وكذلك لعلاج الأورام اللمفاوية، وسرطانات الأطفال، والأورام النادرة الأخرى.

المسرِّع الخطي للتصوير بالرنين المغناطيسي: يستخدم لتتبع الأورام القائمة على الأنسجة الرخوة في الوقت الفعلي في أثناء إجراء الإشعاع؛ مما يسمح بالتحكم في الوقت الحقيقي في حزمة الإشعاع في أثناء العلاج، ويوفر هذا القدرة على تكييف إيصال الإشعاع حسب الحاجة في كل علاج، وتُستخدم هذه التقنية في عديد من أنواع السرطان التي تحتوي على مكوِّن من الأنسجة الرخوة، مثل: سرطانات الرأس، والعنق، وسرطان الجهاز الهضمي.

العلاج الإشعاعي بالتوجيه التجسيمي (Stereotactic Body Radiation Therapy; SBRT): هذا النوع من الإشعاع له حزمة إشعاع أضيق؛ مما يسمح لنا باستهداف الورم بدقة كبرى، وقد يكون هذا النوع خيارًا جيدًا للمرضى غير المرشحين للجراحة، ويمكن استخدامه لمجموعة متنوعة من أنواع السرطان، بما في ذلك سرطان الرئة، وسرطان البنكرياس، وسرطان الكبد، والسرطانات التي انتشرت في العظام.

الجراحة الإشعاعية التجسيمية (Stereotactic radiosurgery; SRS): وهي ليست جراحة في الواقع، فبدلاً من ذلك تُستخدَم العشرات من حزم الإشعاع الصغيرة لعلاج الأورام في الرأس والرقبة بجرعة إشعاع واحدة، تُستخدم سكين جاما لعلاج السرطان الذي انتشر في الدماغ، أو الرأس، أو منطقة الرقبة، وكذلك الأورام في قاعدة الجمجمة، والأورام الدبقية الخبيثة، والأورام العصبية الصوتية، وأورام الغدة النخامية، والأورام السحائية.

قبل الانتهاء من خطة العلاج الإشعاعي، يراجع الطبيب التاريخ السريري للمريض، وتقاريره، ودراسات التصوير لتحديد العلاج الإشعاعي الأمثل لكل مريض، ونظرًا لأن كل خطة علاج مخصصة، فمن المهم مناقشة خيارات العلاج الإشعاعي مع الطبيب قبل بدء العلاج.

شكل يوضح الطريقة التي يتم فيها علاج المريض باستخدام جهاز الأشعة العلاجي.

العلاج الإشعاعي الداخلي

العلاج الإشعاعي الداخلي هو النوع الرئيسي الثاني من العلاج الإشعاعي، والمعروف أيضًا باسم العلاج الإشعاعي الموضعي، وخلال هذا العلاج يضع الطبيب غرسة تحتوي على إشعاع في موقع السرطان، أو بالقرب منه. تأتي الغرسات بأشكال مختلفة تشمل:

- آلة النفخ.
- الأسلاك.
- كبسولة.
- بذورًا مشعة.
- الكريات المشعة.

تستخدم العلاجات الإشعاعية الداخلية مصدرًا مشعًا في موقع السرطان، أو بالقرب منه، وتشتمل على ثلاثة أنواع شائعة كما يأتي:

المعالجة الكثبية: هي مادة مُشعة يتم زرعها في الجسم، ويتم وضع العشرات من "البذور" الصغيرة التي تحتوي على اليود المُشع في موقع الورم بإبرة خاصة،

أو قسطرة. يتم ذلك الإجراء للمرضى الخارجيين، وتُستخدَم المعالجة الكثبية لعلاج سرطان البروستاتة، وعنق الرحم، وبطانة الرحم، والمهبل، وسرطان الثدي.

العلاج الإشعاعي في أثناء إجراء الجراحة (Intraoperative Radiation Therapy): يُستخدم لعلاج الورم المكشوف في أثناء إجراء جراحة السرطان، ويقدم هذا النوع جرعة عالية من الإشعاع إلى منطقة العلاج المعرَّضة جراحيًا، وتتم حماية الأعضاء والأنسجة السليمة المحيطة بواسطة دروع من الرصاص. كما يمكن استخدام هذا النوع من الإشعاع في بعض أنواع سرطانات الجهاز الهضمي وأنواع السرطان الأخرى التي يصعب إزالتها في أثناء إجراء الجراحة.

العلاج الإشعاعي الداخلي المؤقت: يمكن إعطاء هذا النوع من العلاج الإشعاعي عن طريق الإبرة، عبر أنبوب يُسمى القسطرة، ومن خلال أدوات تطبيق خاصة، ويبقى الإشعاع في الجسم في أي مكان من بضع دقائق إلى بضعة أيام. يتلقى معظم الناس العلاج الإشعاعي الداخلي لبضع دقائق فقط، وفي بعض الأحيان يمكن إعطاء العلاج الإشعاعي الداخلي في وقت أطول، وإذا كان الأمر كذلك فسيبقى المريض الذي بصدد هذا الإجراء في غرفة خاصة للحدّ من تعرُّض المرضى الآخرين للإشعاع.

العلاج الإشعاعي الجهازي

تشمل خيارات العلاج الإشعاعي الأخرى ما يأتي:

العلاج الإشعاعي في أثناء إجراء الجراحة: (Intraoperative radiation therapy) يقدم هذا العلاج الإشعاعي للورم في أثناء إجراء الجراحة باستخدام العلاج الإشعاعي الخارجي، أو الإشعاعي الداخلي، ويُسمَح للجراحين بنقل أو إزاحة الأنسجة السليمة بعيدًا عن منطقة الإشعاع؛ حتى لا تتضرر في أثناء العلاج الإشعاعي، ويكون هذا العلاج مفيدًا عندما تكون الأعضاء الحيوية قريبة من الورم.

العلاج الإشعاعي الجهازي: في هذا النوع من العلاج الإشعاعي يبتلع المرضى جرعة أو يتلقون حقنة من مادة مُشعة تستهدف الخلايا السرطانية. تخرج المادة المُشعة من الجسم عن طريق البول، واللُّعاب، والعرق، وتُعدّ هذه السوائل مُشعة، ويجب على الأشخاص الذين هم على اتصال وثيق بالمريض اتخاذ تدابير السلامة التي يوصي بها فريق الرعاية الصحية، ومثال على العلاج الإشعاعي الشامل: هو العلاج باليود المُشع (RAI؛ I-131) لسرطان الغدة الدرقية.

العلاج المناعي الإشعاعي: هذا النوع من العلاج يستخدم الأجسام المضادة أحادية النسيلة، وهي بروتينات تنجذب إلى علامات محددة جدًا على السطح الخارجي للخلايا السرطانية؛ لتوصيل الإشعاع مباشرة إلى الأورام، ولأن العلاج يستخدم هذه الأجسام المضادة الخاصة يكون تأثيرها أقل في الأنسجة الطبيعية المحيطة. مثال على ذلك: زيفالين (Zevalin)، أو إبريتوموماب (Ibritumomab) الذي يُستخدَم في علاج بعض الأورام اللمفاوية.

تقنيات العلاج الإشعاعي المُستخدَمة في المراكز الطبية

تطورت تقنيات العلاج الإشعاعي من التخطيط ثنائي الأبعاد إلى التقنيات الحديثة عالية الدقة مثل: العلاج الإشعاعي معدَّل الشدَّة (Intensity Modulated Radiotherapy)، والعلاج الإشعاعي الموجه بالصور (Image Guided Radiotherapy)، والعلاج الإشعاعي المقطعي، والعلاج الإشعاعي بالقوس المعدَّل الحجمي (Volumetric Modulated Arc Therapy)، والعلاج الإشعاعي التكيُّفي، والعلاج الإشعاعي بالبروتونات. يتم أيضًا دمج طرق التصوير مثل: الأشعة السينية المجسَّمة، والأشعة المقطعية، والتصوير بالرنين المغناطيسي مع آلات العلاج؛ لضمان دقة وصول العلاج للمنطقة المراد علاجها، وكثيرًا ما تُستخدَم أربعة أنواع من العلاج الإشعاعي عندما يكون الورم قريبًا من الأعضاء الحساسة، كما يمكن استخدامها لعلاج عديد من أنواع السرطان:

- يستخدم العلاج الإشعاعي المطابق ثلاثي الأبعاد (3DCRT) عمليات مسح ثلاثية الأبعاد لتحديد الشكل الدقيق للورم وحجمه، وتتشكل الحزم الإشعاعية من خلال أوراق معدنية صغيرة مرتبة لتناسب الورم، وهذا يقلل من الآثار الجانبية للأنسجة السليمة، وشهدت عديدٌ من أنواع السرطان نتائج محسّنة، بما في ذلك سرطان الدماغ، والرأس، والعنق، والكبد، والرئة، وسرطان البروستاتة.
- يتتبع العلاج الإشعاعي الموجه بالصور (IGRT) الورم أو العلامات المزروعة في أثناء الإشعاع، ويُعالج هذا النوع من الإشعاع الأورام في مناطق الجسم التي تتحرك، ويشمل ذلك كلًا من: سرطانات الرئتين، والكبد، والبنكرياس، وغدة البروستاتة، إضافة إلى الأورام الموجودة بالقرب من الأعضاء والأنسجة المهمة.

- يوفر العلاج الإشعاعي معدَّل الشدة (IMRT) عدة حزم إشعاعية مباشرة على الورم، ويستخدم فريق الخبراء لدينا برنامج تخطيط خاص لتقليل الجرعة إلى الأنسجة الطبيعية المحيطة، وغالبًا ما يُستخدَم هذا النوع من الإشعاع عندما يكون الورم قريبًا جدًا من الأعضاء الطبيعية المحيطة.
- يُستخدَم العلاج بالقوس الحجمي المعدَّل (VMAT) حزمًا إشعاعية متعددة بكثافة مختلفة، وفي أثناء دوران آلة المعالجة، يتم توصيل الإشعاع من كل زاوية. ويسجل تركيز هذا النوع من العلاج أعلى جرعة من الإشعاع على الورم، مع تقليل الإشعاع على الأعضاء السليمة، ويمكن استخدام العلاج بالقوس الحجمي المعدل لعلاج عدة أنواع من الأورام الصلبة، بما في ذلك سرطان البروستاتة، وسرطان الكبد، وسرطان البنكرياس.

عملية تلقي العلاج الإشعاعي

في أثناء العلاج الإشعاعي سيتم رعاية المريض من خلال فريق من المهنيين الطبيين، وقد يشمل بعض الأشخاص في هذا الفريق ما يأتي: اختصاصي علاج الأورام بالإشعاع وهو طبيب مدرَّب خصيصًا لعلاج السرطان بالإشعاع، وسيتخذ هذا الطبيب عديدًا من القرارات المتعلقة بالعلاج، ويتأكد الفيزيائي الإشعاعي من أن جهاز الإشعاع يعمل بالطريقة التي ينبغي لها، وأنه يقدم جرعة الإشعاع التي يصفها الطبيب، ويساعد اختصاصي الجرعات الطبيب في التخطيط، وحساب العدد المطلوب من العلاجات، ويشرف الفيزيائي الإشعاعي على اختصاصي قياس الجرعات، ويقوم المعالج الإشعاعي، أو تقني العلاج الإشعاعي بتشغيل مُعِدات الإشعاع ويضع المريض للعلاج، وممرض العلاج الإشعاعي هو ممرض مسجل حاصل على تدريب خاص في علاج السرطان، وسيكون قادرًا على تزويد المريض بمعلومات حول العلاج الإشعاعي، ونصائح حول كيفية التعامل مع أي آثار جانبية قد تكون لديه، وقد يحتاج المريض أيضًا إلى خدمات اختصاصي تغذية، أو اختصاصي علاج طبيعي، أو عامل اجتماعي، أو طبيب أسنان، أو طبيب أورام أسنان، أو غيره من متخصصي الرعاية الصحية.

إجراءات السلامة بعد تلقي العلاج الإشعاعي

- في أثناء العلاج الإشعاعي الخارجي، لا يطلق المريض أي إشعاع بعد جلسات العلاج، أي: يبقى الإشعاع في غرفة العلاج فقط.
- في أثناء العلاج الإشعاعي الداخلي، يتسبب هذا النوع في إطلاق المريض للإشعاع؛ ونتيجة لذلك يجب على الزوار (أهل المريض، أو المرافقين) اتباع إجراءات السلامة الآتية ما لم يتم إعطاء الطبيب أو اختصاصي العلاج الإشعاعي توجيهات أخرى:
  1. عدم زيارة المرضى في حالات الحمل، أو القُصَّر (أقل من 18 عامًا).
  2. البقاء ما لا يقل عن ستة أقدام بعيدًا عن سرير المريض.
  3. توقيت الزيارة لمدة 30 دقيقة، أو أقل يوميًا.
- الغرسات المُشعَّة، فهي تظل بعد مغادرة المريض المستشفى لمدة شهرين، ولهذا السبب يجب ألا يتصل المريض بالأطفال أو الحوامل أكثر من خمس دقائق. وبالمثل، يجب على الأشخاص الذين يعالجون بالعلاج الإشعاعي الجهازي اتباع تدابير السلامة الشائعة في الأيام القليلة الأولى بعد العلاج مثل:
  1. غسل اليدين جيدًا بعد استخدام المرحاض.
  2. استخدام أوانٍ منفصلة ومناشف خاصة.
  3. شرب كثير من السوائل؛ لطرد المواد المشعة المتبقية من الجسم.
  4. تجنُّب النشاط الجنسي.
  5. محاولة تجنُّب ملامسة الرُّضَّع، والأطفال، والحوامل.

الجديد في العلاج الإشعاعي

الطرق الجديدة لتقديم العلاج الإشعاعي تجعله أكثر أمانًا وفعالية، ويتم فعليًا استخدام بعض هذه الأساليب، بينما يحتاج بعضها الآخر إلى مزيد من الدراسة قبل

الموافقة عليها للاستخدام على نطاق واسع، ويواصل العلماء في جميع أنحاء العالم البحث عن طرق فضلى ومختلفة لاستخدام الإشعاع لعلاج السرطان، وفيما يأتي بعض المجالات ذات الاهتمام البحثي الحالي:

- يُستخدم ارتفاع الحرارة لعلاج السرطان (Hyperthermia): تم اكتشاف أن الحرارة تقتل الخلايا السرطانية، لكنها لا تدمر الخلايا الكافية لعلاج السرطان عند استخدامها بمفردها، وتتم دراسة الحرارة الناتجة عن الموجات الدقيقة والموجات فوق الصوتية جنبًا إلى جنب مع الإشعاع، ويبدو أنها تعمل على تحسين فعالية الإشعاع.
- العلاج بالأكسجين عالي الضغط (Hyperbaric Oxygen Therapy): يتكون العلاج بالأكسجين عالي الضغط من تنفس أكسجين نقي في حُجرة مُحكَمة الغلق ومضغوطة بمقدار (1-3) مرات من الضغط الجوي الطبيعي؛ مما يساعد على زيادة حساسية أنواع معينة من السرطان للإشعاع، كما يتم اختباره لمعرفة ما إذا كان بإمكانه عكس بعض الأضرار التي لحقت بأنسجة الجسم الطبيعية؛ بسبب الإشعاع.
- محسّسات إشعاعية (Radiosensitizers): تُعدّ أجهزة التحسس الإشعاعي مجالًا متناميًا في علاج السرطان، ويواصل الباحثون البحث عن مواد جديدة تجعل الأورام أكثر حساسية للإشعاع من دون التأثير في الأنسجة الطبيعية.
- مواد الحماية من الإشعاع (Radioprotectors): هي عبارة عن مواد تحمي الخلايا الطبيعية من الإشعاع، وتكون هذه الأدوية مفيدة عندما يكون من الصعب عدم تعريض الأنسجة الطبيعية الحيوية للإشعاع عند علاج الورم، مثل: منطقة الرأس، والرقبة، وأصبح بعض واقيات الأشعة، مثل: أميفوستين (Ethyol®) قَيد الاستخدام بالفعل، بينما تتم دراسة بعضها الآخر في التجارب السريرية.

الفصل الرابع

تطبيقات التصوير الطبي داخل جناح العمليات الجراحية

بفضل اكتشاف رونتجن للتصوير العرضي للأشعة السينية، فإنه قد مكَّن الأطباء والاختصاصيين الطبيين من مشاهدة الأعضاء كافة بالجسد وتشريحها الداخلي، ومن دون الحاجة إلى التدخلات الجراحية، ومنذ البداية أضحى من الواضح أن التصوير بالأشعة السينية سيكون أيضًا ذا فائدة كبيرة في مجال الجراحة والعمليات الطبية، وبعد ما يقارب ثمانية أيام فقط من نشر ورقة رونتجن الأولى عن التصوير بالأشعة السينية، أجرى ج. كلايتون أول تدخل جراحي موجه بالصور الإشعاعية عندما استخدم بصمة بروميد للأشعة السينية لإزالة إبرة خياطة من يد امرأة، ومنذ هذا التطور الكبير بدأ اختصاصيو الرعاية الصحية بالاعتماد على معلومات التصوير الطبي عالية الجودة في أجنحة العمليات الجراحية. ومن أكثر الأمور التي يتم تطبيق تصوير الأشعة فيها هو تتبع الأدوات داخل الجسم في الوقت الفعلي، فلا يؤدي التصوير بالأشعة السينية إلى تحسين الجودة العملية فقط من خلال السماح بمزيد من الدقة، ولكنه يقلل أيضًا من الحاجة إلى مزيد من الإجراءات الجراحية التي قد تنطوي على أخطار كبيرة، وتُستخدَم تقنيات التصوير الطبي في عديد من التطبيقات الجراحية مثل: جراحة العظام، والمسالك البولية، والأوعية الدموية، والعمود الفقري.

في هذا الفصل سيتم شرح تطبيقات التصوير الطبي في عمليات الجراحة وتبعات استخدام هذه التقنيات مع فوائدها ومخاطرها على كلٍّ من المريض والعاملين الصحيين، مع إلقاء نظرة على التطلُّعات المستقبلية لهذه التقنيات في عالم الجراحة الطبية.

الأشعة السينية في غرفة العمليات

لمعرفة مدى التطور الذي وصل له العلم في الوقت الحاضر، من الضروري شرح كيف كانت العمليات تُجرى للمرضى مسبقًا مع وجود التصوير الطبي، حيث إنه كان إجراءً ينطوي على أخطار. في الأيام الأولى من استخدام تقنية الأشعة السينية في غرفة الجراحة كانت الأمور مختلفة تمامًا، ففي الثلاثينيات من القرن الماضي كانت العمليات تُجرى بوجود كابلات عالية الجهد لمُعدات الأشعة السينية، حيث تمر عبر الغرفة من دون عزل، ومن ثَمَّ تعرُّض الموظفين ليس فقط لخطر الحوادث الكهربائية، ولكن يمكن أن تولِّد أيضًا شرارًا عند دمجها مع بعض أدوية التخدير من مثل: الإيثر الذي كان من أكثر الطرق شيوعًا للتخدير في ذلك الوقت، ينتج عنها حدوث انفجارات في غرفة العمليات في أثناء إجراء الجراحة، وقد يعتقد بعض الناس أن حدوث انفجار في غرفة العمليات قد يكون كافيًا لمنع استخدام الأشعة السينية في العمليات الجراحية، ولكنه ليس السبب الوحيد الذي جعل تقنية الأشعة السينية تستغرق وقتًا أطول لتصبح راسخة في غرفة العمليات، فسابقًا كان لإجراء عملية ناجحة يجب أن يكون الطبيب قادرًا على رؤية أكبر قدر ممكن من مكان الجراحة؛ مما يعني أنه يجب إضاءة منطقة العملية بشكل ساطع، كانت هذه مشكلة عندما يتعلق الأمر بمراقبة العمليات باستخدام التنظير الفلوري؛ وذلك بسبب ضعف الصورة الفلورية للغاية لدرجة أنه كان لا بد من تعتيم غرفة العمليات تمامًا، أو لجوء الأطباء إلى استخدام وسائل مساعدة، مثل: نطاقات التشفير (Crypto-scopes)، و تستغرق هذه الطرق مدة تتراوح ما بين (15-45) دقيقة لتتكيف عيون الأطباء مع الظلام قبل كل فحص بالأشعة حتى يتسنى لهم تحديد الهياكل الدقيقة في صورة التنظير الفلوري. لم يتلق الأطباء تعزيزات إلا في منتصف الخمسينيات من القرن الماضي على شكل جهاز يمكنه تكثيف صور الأشعة السينية، وسمحت الأجهزة للأطباء بتمييز التفاصيل في الصورة الفلورية حتى في وضح النهار؛ مما قلل بشكل كبير من الوقت اللازم للفحوص التي تتطلب أيضًا حوالي ثلث جرعة الإشعاع السابقة.

كذلك تم تطوير وحدات التنظير الفلوري المحمولة لتسهيل عمل الأطباء في غرفة العمليات، حيث تم إرفاق مكثف الصورة بشكل دائم بأنبوب الأشعة السينية في بناء تمت الإشارة إليه، بسبب شكله، باسم الذراع -C، أو (C-ARM). ومن مميزاته أن يكون مكثف الصورة وأنبوب الأشعة السينية دائمًا في الوضع المثالي بالنسبة

لبعضهما، فمن خلال تدوير الذراع وتحريكها في اتجاهات عديدة، يمكن للأطباء اختيار أفضل وضع للفحص في جميع الأوقات، وعند النظر لهذا التطور، نجد أن إدخال مكثف الصورة يمثل نقطة تحوُّل محوري أدى لاختراق تقنية الأشعة السينية لغرفة العمليات بشكل كبير.

من الشائع حاليًا استخدام التصوير الإشعاعي في الإجراءات الجراحية في غرفة العمليات، وقد يظن بعض الناس أنه قد لا تكون هنالك حاجة لرؤية ما بداخل الجسم في أثناء إجراء الجراحة، وهذا هو الحال في بعض الأحيان، ولكن في أحيان أخرى قد تمتد المنطقة التي يتم علاجها إلى ما بعد الشق الجراحي. على سبيل المثال: يمكن وضع قضيب مصنوع من الفولاذ الجراحي أسفل منتصف عظمة الساق بعيدًا عن المنطقة التي تم فيها كسر الساق، وهنا مطلوب التصوير الشعاعي، أو التنظير الفلوري لتقييم موضع القضيب، وفي حالات أخرى يمكن استخدام أداة جراحية لسبر ما هو غير مرئي، ولربما مر بعض الأشخاص بحوادث الجراحة (على الرغم من ندرة حدوثها) عندما تُترك أداة جراحية داخل المريض، وتجنبًا لذلك يتم إجراء عدّ دقيق لجميع الأدوات بعد الانتهاء من إجراء الجراحة، وغالبًا ما يوفر التصوير الشعاعي الإجابة إذا كان هناك شيء لا يمكن حسابه، وتسمح خدمات التصوير الجراحي للأطباء والجراحين برؤية الصور الداخلية للجسم، بما في ذلك العظام والأعضاء، قبل إجراء العمليات الجراحية وفي أثنائها، حيث تساعد هذه الصور في تقليل المخاطر والتعافي السريع.

غرفة العمليات والتصوير الطبي

يسمح علم الأشعة للجراحين بتتبع الأدوات داخل الجسم في الوقت الفعلي؛ مما يُحدث فرقًا حاسمًا في عملية العلاج، ولا يعمل التصوير بالأشعة السينية على تحسين جودة العملية فقط من خلال توفير دقة كبيرة، ولكنه يقلل أيضًا من الحاجة إلى مزيد من الإجراءات الجراحية التي قد تنطوي على أخطار أكثر حدة. كما تساعد الأشعة التداخلية على عديد من التطبيقات الجراحية مثل: جراحة العظام، والمسالك البولية، والأوعية الدموية، والعمود الفقري. على سبيل المثال: يفتح التصوير الطبي إمكانيات جديدة لجراحة القلب والأوعية الدموية، مثلا: يُستخدَم عند إدخال الصمام الأورطي عبر القسطرة (Transcatheter Aortic Valve Insertion) (هو إجراء

دقيق يتم لتوسيع الصمام الأورطي للقلب، وتحسين تدفق الدم) فمن دون التصوير بالأشعة السينية يكون هذا الأمر مستحيلاً، وفي أثناء هذا الإجراء تلتقط صورة الأشعة السينية المستمرة تشريح المريض وحركاته الدقيقة؛ مما يساعد الجراح على توجيه الصمام الاصطناعي الجديد بعناية إلى القلب باستخدام قسطرة.

هنالك عدة أنواع من غرف العمليات التي يمكن فيها استخدام طرق التصوير المتنوعة، ولكن قبل أن نتمكن من فهم معنى كل نوع سواءٌ أكان مختلطًا أو متكاملًا أو رقميًا، فإننا نحتاج إلى فهم إعداد غرفة العمليات الأساسية التي هي غرفة العمليات التقليدية غير المتكاملة. أولا: قبل بدء الإجراء الجراحي يجب توفير بيانات ما قبل إجراء الجراحة لكل حالة مريض، وتكون البيانات متاحة إما على الورق أو رقميًا على أجهزة مختلفة لا تتصل ببعضها، ويتم ترتيب آلات وغرفة العمليات ومُعداتها في جميع أنحاء الغرفة؛ ليتم سحب الأجهزة الفردية أو دفعها للخلف حسب الحاجة، ويعمل اختصاصي التصوير مع معدات التصوير لضبط كل جهاز حسب طلب الجراح. وتوجد الكابلات والأسلاك في كل مكان على الأرض؛ مما يسهل التعثر، أو سحب السلك الأساسي في أثناء إجراء الجراحة، أو إتلاف الجهاز.

ولكن في وقتنا الحالي ومع تقدم التطورات العلمية، تم إضافة أنظمة تكامل غرفة العمليات لمعالجة هذه المشكلات، إذ يمكن للمستشفى اختيار نوع غرفة العمليات بأن تكون مختلطة (الهجينة)، أو متكاملة، أو رقمية الأجهزة، وعلى الرغم من أنها قد تبدو متشابهة، فإن الاختلافات تكمُن في كيفية عمل التكنولوجيا والبيانات معًا. بشكل عام تهدف غرف العمليات الهجينة، أو المتكاملة، أو الرقمية إلى تحسين السلامة للتأثير بشكل إيجابي في نتائج المرضى وتبسيط سير عمل الفريق الجراحي. وسنستعرض فيما يأتي وصفًا مبسطًا لكل غرفة عمليات:

غرفة العمليات الهجينة أو المختلطة

عادة ما تعتمد متطلبات غرفة العمليات الهجينة على التصوير، مثل: التصوير المقطعي المحوسب، أو التصوير بالرنين المغناطيسي، أو الذراع – C (C-Arm)، أو أنواع التصوير الأخرى التي يتم إدخالها إلى الجراحة، بمعنى حصر التصوير في مساحة الجراحة أو بجوارها، وليس من الضروري نقل المريض في أثناء إجراء

الجراحة؛ مما يقلل من المخاطر المترتبة على الحركة، واعتمادًا على تصميم غرف العمليات في المستشفيات، إضافة إلى مواردها واحتياجاتها، يمكن بناء غرف تشغيل هجينة ثابتة أو متنقلة.

توفر غرف العمليات مع الأنظمة الثابتة ذات الغرفة الواحدة أقصى تكامل مع ماسح الرنين المغناطيسي الضوئي المتطور؛ مما يسمح للمريض بالبقاء في الغرفة، وهو ما زال مخدرًا في أثناء الفحص. في تكوينات غرفتين أو ثلاث غرف، يجب نقل المريض إلى غرفة مجاورة لإجراء المسح؛ مما يزيد من خطر عدم الدقة من خلال الحركة المُحتَملة للنظام المرجعي للعملية.

أما في غرف العمليات مع الأنظمة المتنقلة، فإنه يبقى المريض في مكانه ويتم إحضار نظام التصوير له، حيث يقدم هذا النوع من الغرف مزايا مختلفة، مثل: المرونة في استخدام التصوير في غرف عمليات متعددة، فضلًا عن التكاليف المنخفضة بشكل عام، ولكنها قد لا توفر جودة الصورة العليا التي يمكن أن يوفرها نظام التصوير الثابت.

يعتمد مجال الجراحة الهجينة على غرف متعددة الأغراض مُجهزة لخدمة التخصصات الجراحية المختلفة، فمع وجود مزيد من الإجراءات المعقدة، فإن التصوير في أثناء إجراء العملية هو بالتأكيد مستقبل الجراحة، وتركز غرفة العمليات الهجينة بشكل عام على الجراحة الأقل توغلًا، وجراحة الأوعية الدموية. غالبًا ما يتم مشاركتها من خلال أقسام الجراحة المختلفة، وتشمل مزايا غرفة العمليات الهجينة عمليات مسح الجزء المصاب من الجسم الذي يتم إعادة توجيهه، ومراجعته، واستخدام المعلومة على الفور في غرفة العمليات، ويسمح هذا للجراح بمواصلة العمل بأحدث البيانات، على سبيل المثال: في منطقة عالية الخطورة مثل: الدماغ.

غرفة العمليات المتكاملة

تم تقديم غرف العمليات المتكاملة في أواخر التسعينيات، حيث أصبحت أنظمة توجيه الفيديو القادرة على توزيع إشارات الفيديو من كاميرا واحدة إلى مُخرجات، أو منتجات متعددة متاحة، وبمرور الوقت تطورت لتكون قادرة على الاتصال وظيفيًا في بيئة الجراحة، ويمكن لمعلومات المريض، والصوت، والفيديو، والجراحة، وأضواء الغرفة، والتشغيل الآلي للمبنى، والمُعدات المتخصصة، بما في ذلك أجهزة التصوير،

والتواصل مع بعضها. كما يمكن أن تشمل بعض الإعدادات ـ عند الاتصال ـ القدرة على التحكم بكل هذه الجوانب المختلفة من وحدة تحكم مركزية بواسطة مشغِّل واحد.

غرفة عمليات رقمية

تم في الماضي استخدام صندوق ضوئي على الحائط لعرض فحوص مريض غرفة العمليات، وأما الآن فيمكن استخدام غرفة عمليات رقمية وهي غرفة مُعدَّة ومخصصة يتم فيها إتاحة مصادر البرامج والصور والفيديو، ويتم بعد ذلك توصيل كل هذه البيانات وعرضها على جهاز واحد.

يعمل الإعداد في غرفة الجراحة باعتباره محورًا مركزيًا لبيانات الصور السريرية داخل غرفة العمليات ولتسجيل البيانات وجمعها وإعادة توجيهها إلى نظام تكنولوجيا المعلومات بالمستشفى، حيث يتم تخزينها مركزيًا، ويمكن للجرَّاح التحكم في البيانات الموجودة داخل غرفة الجراحة من شاشات محددة وفقًا للإعداد المرغوب فيه، ولديها أيضًا إمكانية عرض الصور من عديد من الأجهزة المختلفة.

اختصاصيو الأشعة الجراحية والفنيون

اختصاصي الأشعة التشخيصية أو المصور

غرفة العمليات الإشعاعية التي تتطلب عملية التصوير أو التدخل الإشعاعي تكون تجربة ديناميكية لكلٍّ من الطبيب الجرَّاح والاختصاصي، وتُعدّ التحديات التي يواجهها اختصاصي الأشعة في جناح الجراحة فريدة من نوعها، كما تُعدّ معرفة آلية التصوير وقدراتها وحدودها هي الأهم. وفي هذا الصدد يمكن لمصور الأشعة أن يدخل أي غرفة عمليات (Operating Room)، سواءٌ أكانت روتينية أو غير عادية، ومع التواصل الجيد يكون قادرًا على أداء جميع المهام بشكل جيد، ويمكن أن يكون التصوير الشعاعي الجراحي بيئة مليئة بالتحديات المثيرة لمصور الأشعة، ولكنه قد يكون أيضًا مخيفًا ومُجهدًا، وتتطلب الأشعة الجراحية وجود موظفين متعلمين وعلى دراية بمُعدات معينة يتم استخدامها بشكل روتيني في أثناء الإجراءات الجراحية الشائعة، ويتطلب خبرة في العمل الجماعي، ويُعدّ كلٌّ من الاستعداد والإلمام بالمعدات أمرين أساسيين، كما أنه يجب اتباع بروتوكولات الصحة والسلامة القياسية لتجنُّب التلوث، ولضمان سلامة المرضى.

طبيب الأشعة التداخلية

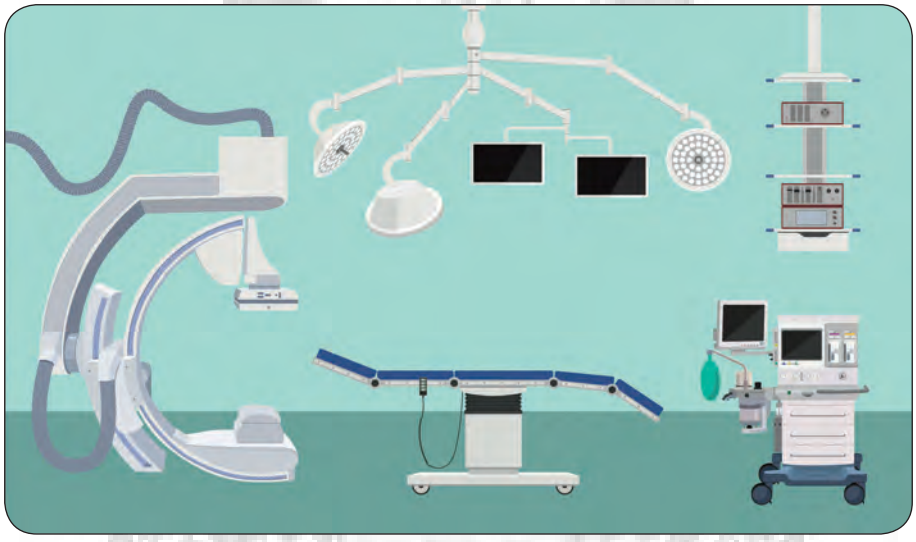
يستخدم اختصاصي الأشعة التداخلية الأشعة السينية، أو التصوير المقطعي المحوسب، أو التصوير بالرنين المغناطيسي، أو توجيهات التصوير الأخرى للتنقل بالأدوات الصغيرة، مثل: القسطرة والإبر، عبر الأوعية الدموية والأعضاء لعلاج مجموعة متنوعة من الأمراض، وتشمل الأمثلة على العلاجات التي يقدمها اختصاصي الأشعة التداخلية رأب الأوعية، والدعامات، وانحلال الخثرات، والانصمام، والاستئصال الحراري الموجه بالصور، والخزعات، ويمكن لهذه العلاجات طفيفة التوغل علاج تخفيف أعراض أمراض الأوعية الدموية، أو السكتة الدماغية، أو أورام الرحم الليفية، أو السرطان، كما يتم اللجوء لاختصاصي الأشعة التداخلية لقراءة الأشعة السينية والموجات فوق الصوتية، والتصوير المقطعي المحوسب، والتصوير بالرنين المغناطيسي، وأشكال أخرى من التصوير الطبي.

دور التصوير الإشعاعي وتقنياته في غرفة العمليات

التصوير التنظيري/ الأشعة السينية المحمولة

إن أفضل ما يتم استخدامه في هذا النوع من التصوير هو أذرع – C المتنقلة، كما أنها هي آلة التصوير المتعارف عليها في غرف العمليات في جميع أنحاء العالم، بغض النظر عن العلامة التجارية أو الطراز، وهي تقنية تصوير قياسية في عديد من مرافق جراحة العيادات الخارجية، فتُستخدم وحدات التصوير هذه بشكل شائع في إجراءات تقويم العظام، وإدارة الألم وطب الطوارئ، وهي تقنية طبية تسمح بالتقاط الصور داخل أجزاء الجسم في الوقت الفعلي، وفيها يُصدِر المولِّد أشعة سينية تخترق جسم المريض، ومن ثَمَّ يقوم مكثف الصورة أو الكاشف بتحويل الأشعة السينية إلى صور مرئية على شاشة العرض. أما خاصية ذراع – C (أو عنصر التوصيل) على شكل حرف (C) فتقوم بالحركة أفقيًا وعموديًا، أو حول محاور الدوران، بحيث يتم إنتاج صور الأشعة السينية للمريض من أي زاوية تقريبًا، وهكذا ينتقل جزء من الإشعاع إلى مكثف الصورة، ويمتص المريض بعضها، وينبعث بعضها الآخر على شكل إشعاع مبعثَر حول المريض وغرفة الجراحة، وهذا الأخير هو ما يعرِّض موظفي الرعاية الصحية في الغرفة لكميات كبيرة من الإشعاع، وبالأخص الذين يقومون

بعديد من الإجراءات يوميًا. ونظرًا لكونه شائعًا جدًا ويستخدم في عدة أنواع من الإجراءات، إضافة إلى نقص المعرفة، أو إدراك المخاطر المترتبة على التعرُّض المستمر للإشعاع، أو الإستراتيجيات الصحيحة للحماية من الإشعاع، يميل المتخصصون في الرعاية الصحية إلى التصرف بشكل غير رسمي حيال ذلك، والحقيقة هي أن التعرُّض للأشعة السينية الصادرة من الذراع قد يؤدي إلى الإصابة بالسرطان، والآثار الجانبية الأخرى والمضاعفات الصحية.



شكل غرفة العمليات مع جهاز التصوير (الذراع -C).

أشعة الأوعية الدموية والتداخلية (Vascular and Interventional Radiology)

منذ عام 1953م عندما وصف الدكتور سلدنجر (Sven-Ivar Seldinger) طريقة للوصول إلى الشرايين عن طريق الجلد باستخدام إبرة مجوفة، وسلك توجيه، وقسطرة، استمرت الأشعة التداخلية في التوسع، فتم تطوير تقنيات وأجهزة جديدة لتعزيز رعاية المرضى؛ مما أدى إلى استحداث تحسينات كبيرة في سلامة المرضى والتنوع الإجرائي، وتشمل إجراءات الأشعة التداخلية: تصوير الأوعية الدموية، والتدخلات التشخيصية والعلاجية التي تشمل أنظمة الشرايين والأوردة، ويمكن

اعتبار الأشعة التداخلية على أنها تخصص فرعي يتم فيه تنفيذ إجراءات طفيفة التوغل تحت توجيه الصور، ونظرًا لأن الأشعة التداخلية إجرائية أكثر وعملية، فإن أطباء الأشعة التداخلية يشاركون في رعاية المرضى أكثر من زملائهم في الأشعة التشخيصية. يقوم اختصاصي الأشعة التداخلية الآن بعديد من الإجراءات التي تم إجراؤها سابقًا جراحيًا وبالاستعانة بفريق الجراحة، وهي توفر كثيرًا على المرضى، فتقلل من عدد الوفيات وتداعيات الجراحة، كما تقلل من إقامة المريض في المستشفى.

تقنيات التصوير وإجراءات الأشعة التداخلية

الأشعة الجراحية تُستخدَم لتشخيص المرض وعلاجه بشكل غير جراحي بالكامل، وتعتمد تقنياتها على ممارسات متنوعة باستخدام إجراءات موجهة بالصور تكون طفيفة التوغل، ويتم تنفيذ الإجراءات التشخيصية والعلاجية عن طريق التدخل من خلال جرح جلدي، ومن ثَمَّ يتم استخدام التنظير الفلوري، أو الموجات فوق الصوتية، أو التصوير المقطعي المحوسب، أو التصوير بالرنين المغناطيسي للتوجيه. هذه الإجراءات التي يمكن تصنيفها على نطاق واسع، قد تكون مختصة بالأوعية الدموية (مثلاً: تصوير الشرايين والأوردة) وغير الأوعية الدموية (على سبيل المثال: تصريف الخرَّاجات، والكلى المسدودة، والقنوات الصفراوية)، كما يتم إجراؤها في جناح الأشعة التداخلية المعقَّمة تحت التخدير النصفي، أو الواعي، وغالبًا ما يتم إجراؤها في العيادة الخارجية، وقد تتطلب بعض الإجراءات داخل الأعضاء والأوعية الدموية الصبغة لتحسين الرؤية، ويُعد التباين غير الأيوني المعالَج باليود هو العامل الأكثر استخدامًا لتصوير الشريان، أو الوريد، أو القناة الصفراوية، أو الجهاز الهضمي، أو المسالك البولية. بدلًا من ذلك، ويمكن استخدام غاز ثاني أكسيد الكربون داخل الأوعية الدموية في المرضى الذين يعانون قصورًا كُلويًا، أو حساسية من عوامل التباين المعالجة باليود.

الإجراءات التداخلية الشائعة

كما ذُكر أن من مزايا الأشعة التداخلية إمكانية إجراء معظم الإجراءات في العيادة الخارجية، أو تتطلب إقامة قصيرة في المستشفى فقط، والتخدير العام غير مطلوب عادةً؛ مما يؤدي إلى تقليل المخاطر والألم ووقت التعافي بشكل كبير، كما تكون

الإجراءات في بعض الأحيان أقل تكلفة من إجراء الجراحة، أو البدائل الأخرى، ومع تقدُّم التكنولوجيا أصبحت مُعدات التصوير عالية الجودة متاحة على نطاق واسع، ويمكن للأشعة التداخلية أن تقدم للمرضى والأطباء خيارات علاجية جديدة متنوعة منها:

تصوير الأوعية الدموية: يُجرى فحص بالأشعة السينية للشرايين والأوردة لتشخيص الانسدادات، ومشكلات الأوعية الدموية الأخرى، وتُستخدَم قسطرة لدخول الأوعية الدموية، وعامل تباين (صبغة الأشعة السينية) لجعل الشريان، أو الوريد مرئيًا في الأشعة السينية.

رأب الوعاء بالبالون: وهو يفتح الأوعية الدموية المسدودة، أو الضيِّقة عن طريق إدخال بالون صغير جدًا في الوعاء ونفخه واستخدامه بواسطة الأشعة التداخلية؛ لفتح الشرايين المسدودة في الساقين، أو الذراعين (كما في حالة مرض الأوعية الدموية المحيطية/ Peripheral Vascular Disease-PVD) أو الكلى، أو الدماغ، أو أي مكان آخر في الجسم.

التصريف الصفراوي والدعامات: يُستخدَم فيه دعامة (أنبوب شبكي صغير) لفتح القنوات المسدودة، والسماح للصفراء بالتصريف من الكبد.

القسطرة الوريدية المركزية: يتم إدخال أنبوب تحت الجلد وفي الأوعية الدموية؛ حتى يتمكن المرضى من تلقي الأدوية، أو العناصر الغذائية مباشرة في مجرى الدم، أو يمكن من خلاله سحب الدم.

الانصمام الكيميائي: هو إيصال عوامل مكافحة السرطان مباشرة إلى موقع الورم السرطاني، يُستخدم حاليًا في الغالب؛ لعلاج سرطانات جهاز الغدد الصماء، بما في ذلك سرطان الجلد، وسرطان الكبد.

الانصمام: يتم فيه توصيل عوامل التخثر (لفائف، جزيئات بلاستيكية... إلخ) مباشرة إلى المنطقة التي تنزف، أو تمنع تدفق الدم إلى منطقة مصابة مثل: وجود تمدد الأوعية الدموية، أو ورم ليفي في الرحم.

قسطرة قناة فالوب: تُستخدَم قسطرة لفتح قناة فالوب المسدودة من دون إجراء جراحة، وعلاج العقم.

إدخال أنبوب التغذية: وذلك في المعدة للمرضى غير القادرين على تناول الطعام الكافي عن طريق الفم.

صيانة الوصول إلى غسيل الكُلى: استخدام رأب الأوعية، أو تحلُّل الخثرات لفتح الطعوم المسدودة لغسيل الكلى، وعلاج الفشل الكلوي.

خزعة الإبرة: هي اختبار تشخيصي لسرطان الثدي، والرئة، وأنواع أخرى من السرطان بديل للخزعة الجراحية.

الدعامة: يتم استخدام أنبوب مرن صغير مصنوع من البلاستيك، أو شبكة سلكية لعلاج الحالات الطبية المختلفة (على سبيل المثال: لفتح الأوعية الدموية المسدودة أو غيرها من المسارات التي قد تُصاب بالتضيُّق، أو الانسداد بسبب الأورام، أو العوائق).

ترقيع الدعامات: وذلك لتقوية الجزء المُمزق، أو المنتفخ من الشريان (تمدد الأوعية الدموية).

إذابة الجلطات الدموية: عن طريق حقن الأدوية التي تعمل على تكسير الجلطة في موقعها.

التحويلة البابية الجهازية: داخل الكبد عبر الوداجي/ (Trans Jugular Intrahepatic Portosystemic TIPS-Shunt) هي إجراء لإنقاذ الحياة، ولتحسين تدفق الدم، ومنع النزف في المرضى الذين يعانون اختلالاً وظيفيًا حادًا في الكبد.

انصمام الشريان الرحمي: إجراء انصمام للشرايين الرحمية لوقف النزف لحالات ما بعد الولادة الذي يهدد حياة الأم؛ مما قد يمنع استئصال الرحم، ويتم استخدام الإجراء نفسه لعلاج الأورام الليفية.

انصمام الورم الليفي الرحمي: إجراء انصمام لشرايين الرحم لتقليص الأورام الحميدة المؤلمة والمتضخمة في الرحم.

انصمام دوالي الخصية: هو علاج لتضخم الأوعية الدموية في كيس الصفن الذي يمكن أن يكون مصدرًا للألم والعقم.

علاج الدوالي الوريدية: تتقلص الأوردة المتضخمة في الساقين، والتي يمكن أن تكون مصدرًا للمضاعفات الطبية والتضييق التجميلي.

رأب العمود الفقري: يعالج الكسور المؤلمة والآفات الأخرى في العمود الفقري؛ لتوفير تخفيف أسرع للأعراض، والحماية من مزيد من التلف، أو الكسور.

الفصل الخامس

أخطار التعرُّض للأشعة (المؤيَّنة وغير المؤيَّنة)

كما ذُكر سابقًا: إن الإشعاع هو انبعاث الطاقة على شكل موجات كهرومغناطيسية، أو جسيمات دون ذرية (هي الجسيمات التي تشكل الذرات وهي أصغر من الذرة نفسها) متحركة. يأتي الإشعاع الطبيعي من عديد من المواد المشعة الطبيعية الموجودة في التربة، والماء، والهواء، والجسم. كل يوم يتعرض الناس لشكل من أشكال الإشعاع في الهواء، أو الغذاء، أو الماء، وإلى هذا اليوم تُعدّ آلات الأشعة السينية والمستحضرات الصيدلانية الإشعاعية المُستخدَمة في التشخيص، أو العلاج الإشعاعي، والأجهزة الطبية الأخرى، من المصادر الاصطناعية التي تُعتبر الأكثر شيوعًا لتعرُّض الإنسان للإشعاع، ويمكن أن ينتج التعرُّض للإشعاع عن مواقف طبيعية، أو مخططة (طبية أو مهنية) أو عرضية، وقد يكون خارجيًا، أو داخليًا (من خلال الاستنشاق، أو الابتلاع، أو الامتصاص عن طريق جرح ملوث) أو مزيجًا من الاثنين معًا.

قد يؤدي التعرُّض المفرط للإشعاع إلى تلف الأنسجة الحية والأعضاء، اعتمادًا على كمية الإشعاع التي يتلقاها المريض (أي: الجرعة). كما يعتمد مدى الضرر المحتمل على عدة عوامل، منها: نوع الإشعاع، وحساسية الأنسجة، والأعضاء المصابة، وطول وقت التعرُّض للأشعة، والنظائر المُشعة المعنية، وخصائص الشخص المعرَّض (مثل: العمر، والجنس) وعلى جرعة الإشعاع، وكلما زادت الجرعة، زادت أخطار الآثار الضارة. إذا كانت جرعة الإشعاع منخفضة، أو تم التعرُّض لها على مدى فترة طويلة من الزمن، فإن الخطر يكون أقل بكثير؛ لأن الضرر الذي يلحق بالخلايا والجزيئات سيتم إصلاحه بواسطة الجسم.

قد يظن بعض الناس أن أخطار الأشعة منوطة بالأشعة المؤيَّنة (وهذا بالفعل قد يكون صحيحًا)، وأن الأشعة غير المؤيَّنة تُعتبر آمنة نسبيًا، ولكن هنالك بعض الأمور التي يجب معرفتها عن تأثيرات أنواع الأشعة غير المؤينة البيولوجية المختلفة في الجسم.

في هذا الفصل سيتم التعرُّف على أخطار الأشعة المؤيَّنة وغير المؤيَّنة، وكيفية التعامل معها سواءٌ أكان من الناحية العملية التي يتعرض فيها اختصاصيو الأشعة للإشعاع، أو من الناحية العلمية التي يتم فيها حساب الأشعة التي يمكن أن يتعرَّض لها المريض، أو المرافق.

ملاحظات عامة في أساسيات التصوير الإشعاعي

تتبع إجراءات التصوير الطبي وطرقه تسلسلًا أو ترتيبًا عامًا ممكن سرده على النحو الآتي:

- الطرق أو الوسائل: ويتم فيها وصف التقنية لكل إجراء.
- دواعي الاستعمال: الأسباب السريرية المناسبة لاستخدام كل إجراء.
- موانع الاستعمال: جميع الإجراءات الإشعاعية (المؤيَّنة، وغير المؤيَّنة) التي تنطوي عليها بعض المخاطر.

عند إجراء أي فحص تصويري إشعاعي (مؤيَّن، وغير مؤيَّن) من الواجب موازنة المخاطر المتكبَّدة مقابل الفائدة التي تعود على المريض، والتي من المتوقع الحصول عليها من المعلومات التشخيصية، وقد تكون موانع الاستعمال نسبية، أو مُطلَقة، ويمكن تصنيف العوامل التي تزيد من الخطر على المريض تحت ثلاثة عناوين: بسبب الإشعاع، وبسبب وسيط التباين، وبسبب التقنية.

المخاطر الناتجة عن التعرُّض للإشعاع

ممكن أن تكون تأثيرات الأشعة في الجسم البشري وراثية، وفي بعض الحالات قد يظهر تأثيرها العميق في ذرية الفرد المصاب بالأشعة، وأيضًا بالإمكان أن تكون مباشرة، مثل: الإصابات الجسدية.

الفئات التي تتعرَّض لمخاطر الإشعاع

في حالة الحماية من الإشعاع المؤيَّن وغير المؤيَّن، يجب التمييز بين التعرُّض المهني، وتعرُّض عامة الناس، والتعرُّض الطبي للمرضى، كما أن أحد أسباب التمييز

بين قيود التعرُّض المهني، وقيود التعرُّض العام هو أن الأفراد المعرَّضين مهنيًا يمكن اعتبارهم مجموعة أكثر تجانسًا من عامة السكان، ويُعدّ الأفراد المعرضون مهنيًا بالغين أصحاء نسبيًا ضمن فئة عمرية محددة، وفي المقابل يحتوي عامة السكان على مجموعات متنوعة مثل: الأطفال الصغار جدًا، وكبار السن الذين قد يكونون أكثر حساسية للآثار الضارة للتعرُّض للإشعاع، ومن ثَمَّ يُفترض أن هناك تباينًا أكبر في الحساسية بين عامة السكان مقارنةً بالأفراد المعرضين مهنيًا. السبب الآخر هو أن الأفراد المعرضين مهنيًا يجب أن يعملوا في ظل ظروف خاضعة للرقابة، وأن يتم إعلامهم بالمخاطر المرتبطة بالتعرُّض للإشعاع شخصيًا، وكيفية الحد من هذه المخاطر.

في معظم الحالات لا يكون أفراد عامة الناس على دراية بتعرُّضهم للإشعاع المؤيَّن وغير المؤيَّن؛ لذا يجب اتخاذ الاحتياطات اللازمة لتقليل أي آثار ضارة للتعرض الإشعاعي أو تجنُّبها عبر تثقيف عامة الأفراد وتعليمهم، وإذ يوجد تراكم للضرر على المدى الطويل فإن الخطر يعتمد على الجرعة الإجمالية التي يتعرضون لها، وهناك فرق مهم آخر بين الأفراد المعرَّضين مهنيًا والمرضى، وهو مدة التعرُّض التي تصل في حالة التعرُّض المهني إلى ما يقارب 40 ساعة في الأسبوع.

والمرضى تحت الرعاية الطبية هم فئة خاصة أخرى يمكن أن يتعرضوا لمستويات عالية نسبيًا من الإشعاع بهدف التشخيص، أو العلاج، وإذا تجاوزت مستويات الإشعاع القيود المُطبَّقة، فإن الفوائد المقصودة من الإجراء يجب أن تفوق احتمالية حدوث آثار ضارة؛ لذلك لا يتم الإجراء إلا تحت إشراف الطبيب المختص.

يراعى إدراج الأشخاص الذين يعانون حالات طبية ضمن فئات تحتاج إلى إرشادات وقائية خاصة؛ لحمايتهم من مخاطر الإشعاع، وتجدر الإشارة مع ذلك إلى أن إرشادات التعرُّض للإشعاع لا تهدف إلى توفير الحماية للأشخاص الذين يعانون أمراضًا، أو حالات معينة مُثبَتة سريريًا قد تجعلهم أكثر عُرضة للأذى من الإشعاع غير المؤيَّن، على سبيل المثال: المرضى الذين يعانون جفاف الجلد الصباغي، أو الأفراد الذين يتناولون أدوية الحساسية للضوء، وتتضمن فئة خاصة أخرى التعرُّض المهني المسموح به فوق القيود المفروضة على خدمات الطوارئ المنقذة لحياة الناس، على سبيل المثال: أجهزة النبض الكهرومغناطيسي المنتشرة للإنعاش.

يُعدّ الأفراد الذين يتطوعون للمشاركة في الإجراءات التجريبية ودراسات تطوير المنتجات، أو الذين يساعدون طوعًا (بخلاف مهنتهم) في رعاية المرضى ودعمهم وراحتهم، والذين يخضعون لإجراءات التشخيص الطبي، أو العلاج الذي يتضمن الإشعاع فئة خاصة. يتطلب تعرُّض المتطوعين للبحث تقييمًا على أساس كل حالة على حدة، حيث يوازن بين أخطار التعرُّض للإشعاع غير المؤيَّن مقابل فوائد المعرفة العلمية أو الطبية التي تم الحصول عليها. من الأفضل وضع هذه الاعتبارات من خلال مجلس المراجعة المؤسسية، أو لجنة الأخلاقيات، وفي حالة القائمين بالرعاية، فإن أفضل طريقة لفهم هذه المخاوف هي استشارة المشرفين الطبيين المناسبين الذين يجب عليهم أيضًا تقديم معلومات حول المخاطر المُحتَملة.

المخاطر الناجمة عن التعرُّض للأشعة المؤيَّنة وغير المؤيَّنة

أضرار الأشعة المؤيَّنة

تُعتبر الأشعة السينية المُستخدَمة في التصوير الشعاعي التقليدي والتصوير المقطعي المحوسب، وكذلك أشعة جاما وغيرها من انبعاثات النويدات المشعة ضارة. ويُسهم الإشعاع الطبيعي من الشمس والنشاط الإشعاعي في البيئة، إضافة إلى النشاط الإشعاعي في الغلاف الجوي من القنابل النووية وغيرها من الإشعاعات المؤيَّنة من صنع الإنسان في حدوث خطر وراثي لا يستطيع الطبيب بمفرده التحكم فيه. ومع ذلك فإن الإشعاع المؤيَّن المُستخدَم للأغراض الطبية أكبر بعدة مرات من جميع المصادر الأخرى للإشعاع من صُنع الإنسان الذي يخضع لسيطرة الأطباء، حيث تقع على عاتقهم مسؤولية تقليل استخدام الأشعة السينية والإشعاعات المؤيَّنة الأخرى، فيتم تحقيق ذلك من خلال استخدام المُعدات المناسبة، والتقنيات، والطرق التصويرية الجيدة مثل: قصر حجم حزمة الأشعة السينية على المناطق المطلوبة، وتحديد عدد الأفلام الضرورية، والحفاظ على أن تكون الاختبارات المتكررة ملزمة إلى الحد الأدنى، والتأكد من أن الفحص الذي يُراد إجراؤه لم يتم تنفيذه من قبل بالفعل، لا سيما تلك الفحوص التي تنطوي على التعرُّض للإشعاع العالي مثل: العمود الفقري القطني، أو التصوير المقطعي المحوسب. وإذا أمكن ينبغي النظر في التقنيات البديلة مثل: الموجات فوق الصوتية، أو التصوير بالرنين المغناطيسي، أو بمعنى آخر يجب أن يكون فحص التصوير المطلوب له ما يبرره.

يكون الإشعاع ضارًا بشكل خاص بالخلايا المنقسمة، فقد تحدث طفرات معاكسة وراثيًا بعد تعرُّض الغدد التناسلية للإشعاع؛ مما يؤدي إلى تشوهات خِلْقية ومخاطر وراثية على التركيبة السكانية، ولا يوجد حد لمعدل الطفرات، ومن ثَمَّ لا يوجد شيء اسمه جرعة إشعاعية آمنة. كما يمكن أن يكون للإشعاع آثار كارثية على الجنين النامي في بطن أمه، ومنها زيادة حدوث التشوهات الخِلْقية، فقد تبين أن تواتر تطور سرطان الدم والأورام الخبيثة الأخرى خلال السنوات العشر الأولى من العمر يزداد عند الأطفال الذين تعرضوا للأشعة السينية في أثناء وجودهم في الرحم، ربما بحوالي 40% مقارنة بمرضى كبار السن، ويجب تجنُّب إجراء الأشعة السينية، أو تقليل التعرُّض لها إلى الحد الأدنى المُطلَق في حالات الحمل، ولا يحفز الإشعاع أيًا من حواس الإنسان، ومن ثَمَّ يكون التعرُّض صامتًا. قد تكون عواقب التعرّض للإشعاع لا علاج لها، بل ومميتة في بعض الأحيان، وعادة تنقسم آثار التعرُّض للإشعاع إلى مجموعتين:

التأثيرات الحتمية: تؤدي التأثيرات الحتمية إلى فقدان وظيفة الأنسجة، على سبيل المثال: احمرار الجلد، وإعتام عدسة العين، وإذا تم توزيع جرعة الإشعاع على مدار فترة زمنية، فقد تستطيع الخلية التجديد والإصلاح فتسمح بترميم الأنسجة، ومن ثَمَّ يكون هنالك تحمّل أكبر مما لو تم تناول الجرعة دفعة واحدة، وهذا يعني أن جرعة عالية واحدة ممكن أن تؤثر في النسيج، وتُسبِّب كمية من الضرر تتجاوز قدرات الإصلاح الخلوي أو آلياته.

التأثيرات العشوائية: وهي التي تؤدي إلى حدوث تعديلات عشوائية لمكونات الخلية، مثل: طفرات الحمض النووي التي يمكن أن تحدث عند أي جرعة إشعاعية، لا يوجد حد للتأثيرات العشوائية مثل: الورم الخبيث، حيث إن السرطان الناتج عن جرعة صغيرة هو نفسه السرطان الناتج عن جرعة كبيرة، ولكن تواتر حدوثه يكون أقل بالجرعة الصغيرة.

والإجماع الحالي الذي توصلت إليه منظمات الحماية الإشعاعية الدولية هو أنه بالنسبة للجرعات المنخفضة نسبيًا، يُفترض أن يزداد خطر الإصابة بالسرطان الناجم عن الإشعاع والأمراض الوراثية مع زيادة جرعة الإشعاع، وفي بعض الأحيان لا يمكن القضاء تمامًا على الآثار الضارة للإشعاع؛ لذا يجب التقليل منها قدر المستطاع.

وأيضًا ممكن لتأثير الإشعاع أن يكون فيه زيادة طفيفة في عامة الناس، ولكنها كبيرة في بعض الفئات الخاصة (فتزيد من معدل السرطانات لديهم) على سبيل المثال: بعض الفئات من الأطفال، والنساء (قد تزيد من معدل سرطان الثدي لديهم)، وبعض الفئات من الذين يتعرضون للإشعاع مهنيًا. أهم العوامل التي تؤثر في خطر الإصابة بالسرطان بعد التعرُّض للإشعاع المؤيَّن هي:

أ ـ الاعتبارات الجينية (الطفرات الجينية المحددة، والتاريخ العائلي).

ب ـ العمر عند التعرُّض (الأطفال ـ بشكل عام ـ أكثر حساسية للإشعاع من البالغين).

ج ـ نوع الجنس (هناك زيادة طفيفة في الخطر لدى الإناث).

د ـ تجزئة فترة التعرض وإطالتها (تزيد الجرعة ومعدل الجرعة الأعلى من المخاطر بسبب تأثير تلف الحمض النووي).

هناك لوائح قانونية توجه استخدام الإشعاع التشخيصي، و لكنها في الأغلب تتبع هذين المبدأين الأساسيين:

1. تبرير الفحص المقترح والفائدة الكبيرة للمريض.
2. الاحتفاظ بجرعات مخفَّضة بحسب مبدأ (ALARA- As Low As Reasonably Achievable) الذي ينص على الآتي: "منخفضة قدر الإمكان"، مع أخذ العوامل الاقتصادية والاجتماعية في الاعتبار.

يُعدّ التبرير مهمًا بشكل خاص عند النظر في جرعة الإشعاع عند النساء في سن الإنجاب؛ بسبب المخاطر التي يتعرَّض لها الجنين، حيث إنه حساس للغاية للإشعاع، وتشمل المخاطر المحتملة كلًا من التشوهات الخِلْقية، والتأثيرات المُسرطِنة، ويعتمد خطر كل تأثير على فترة الحمل، ووقت التعرُّض، وجرعة الإشعاع الممتَصة. يكون الجنين النامي أكثر عُرضة للتأثيرات الإشعاعية في الجهاز العصبي المركزي بين (8 و 15) أسبوعًا من فترة الحمل، وقد يكون خطر الإصابة بسرطان الأطفال الخبيث أكبر إذا حدث التعرُّض في وقت مبكر من الحمل، وفي هذه الحالات يُفضَّل إجراء الفحوص غير المؤيَّنة بخلاف المؤيَّنة لتجنُّب الإشعاع.

من أساسيات التصوير الطبي عندما يتطلب الفحص تعريض أي أنثى في سن الإنجاب لحزمة أولية من الإشعاع في منطقة الحوض، أو لإجراء يتضمن استخدام نظائر مُشعَّة، أن يسأل الطبيب عما إذا كانت حاملًا أو لا، وإذا لم تستطع المريضة استبعاد احتمال الحمل، فيجب أن تُسأل عما إذا كانت فترة الحيض قد تأخرت، ويجب تسجيل إجابتها، واعتمادًا على الإجابة، يجب تعيين المريضة في إحدى المجموعات الأربع الآتية:

- لا يوجد احتمال للحمل: يتم إجراء الفحص.
- إذا كانت إجابة المريضة بالتأكيد، أو يوجد احتمال بالحمل: يتم في هذه الحالات مراجعة مبررات الفحص المُقتَرَح وتقرير ما إذا كان يجب متابعة الفحص، أو تأجيله إلى ما بعد الولادة، أو التأكد تمامًا من عدم احتمالية الحمل، مع الأخذ في الاعتبار أن تأخير إجراء أساسي حتى وقت لاحق من الحمل قد يُمثِّل خطرًا أكبر على الجنين، وإذا ما يزال هناك ما يبرر إجراء الفحص بعد المراجعة، فإنه يجب الحفاظ على جرعة الجنين عند الحد الأدنى المتوافق مع الغرض التشخيصي.
- الفحص بجرعة منخفضة: يُعرّف الفحص بجرعة منخفضة بأنه الفحص الذي من المرجح أن تكون فيه جرعة الجنين أقل من 10 ملي جرام. تقع الغالبية العظمى من الفحوص التشخيصية ضمن هذه الفئة، وإذا كان لا يمكن استبعاد الحمل، ولكن لم تكن فترة الحيض متأخرة، فلابد من البدء في إجراء الفحص، وإذا تأخرت الدورة الشهرية للمريضة، يجب أن تُعامَل على أنها حامل، ويجب اتباع النصائح الواردة في القسم السابق.
- الفحص بجرعة عالية: يُعرّف إجراء الجرعة العالية بأنه أي فحص ينتج عنه جرعة جنينية تزيد عن 10 ملي جرام (مثل: التصوير المقطعي المحوسب لبطن الأم وحوضها).

كما يمكن إجراء التصوير الشعاعي للمناطق البعيدة عن الحوض والبطن بأمان في أثناء الحمل، مع التأكد من استخدام المزراء بصورة صحيحة وجيدة، واستخدام الحماية من الرصاص، ويتحمل جميع اختصاصيي الأشعة مسؤولية الحماية من الإشعاع غير الضروري لكلٍّ من: المرضى، والموظفين، واختصاصيي الأشعة أنفسهم، والأفراد، والمرافقين، والمراجعين بما في ذلك الأقارب، ومقدمي الرعاية الصحية.

طرق الحماية من الأشعة المؤيَّنة

عندما يتعلق الأمر بالإشعاع المؤيِّن، فإن أهم العوامل التي يجب أن يراعيها الفرد هي عامل الوقت، والمسافة، والحماية:

- يجب التقليل من الوقت الذي يقضيه الفرد في المناطق ذات المستويات الإشعاعية المرتفعة؛ مما يقلل من جرعة الأشعة التي يتلقاها من مصدر الإشعاع.
- زيادة المسافة من مصدر (مصادر) الإشعاع، فتقل جرعة الفرد الإشعاعية مع زيادة مسافة الفرد عن المصدر، وبالنسبة لأشعة جاما والأشعة السينية، فتتناسب كثافة الإشعاع عكسًا مع مربع المسافة من المصدر (أي: قانون التربيع العكسي). هذا يعني أن زيادة المسافة بمعامل 2 يقلل معدل الجرعة بمعامل 4.
- استخدام الواقي لمصادر الإشعاع (أي: وضع رداء مناسب بين مصدر (مصادر) الإشعاع والعاملين). ويؤدي إدخال الواقي المناسب (على سبيل المثال: الرصاص أو الخرسانة، أو الدروع البلاستيكية الخاصة حسب نوع الإشعاع) بين العامل ومصدر الإشعاع إلى تقليل أو إزالة الجرعة التي يتلقاها العامل بشكل كبير. كما تعتمد الحاجة إلى الوقاية بالدروع على نوع مصدر الإشعاع ونشاطه، ويجب أيضًا مراعاة الاستخدامات في المناطق المجاورة لغرفة الإشعاع (أسفل الغرفة، أو أعلاها). و من أنواع الوقاية (الدرع، أو الرداء):
- حماية الغرف التي تحتوي على معدات الأشعة السينية الطبية، أو الغرف المزودة بأجهزة تصوير طبية أخرى بالأشعة السينية، يوصي المجلس الوطني للحماية من الإشعاع والقياسات (National Council On Radiation Protection And Measurements; NCRP) بأن يكون هدف تصميم التدريع 500 مليون (5 ملي جراي) (وحدة قياس لامتصاص الطاقة الإشعاعية) في السنة لأي شخص في مناطق خاضعة للرقابة. بالنسبة للمناطق غير الخاضعة للرقابة، فيوصي المجلس بأن يكون هدف تصميم التدريع بحد أقصى 100 مليون (1 ملي جراي) لأي شخص في السنة (حوالي 0.02 ملي جراي) في الأسبوع. ويتطلب تصميم التدريع خبيرًا مؤهلًا (على سبيل المثال: فيزيائي الصحة). قبل استخدام أي غرف، أو مرافق جديدة، أو مُعاد تشكيلها، أو أي مُعِدات أشعة سينية جديدة، أو تم نقلها، يجب على الخبير المؤهل إجراء مسح للمنطقة، وتقييم التدريع للتحقق من الحماية من الإشعاع خلف مواد التدريع. وقبل إجراء أي

تعديلات على الغرفة، أو في حالة حدوث أي تغييرات في منشأة قد تغير مستويات التعرُّض للإشعاع (على سبيل المثال: المُعدات الجديدة، وزيادة عبء العمل، والاستخدام المتغير للمساحات المجاورة)، يجب على خبير مؤهل مراجعة تصميم التدريع بشكل عام، كما أنه يجب بناء الأرضيات، والجدران، والأسقف، والأبواب بمواد توفر درعًا للحماية المطلوبة من الإشعاع. يمكن تركيب دروع واقية من الرصاص، إذا كان ذلك مناسبًا، بما في ذلك الزجاج المحتوي على الرصاص، وألواح الرصاص (على سبيل المثال: المدمجة في الجدران)، والجدران الجافة المُبطَّنة بالرصاص، أو الخشب الرقائقي المُبطَّن بالرصاص، والأبواب المُبطَّنة بالرصاص مُسبَقة الصنع، وألواح الرصاص، وطوب الرصاص في بعض الأحيان قد يكون كافيًا لبناء جدار بسمك مناسب من مواد البناء العادية (على سبيل المثال: الخرسانة الكثيفة). قد يشتمل تصميم التدريع على حجرة تحكُّم، أو ستائر للحمل/ الرصاص المكافئ، كما يتم توفيرها لحماية العمال الذين يقومون بتشغيل المُعدات، أو الأجهزة التي تنبعث منها إشعاعات مؤيَّنة. تتضمن أمثلة مُعدات الحماية الشخصية شائعة الاستخدام للحماية من الأشعة السينية وأشعة جاما ما يأتي:

1. مآزر الرصاص أو السُّترات: يمكن أن يؤدي ارتداء مآزر الرصاص إلى تقليل جرعة العامل الإشعاعية، وتتوفر مآزر الرصاص المخصصة (أو ما يعادلها) لمجموعة واسعة من الإعدادات المهنية ومهام العمل، ولا يكون المئزر الرصاصي فعالًا إلا عندما يتم ارتداؤه بشكل صحيح، ويوفر الحماية الكافية اللازمة من مصدر الإشعاع. يجب على أصحاب العمل التأكد من إجراء عمليات الفحص البصري واللمسي لمآزر الرصاص بانتظام بحثًا عن علامات التلف (على سبيل المثال: البلى، أو الثقوب، أو الشقوق) أو سوء الاستخدام السابق (على سبيل المثال: الرصاص المتدلي، أو المشوَّه الناشئ عن مئزر الرصاص الذي يتم طيه، أو تخزينه بطريقة أخرى بشكل غير لائق). يمكن أيضًا فحص العيوب المُحتَملة في مآزر الرصاص بطريقة إشعاعية، ولمزيد من المراقبة، قد يُطلب من العاملين في إعدادات التنظير بجرعات عالية ارتداء مقياسين للجرعات. وفي كثير من الأحيان يتم ارتداء مقياس جرعات واحد على الجزء الخارجي من المريلة الرصاصية عند الياقة (غير محمية) وواحد من الداخل عند الخصر (محمي).

2. طوق الغُدَّة الدرقية الرصاصي: الذي يوفر حماية إشعاعية إضافية للغدة الدرقية الحساسة بشكل كبير للإشعاع.
3. قفازات الرصاص: تحمي القفازات المبطنة بالرصاص الاختصاصيين من تعرُّض اليدين للإشعاع، ويجب استخدامها لبعض أجهزة الأشعة السينية إذا كان لا بد من وضع اليدين في مجال الأشعة السينية المباشر، ومع ذلك في أثناء التنظير الفلوري، فإن ارتداء قفازات الرصاص عندما تكون يد العامل في الحزمة الأولية (لا يمكن تجنبها في بعض الأحيان لأسباب سريرية) يمكن أن يتسبب في زيادة معدل إنتاج الإشعاع في الجهاز تلقائيًا؛ مما سيزيد من وصول الجرعة إلى يد العامل والمريض، وعمال آخرين في الغرفة.
4. نظارات الأمان: التي تحتوي على الرصاص (نظارات الرصاص، أو النظارات الإشعاعية) أو نظارات السلامة غير الشفافة لحماية العين من التعرُّض للإشعاع.

برنامج الحماية من الأشعة المؤيَّنة

يُعدّ تطوير برنامج الحماية من الإشعاع وتنفيذه من أفضل الممارسات لحماية العمال من الإشعاع المؤيَّن، وعادةً ما يدير الخبير المؤهل برنامج الحماية من الإشعاع (على سبيل المثال: اختصاصي فيزياء الصحة)، وغالبًا ما يُطلق عليه اسم مسؤول السلامة من الإشعاع (Radiation Safety Officer - RSO). أفضل ممارسة أخرى هي تعيين لجنة السلامة من الإشعاع التي تشمل مسؤول السلامة، وممثل الإدارة، والعاملين الذين يعملون مع المُعِدات المنتجة للإشعاع، أو مصادر الإشعاع، أو المواد المُشِعَّة (أو الذين يتعرضون لخطر التعرُّض للإشعاع في العمل). ويجب أن يتضمن برنامج الحماية من الإشعاع على الأقل:

- **طاقمًا مؤهلًا:** (على سبيل المثال: مسؤول السلامة، وفيزيائي صحي) لتوفير الإشراف والمسؤولية عن سياسات وإجراءات الحماية من الإشعاع.
- **مبدأ أدنى مستوى يمكن تحقيقه بشكل معقول (As Low as reasonably achievable; ALARA):** يعني أقل ما يمكن تحقيقه بشكل معقول، وهو مبدأ إرشادي في الحماية من الإشعاع، ويُستخدَم للتخلص من جرعات الإشعاع التي هي من دون فائدة مباشرة.

- **برنامج قياس الجرعات الذي يتم فيه مراقبة التعرُّض الشخصي:** وفقًا لما تتطلبه اللوائح الحكومية للجرعات الخارجية، وعند الحاجة للجرعات الداخلية. يمكن ذلك باستخدام أدوات المسح الإشعاعي؛ لتقييم معدلات التعرُّض والجرعات، وكميات المواد المشعة والتلوث، ويجب أن تكون أداة المسح مناسبة لنوع الإشعاع الجاري قياسه وطاقته، ويجب على الخبير المؤهَّل الإشراف على اختيار أدوات المسح المناسبة، وبشكل صحيح عند إجراء مسوحات المنطقة أو المراقبة، وتفسير نتائج المسح، وضمان المعايرة الدقيقة والصيانة، وتشمل الآتي:

1. عدادات المسح المحمولة: وهي أكثر الأدوات استخدامًا وتميزًا لقياس الإشعاع المؤيَّن، تُستخدم عادةً لقياس معدل التعرُّض للإشعاع والجرعة، أو تقييم مستويات التلوث الإشعاعي.
2. أجهزة تحديد النظائر المشعة (Radioisotope Identification Devices): هي أدوات إشعاع محمولة مُصمَّمة لتحديد النظائر المشعة في مصدر الإشعاع، وغالبًا ما تكون أجهزة صغيرة محمولة ومصممة للعمل بسهولة، وتستخدم هذه الأدوات كاشفًا وميضًا؛ لتقييم طاقات جاما المنبعثة من مصدر مُشع، ومقارنة طيف جاما المُقاس بمكتبات أطياف جاما المميزة.
3. أجهزة شخصية للكشف عن الإشعاع (Personal Radiation Detectors): هي أجهزة إلكترونية صغيرة مُصممة لتنبيه مرتديها إلى وجود إشعاع، وغالبًا ما تُستخدَم هذه الأجهزة لمراقبة المواد المُشعة غير المشروعة.
4. مقاييس جرعات الإشعاع: هي أجهزة تُستخدَم لقياس كمية جرعة الإشعاع الخارجية التي يتلقاها الفرد، وعادة ما يتم تخصيص مقاييس الجرعات للفرد لتسجيل جرعة الإشعاع الخاصة به فقط. تشتمل مقاييس الجرعات من نوع الشارة على اللمعان الحراري (Thermo-Luminescent Dosimeters)، ومقاييس جرعات الإنارة المحفَّزة بصريًا (Optically Stimulated Luminescent Dosimeters)، وشارات الأفلام. عادةً ما يتم ارتداء مقاييس الجرعات هذه لفترة محددة، وغالبًا

ما تكون شهرية أو ربع سنوية، ثم يتم إرسالها إلى مختبر تجاري للمعالجة، ويمكن لمقاييس جرعات الشخص الإلكترونية (Electronic Person Dosimeters) أيضًا مراقبة جرعة الإشعاع للفرد. يمكن أن توفر هذه الأجهزة قراءة مستمرة لجرعة الإشعاع ومعدل الجرعة لمرتديها، ويمكن ضبطها للتنبيه عند حدود الجرعة المحددة من المستخدِم ومعدلات الجرعة. ويمكن أن توفر غرف أيونات الجيب (Pocket Ion Chambers) أيضًا قياسًا لجرعة الإشعاع التراكمية لمرتديها في الوقت الفعلي. أصبح استخدام هذه الأجهزة الآن محدودًا للغاية، حيث تم استبدالها إلى حد كبير بمساعدة مقاييس جرعات الشخص الإلكترونية.

- **المسوحات ومراقبة المنطقة:** لتوثيق مستويات الإشعاع، والتلوث بالمواد المشعة، وتعرُّض العمال المحتمل.
- **الضوابط الإشعاعية:** بما في ذلك: ضوابط الدخول، والخروج، والاستلام، ومراقبة المخزون، والتخزين، والتخلص.
- **تدريب العُمَّال على الحماية من الإشعاع:** بما في ذلك الآثار الصحية المرتبطة بجرعة الإشعاع المؤيَّن، وإجراءات الحماية وضوابطها من الإشعاع لتقليل الجرعة ومنع التلوث، وهي من أهم وظائف برنامج الحماية من الإشعاع، ويُعدّ تدريب العاملين في مجال الإشعاع على ممارسات العمل الآمنة مبنيًا على تزويد العمال بالمعلومات وتدريبهم للتأكد من أن أولئك الذين يُحتَمل تعرُّضهم لمخاطر الإشعاع المؤيَّن يفهمون كيفية الاستخدام الآمن لجميع المُعدات المنتجة للإشعاع، أو مصادر الإشعاع في مكان العمل. كما يرتبط تزويد العمال بالمعلومات والتدريب ارتباطًا وثيقًا بالوعي باللوائح ومعايير الأداء والسلامة لمُعدات إنتاج الإشعاع أو مصادرها. يجب على أصحاب العمل التأكد من أن العمال يفهمون معايير الأداء والسلامة الإلزامية التي تساعد على حمايتهم من التعرُّض للإشعاع المؤيَّن. وقد تُنظِّم بعض وكالات الدولة التوصيات والمتطلبات الخاصة بمؤهلات الموظفين (مثل: الترخيص، أو الشهادات)، وبرامج ضمان الجودة، ومراقبتها، واعتماد المنشأة.

- **إجراءات الطوارئ:** لتحديد حالات الطوارئ الإشعاعية والاستجابة لها.
- **برامج حفظ السجلات وإعداد التقارير:** للاحتفاظ بجميع السجلات وتقديم تقارير قياس الجرعات والإخطارات، وفقًا لما تتطلبه اللوائح الفيدرالية، أو اللوائح الحكومية.
- **إجراءات المراجعة الورقية:** للتدقيق السنوي لجميع جوانب برنامج الحماية من الإشعاع.

شكل يوضح بعض الطرق التي يستخدمها العاملون في الإشعاع للحماية من خطر الأشعة المؤينة.

أخطار صبغة الأشعة المؤيَّنة

تستخدم عديد من فحوص التصوير بالأشعة السينية، وخاصة التصوير المقطعي المحوسب، عوامل التباين، أو صبغة اليود في الوريد للحصول على معلومات تشخيصية

دقيقة، على سبيل المثال: تحديد البنية الداخلية للأوعية، واكتشاف العمليات المرضية بما في ذلك: الأورام الخبيثة، والعدوى. إضافة إلى ذلك يمكن التأكد من إمداد الأوعية الدموية للأعضاء، ومع ذلك يجب موازنة فوائد استخدام عامل التباين المعالج باليود مقابل أخطار الآثار الضارة المحتملة إلى جانب أخطار التعرُّض للإشعاع، وفي بعض الحالات يمكن تقسيم الآثار الضارة المُحتَمَلة لإعطاء عامل التباين المُعالَج باليود إلى تفاعلات عكسية عامة، أو اعتلال الكُلية الناجم عن التباين، أو التسمم الدرقي.

التفاعلات العكسية العامة لصبغة الأشعة السينية

قد تسبب صبغة اليود تفاعلات فرط الحساسية لدى بعض الأفراد المعرضين للإصابة، على سبيل المثال: مرضى الربو، والمرضى الذين يعانون الحساسية تجاه الأدوية الأخرى، والمرضى الذين عانوا ردود فعل سلبية سابقة، وقد تظهر هذه التفاعلات على النحو الآتي:

- تفاعل فرط حساسية فوري: يحدث خلال ساعة من إعطاء عامل التباين (الصبغة) ويمكن أن يتراوح من الشرى إلى تفاعل تأقاني رئيسي (Anaphylactoid Reaction).
- تفاعل فرط الحساسية المتأخر للخلايا التائية (T-Cell): يحدث بعد ساعة واحدة من إعطاء عامل التباين، وعادة ما يسبب طفحًا جلديًا (أو احمرارًا في الجلد) (Erythematous).

من المهم أن نلاحظ أن المريض الذي يعاني تفاعل فرط الحساسية المتأخر سابقًا ليس معرَّضًا لخطر متزايد من تفاعل فرط الحساسية الفوري، والعكس صحيح؛ بسبب العمليات المناعية المختلفة. يجب التعامل مع المرضى الذين تظهر عليهم تفاعلات فرط الحساسية لعامل التباين وفقًا لشدة الأعراض، كما أنه يجب التعامل مع ردود الفعل الشديدة على أنها حالة طبية طارئة، وقد تتطلب الإنعاش الفوري باستخدام العلاج بالأكسجين، والسوائل الوريدية، والعلاج باستخدام موسِّع القصبات، ومضادات الهيستامين، والأدرينالين.

اعتلال الكلية الناجم عن التباين/ الصبغة (Contrast-induced nephropathy)

يُعرّف على أنه اختلال كلوي حاد يحدث في غضون ثلاثة أيام من إعطاء عامل التباين داخل الأوعية الدموية من دون أي سبب آخر يمكن تحديده، وهو أحد الأسباب الأكثر شيوعًا للفشل الكلوي الحاد المُكتَسبَ في المستشفى، ويُعتَقَد أنه ناتج عن نقص تروية الكلى والتأثيرات السامة المباشرة في الظهارة الأنبوبية الكلوية. إن المرضى الأكثر عرضة للخطر هم أولئك الذين يعانون ضعفًا كلويًا موجودًا مسبقًا مثل: المصابين بداء السكري، أو الذين يتناولون الأدوية السامة للكلية؛ لذلك يجب اتخاذ تدابير وقائية في المرضى الذين يعانون ضعفًا كلويًا متوسطًا أو شديدًا، والتي تعتمد غالبًا على معدل الترشيح الكبيبي المقدر (Estimated glomerular filtration rate). وتشمل التدابير الاحترازية لهذا المرض:

- الامتناع عن الأدوية السامة للكلية، على سبيل المثال: ميتفورمين لمدة 48 ساعة بعد تناوله، وإعادة فحص وظائف الكلى قبل الفحص.
- يُنصَح بشدة بشرب الماء (100 ملي/ ساعة لمدة أربع ساعات) قبل الإعطاء، و 24 ساعة بعد الإعطاء في المرضى الذين يعانون ضعفًا كلويًا متوسطًا.
- يُنصَح بشدة بأخذ السوائل في الوريد (100 ملي/ ساعة لمدة أربع ساعات) قبل 24 ساعة من الإعطاء في المرضى الذين يعانون القصور الكلوي الحاد وبعدها. يُعتقد أن الماء يقلل من خطر نقص تروية الكلى، ويُخفِّف عامل التباين في الأنابيب الكلوية.
- إعادة فحص وظائف الكلى في الفترة من (48-72) ساعة بعد العلاج.

الانسمام الدرقي (Thyrotoxicosis)

لا ينبغي إعطاء المرضى الذين يعانون فرط نشاط الغدة الدرقية صبغة اليود؛ لأنهم معرضون لخطر الإصابة بالتسمم الدرقي بعد الإعطاء، ويُعدّ المرضى الذين يعانون أمراض الغدة الدرقية بما في ذلك مرض جريف (Graves' disease)، وكذلك تضخم الغدة الدرقية متعدد العقيدات واستقلالية الغدة الدرقية مُعرضين أيضًا للخطر، ولكن قد يتم إعطاؤهم عامل تباين معالج باليود إذا تمت مراقبتهم عن كثب من خلال اختصاصي الغدد الصماء بعد تلقي الصبغة.

مضار الأشعة غير المؤيَّنة

تُعد مضار الإشعاع غير المؤين موضوع بحث مكثَّف على مدار العقود الماضية. ولا يوجد حاليًا دليل قاطع لتأكيد العلاقة السببية بين التعرُّض للإشعاع غير المؤيَّن والإصابة بالسرطان، وتواصل المنظمات المهنية والوكالات الحكومية مراقبة التقدم المُحرَز في البحث للتأكد من المعايير والحدود الحالية للتعرُّض للإشعاع غير المؤيَّن.

هناك نوعان من المخاطر الرئيسية للإشعاع غير المؤيَّن وهما: تسخين الأنسجة (تأثيرات حرارية)، وردود فعل ضوئية كيميائية على الجلد وشبكية العين، ويعتمد حجم الخطر على وقت التعرُّض وتركيز الطاقة، فعلى عكس الإشعاع المؤيَّن، لا يمكن لترددات الطيف الكهرومغناطيسي في المنطقة غير المؤيَّنة أن تؤين الجسيمات مباشرة وتسبب طفرات.

يوجد عديد من مصادر الإشعاع غير المؤيَّن داخل المراكز الطبية، مثل: الرنين المغناطيسي النووي، والتصوير بالرنين المغناطيسي، وأبحاث الاندماج النووي، والتصوير بالموجات فوق الصوتية. عدد قليل جدًا منها قد يشكل خطرًا كبيرًا في أثناء الاستخدام، وترتبط مصادر الإشعاع غير المؤيَّن التي تشكل خطرًا بشكل عام بمشروع بحث محدد، أو تشكل خطرًا فقط عند إزالة الضوابط الحالية أو تعديلها.

مضار التعرُّض للموجات فوق الصوتية

تم استخدام التصوير بالموجات فوق الصوتية لأكثر من 20 عامًا وله سجل أمان ممتاز، ولكن على الرغم من أن التصوير بالموجات فوق الصوتية يُعتبر آمنًا بشكل عام عند استخدامه بحكمة من خلال مقدمي الرعاية الصحية المدربين بشكل مناسب، فإنه قد تنتشر الموجات فوق الصوتية التشخيصية على نطاق واسع، خاصة في المجال السريري، ولهذا السبب قد يكون هنالك قلق متزايد بشأن سلامتها.

هناك اعتقاد شائع بأن الموجات فوق الصوتية منخفضة الكثافة هي أداة تصوير تشخيصية آمنة، وأحد العوامل الأساسية الداعمة لهذا الاعتقاد هو أنه بعد أربعة عقود من الاستخدام السريري وإجراء ملايين الفحوص على المرضى، لم يتم الإبلاغ عن أي آثار ضارة من التعرُّض للموجات فوق الصوتية التشخيصية. في هذا الوقت لا يوجد مؤشر إيجابي للتأثيرات الجسدية الضارة؛ بسبب التعرُّض للإشعاع فوق

الصوتي. ومع ذلك تمت معالجة هذا الاحتمال، وما تزال التحقيقات مستمرة في التأثيرات الحيوية للموجات فوق الصوتية. قد وضَّح بعض الخبراء أن التعرُّض اليومي للإشعاع، وخاصة أشعة الموجات فوق الصوتية التي يتم استخدامها في المجال الطبي، قد يزيد من الإصابة بالسرطان، ولكن بدرجة ليست كبيرة، ولا نستطيع أن نفرق بين الجرعة التي لا تضر والجرعة التي تسبب السرطان، و ينصح الخبراء بعدم الخضوع لجرعات كبيرة من هذه الأشعة عند الكشف بالموجات فوق الصوتية. إضافة إلى ذلك طاقة الموجات فوق الصوتية لديها القدرة على إحداث تأثيرات بيولوجية في الجسم، حيث يمكن للموجات فوق الصوتية تسخين الأنسجة قليلاً، وفي بعض الحالات يمكن أن ينتج أيضًا جيوبًا صغيرة من الغاز في سوائل الجسم، أو الأنسجة (التجويف). ما تزال العواقب طويلة المدى لهذه الآثار غير معروفة، وبسبب القلق من التأثيرات في الجنين، دعت منظمات، مثل: المعهد الأمريكي للموجات فوق الصوتية إلى الاستخدام الحكيم للتصوير بالموجات فوق الصوتية في أثناء الحمل، وتم تثبيط استخدام الموجات فوق الصوتية للأغراض غير الطبية فقط، مثل: الحصول على مقاطع فيديو "تذكار" للجنين (صور التذكار، أو مقاطع فيديو معقولة إذا تم إنتاجها خلال اختبار محدد طبيًا، وإذا لم يكن هناك حاجة إلى تعرُّض إضافي).

أنواع أخطار التعرُّض للموجات فوق الصوتية التشخيصية

تم إجراء تقييم شبه رسمي لمخاطر الاستخدام المعاصر للماسحات الضوئية التشخيصية بالموجات فوق الصوتية، وبناءً على النهج المحدد لإدارة المخاطر تم تقييم أربعة أخطار مُحتَملة، وهي: التسخين، والتجويف الصوتي، وتأثيرات الغاز والجسم، وضغط الإشعاع. وغالبًا ما يتم تقسيم آليات تفاعل الموجات فوق الصوتية مع الأنسجة التي قد تؤدي إلى تأثيرات بيولوجية إلى فئتين حرارية وغير حرارية، ولكن في واقع الأمر تكون هذه الآليات مترابطة مع بعضها؛ لأن تسخين الأنسجة، كما هو موضح فيما يأتي، قد يسهل التأثيرات غير الحرارية عن طريق تقليل عتبة التجويف، والتأثيرات غير الحرارية مثل: التجويف قد تؤثر بدورها في تسخين الأنسجة المحلية، وفيما يأتي وصف لمخاطر الموجات فوق الصوتية:

- الخطر الحراري: تُفقد الطاقة من الموجات فوق الصوتية في أثناء مرورها عبر الأنسجة، ويرجع التأثير الحراري للموجات فوق الصوتية بشكل أساسي إلى

ظاهرة تسمى الامتصاص، حيث يتم تحويل الطاقة الميكانيكية إلى حرارة، ويرتبط التسخين بتوزيع الكثافة في الحزمة المتصة ومعامل الامتصاص المعتمد على التردد (سمة كل نوع من أنواع الأنسجة)، ومع ذلك يمكن أن يكون محوِّل الطاقة نفسه مصدرًا للحرارة عن طريق التوصيل (التلامس المباشر مع الجلد). العظام المتصلبة (المتحجرة) لها أعلى معامل امتصاص، وسوائل الجسم هي الأدنى، وتنتج عن طريق الحرارة إصابات مختلفة للأنسجة، بما في ذلك النخر، والاستماتة، والهجرة غير الطبيعية للخلايا، والتعديل الجيني المتغير، وخلل الغشاء. ولقد ثبت أن التعرُّض الحراري تنتج عنه تغيرات عكسية في تكوّن النخاع، وتلف الخلايا في الأنسجة العصبية، وتعمل الموجات فوق الصوتية على زيادة درجة الحرارة في المنطقة البؤرية للشعاع، ومن ثَمَّ يكون لديها القدرة على إحداث تغيرات حرارية في الأنسجة. يجب توخي الحذر بشكل خاص لتقليل حوادث الخطر الحراري عند تعريض ما يأتي للموجات فوق الصوتية التشخيصية:

- جنين أقل من ثمانية أسابيع بعد الحمل.
- أحد أجزاء رأس الجنين أو حديث الولادة، أو عموده الفقري.
- العين (لأي عمر).

- خطر التجويف: عندما تتعرَّض فقاعة غاز في سائل للتغيرات في ضغط الموجة الصوتية، فإن حجمها يتغير ويتوسع خلال فترة انخفاض الضغط، ويتقلص خلال نصف دورة ضغط الموجة. يُسمى هذا السلوك بالتجويف الصوتي، ويتم إطلاق هذه الغازات عند التعرُّض لضغط سلبي شديد، ويمكن أن تتسبب هذه الفقاعات في تمزق الخلايا أو الأنسجة.

- خطر آثار الغازات: تُعَد الهياكل المحتوية على الغاز (مثل: الرئتين، والأمعاء) هي الأكثر عُرضة لتأثيرات التجويف الصوتي، وتحدث التأثيرات الميكانيكية للموجات فوق الصوتية أيضًا في الأنسجة القريبة من العظام، كما ينشأ نزف نقري على سطح الغشاء المخاطي للأمعاء بعد التعرُّض للموجات فوق الصوتية عند مستوى أعلى من الترددات التشخيصية النموذجية، أدى التعرُّض للموجات فوق الصوتية إلى زيادة موت الخلايا المبرمج في الأمعاء الدقيقة من خلال آلية التجويف.

ـ الخطر من ضغط الإشعاع: سيطرت الاعتبارات التفصيلية لتسخين الأنسجة وتجويفها على الجدل التاريخي حول التأثيرات البيولوجية للموجات فوق الصوتية وسلامتها، نشأ هذا؛ بسبب قدرتها الواضحة على التسبب في تلف مورفولوجي وموت الخلايا، وليس الأمر أن الضغط الإشعاعي قد تم تجاهله كآلية للتأثيرات الحيوية، بل إن كلمة "خطر" بدت غير مناسبة لوصف تأثير بدا أنه لا يُشكِّل تهديدًا كبيرًا، وهي قوة فيزيائية من الموجات الصوتية توفر قوة دافعة قادرة على إزاحة الأيونات والجزيئات الصغيرة، ويمكن أن تؤدي المستويات العالية من التعرُّض للموجات فوق الصوتية إلى تلف دائم للأنسجة البيولوجية.

إرشادات السلامة لاستخدام المسبار

- إعداد الماسحات الضوئية: يجب أن تكون مُعدَّة بحيث يكون الإعداد الافتراضي للتحكم في طاقة الإخراج الصوتي (مفتاح التشغيل) منخفضًا. إذا تعذر الوصول إلى إعداد افتراضي منخفض، فيجب تحديد إعداد منخفض بعد التبديل، كما أنه يجب اختيار إعداد منخفض لكل مريض جديد.
- أوقات التعرُّض: يجب أن تكون أوقات الفحص الإجمالية قصيرة بقدر ما هو ضروري للحصول على نتيجة تشخيصية مفيدة.
- مسبار الموجات فوق الصوتية الثابت: لا ينبغي تعليق المسبار في موضع ثابت لفترة أطول مما هو ضروري، ويجب إزالته من المريض عندما لا تكون هناك حاجة لصورة في الوقت الحقيقي أو تطبيق دوبلر.
- الفحص بالموجات فوق الصوتية الداخلية أو بالمنظار: لا ينبغي استخدام مجسات (مسبار) التجويف الداخلي (مثل: المجسات المهبلية، أو الشرجية، أو المريئية) إذا كان هناك تسخين ذاتي ملحوظ للمسبار عند التشغيل في الهواء. وينطبق هذا على أي مسبار، ولكن يجب توخي الحذر بشكل خاص إذا تم استخدام مجسات عبر المهبل في حالة الحمل خلال الأسابيع العشرة الأولى بعد الدورة الشهرية.

الحماية من أخطار التعرُّض للموجات فوق الصوتية التشخيصية

لتقليل الآثار الصحية الضارة المحتملة، يجب على المشغل استخدام الحد الأدنى من تعرُّض المريض المطلوب لتحقيق الفائدة المرجوة، كما يجب أن يكون المشغل حاضرًا طوال الوقت في أثناء التعرُّض للموجات فوق الصوتية، بحيث يمكن تقليل الشدة أو يمكن إنهاء العلاج إذا أظهر المريض أقل علامات الانزعاج. يجب الاحتفاظ بسجلات لكل مريض على حدة، مع الإشارة إلى مستويات التعرُّض، والأوقات، والجهاز، والجِل المُستخدَم؛ إذ يساعد الحفاظ على هذه المعلومات على تقليل التعرُّض غير الضروري لحالات أخرى، ونظرًا لأن الموجات فوق الصوتية تنعكس بالكامل تقريبًا على واجهة الأنسجة والهواء، فإنه يجب دائمًا استخدام وسائط الاقتران (الجِل) بين سطح المحول والمريض، يمكن أن يؤدي ضعف الاقتران إلى تبديد كل طاقة الموجات فوق الصوتية أو معظمها إلى المحول، وقد يؤدي ذلك إلى تسخين المحول وإتلافه و/ أو حرق المريض. إضافة إلى ذلك عندما يُتوقع أن ينتشر جزء كبير من حزمة الموجات فوق الصوتية في موقع الخروج من الجسم، فقد يكون من المستحسن تجنُّب الانعكاسات غير المرغوب فيها من خلال التأكد من أن المنطقة التي تتم معالجتها مرتبطة بممتص، يجب أن يظل محول الطاقة يتحرك ببطء بزاوية 90 درجة إلى منطقة المعالجة، وفي أثناء العلاج لتقليل أخطار التسبب في النقاط الساخنة (ارتفاع درجة الحرارة غير المبرر في حجم واحد من الأنسجة التي تتعرَّض لتعرُّض زائد). قد تؤدي الموجات الدائمة لفترات طويلة إلى توقف تدفق الدم، وتتسبب في تلف الخلايا البطانية في جدران الأوعية الدموية، وقد يؤدي هذا أيضًا إلى تكوين جلطات دموية عند شعور المريض بأي ألم أو إحساس "شائك" غير مريح، في هذه الحالة قد يشير هذا إلى أن العظام أو النهايات العصبية الموجودة بالقرب من حزمة الموجات فوق الصوتية قد أصبحت بالفعل محمومة، في هذه الحالة يجب تقليل شدة الموجات فوق الصوتية على الفور.

مضار فحص الرنين المغناطيسي

التصوير بالرنين المغناطيسي هو تقنية تصوير آمنة نسبيًا من حيث إنه لا يتضمن إشعاعات مؤيِّنة؛ لذا يُعدّ التصوير بالرنين المغناطيسي شائعًا في المجالات السريرية والأكاديمية؛ لأن المضار الناتجة عنه قد تكون نادرة جدًا. كما أنه لا يوجد

مؤشر إيجابي على وجود تأثيرات معاكسة بسبب شدة المجال المغناطيسي، أو نبضات الترددات الراديوية، وما تزال التحقيقات مستمرة في مجال أخطار التأثيرات الحيوية من المجالات المغناطيسية.

ولكن على الرغم من عدم وجود أخطار مؤكدة حتى الآن، فما يزال الرنين لديه خاصية التأثيرات الحيوية و مجال الجاذبية المغناطيسية القوي؛ لذا يجب اتباع احتياطات السلامة بشكل صارم عند استخدام جهاز الرنين المغناطيسي و دخول بيئة الرنين المغناطيسي، فيما يأتي تفصيل لمخاطر الرنين المغناطيسي:

المجال المغناطيسي القوي

إن الخطر الأساسي المرتبط بالمجال المغناطيسي الساكن هو قوة الجذب المغناطيسي، فعندما يكون هنالك جسم مغناطيسي حديدي قريب من مجال المغناطيس، على سبيل المثال: جسم يحتوي على حديد، سيتم جذبه للمغناطيس، وكلما قرب بدرجة كافية تزداد قوة الجذب لدرجة أنه قد يتحول الجسم إلى مقذوف متحرك خطير، يمكن أن تصبح عناصر، مثل: المقص مُميتة في مثل هذا السيناريو، وحتى العملة المعدنية يمكن أن تُلحق ضررًا أو إصابة خطيرة. كلما كان الجسم أكبر، كانت القوى المعنية أقوى، ومن الحوادث الموثَّقة في الرنين هي حالة الموت الناتجة عن اقتراب أسطوانة أكسجين عن طريق الخطأ من المغناطيس، وتحويله إلى مقذوفة عالية السرعة تُشكِّل خطرًا كبيرًا على كلٍّ من الموظفين والمرضى داخل وحدة التصوير بالرنين المغناطيسي.

وتشمل المشكلات الأخرى التي تم الإبلاغ عنها: الإصابات الناتجة عن أحداث المقذوفات (يتم سحب الأشياء نحو ماسح التصوير بالرنين المغناطيسي)، وسحق الأصابع وضغطها من طاولة المريض، وسقوط المريض، وفقدان السمع أو طنين الأذن (طنين الأذن). ومن موانع فحص الرنين المطلقة وجود جهاز تنظيم ضربات القلب الداخلي، ومزيل الرجفان القلبي القابل للزرع، وجهاز قوقعة الأذن، ومحفزات الأعصاب، ومحفزات نمو العظام، ومضخات تصريف الأدوية المبرمجة كهربائيًا، منافذ وصول الأوعية الدموية، وجسم غريب داخل العين، ودبابيس تمدد الأوعية الدموية من غير التيتانيوم، حيث قد تتعرض أيضًا لهذه القوى المغناطيسية الجاذبة وعزم الدوران داخل الجسم المزروع فيه. كما تنشأ أخطار مماثلة مع المرضى الذين قد

يكون لديهم أجسام معدنية غريبة تقع في مناطق عالية الخطورة، مثل: العين، وقد تتعطل وظيفة الأجهزة الطبية المزروعة مثل: أجهزة تنظيم ضربات القلب، أو غرسات القوقعة الصناعية بشدة؛ بسبب المجال المغناطيسي الساكن، ويتم عادةً استبعاد الأشخاص الذين لديهم أجهزة تنظيم ضربات القلب من المجال الهامشي أيضًا. لا يهدف هذا الكتاب إلى تقديم نصائح شاملة حول توافق الرنين المغناطيسي، أو غير ذلك من الأجهزة الطبية، حيث يتم تناول هذا بالتفصيل في الكتب المتخصصة وعلى الإنترنت، ومع ذلك من الضروري أن يكون أي شخص مسؤولًا عن سلامته الشخصية، أو سلامة المرضى الذين يخضعون لفحص التصوير بالرنين المغناطيسي، ويكون على دراية بالمخاطر المرتبطة بوجود الأشياء المعدنية بالقرب من مغناطيس التصوير بالرنين المغناطيسي. كما تنطبق القواعد نفسها على أي قطعة من المعدات الطبية التي قد تحتاج أيضًا إلى أخذها إلى الغرفة على سبيل المثال: مقياس التأكسج النبضي (Pulse Oximeter) لمراقبة مرضى التخدير، ويجب أن تكون مثل هذه الأجهزة متوافقة مع بيئة الرنين المغناطيسي، وعلى الرغم من أنه قد يتم تصنيف الجهاز على أنه متوافق مع جهاز الرنين المغناطيسي، فإنه قد يكون له أقصى قرب تشغيلي من المغناطيس، ويجب توخي الحذر مخافة تحريك الجهاز أكثر من اللازم.

المجال الهامشي

يمتد المجال المغناطيسي إلى ما وراء الأغطية المادية لجهاز المغناطيس، ويُشار إلى هذا باسم الحقل الهامشي، وتتناقص قوة المجال الهامشي بسرعة مع المسافة ولها آثار على السلامة والتشغيل السليم للمعدات الإلكترونية الحساسة القريبة، ولضمان السلامة يتم تحديد منطقة خاضعة للرقابة بالقرب من المغناطيس، ويجب أن يكون هناك رسم تخطيطي في قواعد السلامة المحلية يمنع وصول الأشخاص والمعدات إلى المنطقة الخاضعة للرقابة.

التأثيرات الحيوية البيولوجية لفحص الرنين المغناطيسي

يتعرض المرضى الذين يخضعون لفحص التصوير بالرنين المغناطيسي لثلاثة أشكال مختلفة من المجالات الكهرومغناطيسية:

1. المجال المغناطيسي الثابت.
2. المجال المغناطيسي المتدرج.
3. المجال الكهرومغناطيسي (موجة تردد الراديو).

ويمكن أن يرفع المجال المغناطيسي الثابت درجة حرارة الجلد؛ مما قد يسبب الحث الكهربائي وتأثيرات القلب مع ارتفاع سعة الموجة المغناطيسية تسلا (Tesla). كما أن لها تأثيرات محتملة في الخلايا العصبية، وبالطبع لم يثبت أن كل هذه التأثيرات الحيوية خطرة عند شدة المجال المغناطيسي الأقل من 3 تسلا. ولكن بعض الأبحاث وجدت أن الفحص المقام بقوة المجال أكبر من 2 تسلا قد يسبب الدوار والصداع، وتحفيز الأعصاب الطرفية. تشمل التأثيرات المحتملة ذات الصلة بمجال التدرج رجفان البطين، وإمكانيات حدوث نوبات الصرع، وومضات بصرية. كما أن لها تأثيرات حرارية أيضًا. في أنظمة التصوير بالرنين المغناطيسي السريرية المستخدمة حاليًا، يمكن أن يؤدي تردد موجات الراديو في المجال المغناطيسي إلى ترسب الطاقة وتسخين الأنسجة، ولكن وجود مقياس معدل الامتصاص النوعي (Specific Absorption Rate) وهو مقياس ترسب طاقة الأنسجة ووحدته واط/ كيلو جرام، ساعد في الحد من هذه الترسبات والمشكلات الحرارية التي تحدث في بعض الفحوص، كما حددت إدارة الغذاء والدواء الأمريكية للفحص السريري أن يكون مقياس ترسب طاقة الأنسجة <0.4 واط/ كيلو جرام، ويزيد معدل الامتصاص النوعي مع زيادة شدة المجال، وهناك زيادة بمقدار أربعة أضعاف في معدل الامتصاص النوعي عند 3 مقارنة ب 1.5 تسلا، كما أن الأعضاء الأكثر حساسية لدرجة الحرارة هي (الأعضاء التناسلية ـ الخصيتان، والعينان).

الضوضاء الصوتية

يمكن يكون الماسح الضوئي بالرنين المغناطيسي صاخبًا جدًا في أثناء إجراء الفحص، وفي بعض تسلسلات التصوير بالرنين المغناطيسي يمكن أن يتجاوز مستوى الضوضاء إرشادات السلامة؛ لذا يُوصى بإعطاء سدادات أذن لجميع المرضى وأي شخص آخر قد يكون في الغرفة في أثناء المسح للتقليل من تأثير مستوى الضوضاء في الأذن. كما تستخدم بعض المغناطيسيات الحديثة عزلًا مفرغًا للتدرجات لتقليل

ضوضاء تحويل التدرج إلى مستوى أقل، ومع ذلك يظل استخدام سدادات الأذن ضروريًا مع جميع المرضى.

إرشادات عملية يجب اتباعها قبل إجراء جميع فحوص الرنين المغناطيسي

في بادئ الأمر يجب فحص كل شخص يدخل غرفة المغناطيس بعناية باستخدام قائمة مراجعة و/ أو أسئلة مفصلة خاصة في بيئة الرنين المغناطيسي، وذلك للتأكد من عدم وجود أي موانع تمنع الوجود في بيئة التصوير بالرنين المغناطيسي، ويشمل ذلك أقارب المريض، والمرافقين أو الأصدقاء، أو المرضات اللاتي قد يدخلن غرفة ماسح الرنين المغناطيسي لمساعدة المريض، والفكرة الرئيسية بالرنين المغناطيسي هي توخي الحذر الشديد في جميع الأوقات.

الأجسام المعدنية التي يتم التقاطها في تجويف المغناطيس تتسبب في حدوث إصابة خطيرة أو الوفاة، وهي أيضًا سبب محوري في حدوث عيوب أو آثار التصوير غير المرغوب فيها على الصور، ولأن سلامة المرضى والموظفين تُعتبر ذات أهمية قصوى، فإنه يجب أن يكون لدى وحدة التصوير بالرنين المغناطيسي سياسات وإجراءات مكتوبة بوضوح، وبعضها يتلخص كالآتي:

- تقييم حالة المرضى الذين لديهم مشابك جراحية مزروعة، أو مواد مغناطيسية أخرى؛ لأنه قد يتم منعهم من هذا الإجراء.
- تقييم المرضى الذين شاركوا في مهن أو أنشطة قد تسببت في الإيواء العرضي لمواد مغناطيسية حديدية، على سبيل المثال: عمال المعادن، أو أي شخص قد يكون في جسمه شظايا معدنية من مهام عسكرية.
- إرشاد الأهل لإجراءات السلامة.
- تقييم المرضى الذين لديهم الوشم، بما في ذلك قلم تحديد العيون الدائم الذي يسبب حروقًا في الجسم.
- تقييم المرضى الذين يعانون خللًا في أنظمة تنظيم الحرارة، على سبيل المثال: حديثو الولادة، ونقص الوزن عند الولادة، وبعض مرضى السرطان.

- تقييم المرضى الذين لديهم غرسات معدنية قد تسبب تشوهات في الصور؛ بسبب تشويه المجال المغناطيسي الساكن.
- تقييم مرضى صمامات القلب الاصطناعية.
- تقييم المريضات الحوامل: على الرغم من عدم معرفة آثار التصوير بالرنين المغناطيسي على الأجنة وإتمام إجراء التصوير بالرنين المغناطيسي للجنين بشكل روتيني، فإن معظم المواقع تتجنب الفحص خلال الأشهر الثلاثة الأولى من الحمل. ويجب موازنة الخطر غير المعروف على الجنين مقابل الاختبارات التشخيصية البديلة التي قد تنطوي على إشعاع مؤيَّن.
- التأكد دائمًا من أن الأسلاك والملفات معزولة جيدًا ولا تلامس جسم المريض، فقد تسبب حروقًا. كما أنه يجب ألا يلمس جزء جسم المريض التجويف المغناطيسي.
- تجنُّب تشكيل الحلقة: يجب ألا تشكل أسلاك مقياس التأكسج النبضي، وأسلاك تخطيط القلب، وما إلى ذلك حلقة، حيث يمكن أن يؤدي تشكيل الحلقة إلى تحريض التيار والإصابة بالحروق. حتى تشكيل حلقة لأجزاء الجسم، على سبيل المثال: يمكن أن يشكل تقاطع الذراعين والساقين حلقة موصلة كبيرة، قد تؤدي إلى تحريض التيار.
- في حالة الطوارئ، يجب أن يكون النهج الأول هو إخراج المريض من غرفة الماسح الضوئي في أقرب وقت ممكن، وبدء الإنعاش.
- يجب أن تحتوي أبواب غرفة الماسح الضوئي على ملصقات تحتوي على صور لأشياء ممنوع منعًا باتًا أخذها داخل غرفة الماسح الضوئي.

أخطار استخدام صبغة الرنين المغناطيسي

من النادر حدوث تفاعلات عكسية مع عوامل التباين بالرنين المغناطيسي الشائعة التي يتم حقنها في المريض لتوفير معلومات تشخيصية فُضلى، ومع ذلك عند استخدام عوامل التباين يجب تجهيز الأدوية اللازمة لعلاج المضاعفات الناتجة عن استخدام صبغة التصوير بالرنين المغناطيسي، وإنعاش المرضى، إضافة إلى ذلك يجب أن

يكون الطاقم الطبي قريبًا ومُلمًا بكيفية التعرُّف على هذه المضاعفات النادرة وطريقة علاجها، وقد يتم تطبيق قيود على استخدام عوامل التباين في أثناء الحمل وعلى الأمهات المُرضعات.

ردود الفعل العكسية

غالبية التفاعلات الضارة من صبغة الرنين المغناطيسي (الجادولينيوم) خفيفة وعابرة، ويبلغ معدل التفاعل الإجمالي حوالي (3-5%)، ويتضمن الغثيان، والصداع، وأعراض موضع الحقن. تكون الحساسية المفرطة لصبغة الرنين نادرة جدًا، والمرضى الذين لديهم تاريخ من الحساسية والربو ورد الفعل السابق للأدوية والصبغة المعالجة باليود والجادولينيوم هم أكثر عُرضة للتفاعلات الضارة؛ لذا يجب اتخاذ الاحتياطات في هذه الحالات.

أخطار وسائل التباين القائمة على الجادولينيوم والتليف الجهازي الكلوي

لقد استحوذ هذا المرض النادر، والقاتل، والذي من المحتمل أن يكون مرتبطًا بإدارة وسائط التباين القائمة على الجادولينيوم في مرضى الفشل الكلوي، على اهتمام أكبر بكثير من التطورات في مجال التصوير بالرنين المغناطيسي في السنوات القليلة الماضية. وصلت نسبة انتشاره إلى ما يقرب من (4-5%) في مرضى الفشل الكلوي الذين تلقوا وسائط التباين القائمة على الجادولينيوم، و 90% من هذه الحالات المبلغ عنها كانت بالفعل ضمن مرضى الغسيل الكلوي، ولم يتم الإبلاغ عنه في المرضى ذوي وظائف الكلى الطبيعية حتى الآن.

يترتب هذا المرض على ترسب الكولاجين والتليف في الجلد؛ مما يؤدي إلى سماكة الجلد وشده، وتصلبه، واحمراره. وينتشر أثره في المناطق التابعة ذات الأطراف السفلية، والفخذين السفليين أكثر من الجذع والأطراف العلوية، كما يلاحظ أيضًا أثره على بعض الأجهزة، مثل: العضلات الهيكلية، والقلب، والرئتين، والكلى، والحجاب الحاجز، لذلك يطلق علية اسم "التليف الجهازي الكلوي" (Nephrogenic Systemic Fibrosis) في هذه الحالات. يتطور المرض عادةً من بضعة أيام إلى ثلاثة أشهر بعد

التعرُّض للصبغة، وعديد من المراكز الطبية لديها سياساتها الخاصة بشأن هذه المسألة، وبشكل عام يجب إجراء تحليل المخاطر والفوائد للمرضى الذين يعانون معدل الترشيح الكبيبي الأقل من 60 ملي/ دقيقة/ 1.73م^2 ويجب تجنُّب إعطاء الجادولينيوم. إذا تم اتخاذ القرار بحقن الجادولينيوم في المرضى الذين يعانون معدل الترشيح الكبيبي بين (30-60) ملي/ دقيقة/ 1.73م^2، فإنه يجب استخدام نصف الجرعة فقط، ويجب الحصول على موافقة خطية مستنيرة، أما في المرضى الذين يعانون معدل الترشيح الكبيبي الأقل من 30 ملي/ دقيقة /1.73 م^2، فإنه لا ينبغي حقن الجادولينيوم.

احتياطات السلامة لصبغة الرنين المغناطيسي

1. في حالة الفشل الكلوي: يمكن لمرضى الكلى القيام بغسيل الكلى لغسل صبغة الرنين خارج الجسم، ولا توجد احتياطات خاصة مطلوبة في مرضى الكلى المزمن الذين يكون معدل الترشيح الكبيبي لديهم أكثر من 60 ملي/ دقيقة/ 1.73م^2 .
2. وجود تاريخ من الحساسية/ الربو: ينبغي اتخاذ الاحتياطات عند هؤلاء المرضى، وإجراء مراقبة مستمرة، كما يمكن إعطاء الأدوية المُسبَقة مع الهيدروكورتيزون ومضادات الهيستامين حسب ما هو مُبرَّر سريريًا.
3. في حالة الحمل من المعروف أن الجادولينيوم يعبُر المشيمة، ثم تفرزها كلية الجنين ويمكنها أن تعاود الدوران في السائل الأمنيوسي عدة مرات، ويمكن أن ينفصل الجادولينيوم عن مركبه الحامي إذا ظل لفترة طويلة في السائل الأمنيوسي؛ لذلك يُوصى بعدم حقن وسيط التباين بالرنين المغناطيسي بشكل روتيني في الحوامل، ومع ذلك يمكن اتخاذ قرار على أساس كل حالة على حدة من خلال تحليل المخاطر والفوائد.
4. في حالة الإرضاع: يُفرَز الجادولينيوم في لبن الأم، حيث يجب شفط حليب الثدي بعد الحقن والتخلص منه، كما يجب عدم إرضاع الطفل من الثدي لمدة (36-48) ساعة.

مضار التصوير الضوئي، أو البصري، والألياف الضوئية، والمناظير

يمكن أن تكون له آثار ضارة على الجلد والعينين، حيث تكون استجابة الجلد للتعرض للأشعة تحت الحمراء هي إعطاء إشارة تحذير على شكل ألم، ونظرًا لأن الأشعة تحت الحمراء غير مرئية، فمن المهم دائمًا حماية الجسم من خلال ارتداء عناصر مزوَّدة بمرشحات الأشعة تحت الحمراء، كما يمكن أن يشمل التعرُّض المطوَّل للأشعة تحت الحمراء تلفًا دائمًا للقرنية وشبكية العين من خلال الحروق.

أخطار الأشعة الصادرة من المواد النووية في فحوص التصوير النووي

أخطار الأدوية الإشعاعية

إن الأدوية الإشعاعية التي تُعطى للمريض ضمن فحوص التصوير النووي يمكن أن تجعل الجسم مشعًا لفترة قصيرة من الزمن، فينبعث هذا الإشعاع المؤيَّن (عادة أشعة جاما) من الجسم، ويمكن اكتشافه وقياسه باستخدام كاميرا جاما للطب النووي؛ لذلك قد تكون هناك أخطار قليلة عند إجراء فحوص التصوير النووي، وعادة ما تشمل ردود الفعل التحسسية، وبعضًا من أخطار الإشعاع. بالنسبة لتفاعلات الحساسية التي هي نادرة جدًا فدائمًا ما تكون طفيفة، وإن وُجدت في معظم الحالات فلن يكون هناك سبب لإلغاء الفحص، ولكن قد تتم مراقبة المريض عن كثب في أثناء إجراء الاختبار؛ لضمان معالجة أي رد فعل بشكل مناسب.

أخطار الإشعاع

للأطفال والكبار

يتضمن إجراء الاختبار جرعة صغيرة من الإشعاع من الأدوية الصيدلانية المُشعَّة. الجرعة مشابهة لإجراءات التصوير المقطعي المحوسب والتنظير الفلوري. بالنسبة لجميع دراسات التصوير التي تنطوي على إشعاع مؤيَّن، فيجب النظر بعناية لإجراء اختبار بديل لا يتضمن الإشعاع المؤيَّن (مثل: الموجات فوق الصوتية، أو

التصوير بالرنين المغناطيسي. كما يتم تقليل جرعة الإشعاع التي يتم تلقيها من فحوص العظام والكلى عن طريق تشجيع المريض على شرب مزيد من السوائل الصافية بعد الاختبار، وفي فحوص التصوير النووي للأطفال، يتم تعديل جرعة الأدوية المُشعَّة وفقًا لوزن الطفل المريض.

للنساء الحوامل

يتم بشكل عام تجنُّب تصوير النساء الحوامل بالإشعاع المؤيَّن من الأشعة السينية، والتصوير المقطعي المحوسب، ودراسات الطب النووي إن أمكن، وعند الحاجة يحدث ذلك عادةً بعد مناقشة مع اختصاصي الطب النووي المُشرِف، وفي بعض الأحيان تخضع النساء الحوامل لدراسات الطب النووي، ولكن هذا عادة ما يقتصر على جلطات الدم في الرئتين (الصمَّات الرئوية (PE-Pulmonary Emboli)). إن جرعة الإشعاع والمخاطر المرتبطة بفحص الرئة للمريض والجنين (الطفل الذي لم يولد بعد) صغيرة مقارنة بخطر عدم تشخيص هذا المرض، ويتم تقليل الجرعة المعطاة؛ لتقليل جرعة الإشعاع بشكل أكبر في هذه الحالات.

للمرضعات و/ أو الذين لديهم اتصال وثيق مع الأطفال

إذا كان الشخص الذي يخضع لفحص التصوير النووي امرأة مرضعًا، أو كان على اتصال وثيق بالأطفال، فقد يكون هناك إشعاع غير ضروري ينتقل إلى الطفل. قد يلزم ذلك تقييد الرضاعة الطبيعية، والاتصال الوثيق بالطفل، اعتمادًا على الأدوية المشعة المستخدمة، وإذا دعت الحاجة إلى تقييد الرضاعة الطبيعية، فيمكن شفط الحليب وتخزينه (في الثلاجة أو تجميده) لاستخدامه لاحقًا (بعد فترة التقييد).

إذا احتاج الأمر إلى اتصال وثيق بالطفل فيجب أن يكون بأدنى حد، ولكن إذا كان هناك مقدم رعاية آخر متاحًا لتهدئة الطفل، فسيكون هذا هو الأفضل، كما يجب الحفاظ على مسافة آمنة تتراوح بين (2-3) أمتار بين الطفل والشخص الذي تلقى الأدوية الإشعاعية.

الفصل السادس

الجديد في علم التصوير الطبي والأشعة

على الرغم من فائدة تقنيات التصوير الحالية في استكشاف تكوين جسم الإنسان، فإنه ما تزال هنالك كثير من العقبات الرئيسية التي تمنع/ أو تكبح عجلة التطور من تحسين صحة الإنسان خارج قيود القواعد والقوانين التنظيمية، وهذا ليس بالموضوع البسيط، ففي القرن التاسع عشر، كان إلقاء نظرة فاحصة على خلايا الشخص المريض يتطلب جميع أنواع الإجراءات غير العملية (صعبة التنفيذ) والتدخلية، بما في ذلك الجراحة، وإزالة الأنسجة وما إلى ذلك، ولا عجب أنه في غضون عام من إعلان رونتجن لاكتشافه للأشعة، أصبح اكتشافه جزءًا أساسيًا من مهنة الطب، وبذلك كانت بداية قرن من التقدم، وكلما تم تحديث تكنولوجيا التصوير، استمرت الحواجز التي كانت محدودة لفترة طويلة في التشخيص والعلاج في الانخفاض. فعندما عجزت تقنية الأشعة السينية عن إخبارنا كثيرًا عن الأنسجة الرخوة في الجسم، تم تطوير تقنيات الموجات فوق الصوتية المبكرة التي بُنِيَت على استخدام السونار خلال الحرب العالمية الثانية، وبعد ذلك بوقت قصير أتاح ظهور تقنيات التصوير المقطعي التي بدأت في الستينيات من مثل: التصوير المقطعي المحوسب، والتصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني إنشاء صور ثلاثية الأبعاد. ومن الصعب المبالغة في تقدير مدى تقدم مجال التصوير الطبي في قرن واحد منذ بدايات رؤية الخلايا العصبية للعالم الأسباني رامون واي كاجال (Santiago Ramon Y Cajal) على شريحة إلى صورة ثلاثية الأبعاد لدماغ حي كما يُرى من خلال فحص التصوير بالرنين المغناطيسي، وقدمت هذه التقنيات رؤىً جديدة، حيث أعطت المهنيين الطبيين سياقًا إضافيًا حاسمًا لتشخيص المرضى وعلاجهم بسرعة وبشكل أفضل؛ لذلك تهدف صناعة الرعاية الصحية دائمًا إلى تقديم ابتكارات جديدة للمرضى؛ ولهذا السبب يواصل أصحاب العلم الاستثمار في أبحاث تكنولوجيا التصوير الطبي، وهذا الاتجاه لا يُظهِر أي تراخٍ، حيث إن الفكرة هنا هي استخراج أقصى فائدة من التقنيات الحالية ونشرها لأكبر عدد ممكن من الناس.

فيما يأتي عديد من التقنيات التي تم تطويرها وتطبيق بعضها عمليًا في المستشفيات والمراكز الطبية، وبعضها الآخر من الواجب التفكير في الاستثمار فيها بشكل مستمر.

نظرة عن التطورات السريعة في تكنولوجيا التصوير الطبي خلال القرن العشرين

عند سماع مصطلح التصوير الطبي، فإن ما يتبادر إلى الذهن هي صورة الأشعة، أو الأشعة السينية، كما هو متعارف عليه، وكما تم شرحه في الفصول السابقة، في حين أن الصور الإشعاعية هي أقدم طرق التصوير الطبي وأكثرها استخدامًا، فإن تكنولوجيا التصوير الطبي تقدمت بسرعة فائقة على مر السنين، سواءٌ أكان ذلك في الأفلام، أو الصور الرقمية، أو أنظمة مشاركة الملفات المتكاملة. إن علم الأشعة تاريخيًا هو علم رائد في تطبيق التطورات التكنولوجية لتحسين سير العمل ورعاية المرضى، ولم يقتصر ذلك على الأساليب التي يتم من خلالها الحصول على الصور وحسب، فقد كان هناك تركيز على المعالجة اللاحقة، والطرق الحديثة، والأكثر تقدمًا لمشاركة الصور الطبية وتخزينها؛ لأن التصوير الطبي ينقذ ملايين الأرواح كل عام، ويساعد الأطباء على اكتشاف الأمراض المختلفة وتشخيصها، ابتداءً من أمراض السرطان، والتهاب الزائدة الدودية، إلى السكتة الدماغية، وأمراض القلب. وقد تكون الخطوة التالية اليوم، هي إجراء عدد كبير من الاختبارات على أمل ظهور سبب واضح، لكن قد يبدو مستقبل الرعاية الصحية مختلفًا تمامًا، ومع تقدم تقنية التصوير الطبي، قد يتمكن الأطباء يومًا ما من النظر مباشرة إلى خلايا الرئة، ومراقبة نشاطها في الوقت الفعلي، وتحديد المرض بشكل دقيق، والعلاج الفريد الذي يجب أن يتلقاه الفرد لعلاج المرض ومسبباته.

بعض الاتجاهات العالمية في تطوير التصوير الطبي

عند النظر إلى المؤثرات التي قد تُسرِّع من عجلة التطور وخاصة في الجانب الطبي أو الصحي، فسنرى أنها قد تشتمل على الآتي: تأثيرات الشيخوخة في السكان،

وكم المعلومات والبيانات الضخمة، والرعاية الصحية الوقائية، إضافة إلى التغيرات الديموجرافية. هنالك طلب متزايد على التشخيص المبكر للأمراض المزمنة؛ مما يؤدي إلى زيادة الطلب على التصوير التشخيصي في جميع أنحاء العالم، فالتشخيص المبكر هو مفتاح العلاج الناجح في معظم حالات الأمراض المزمنة، ومع زيادة الوعي بالتشخيص المبكر ستزداد الحاجة إلى التصوير التشخيصي عن طريق الأشعة السينية، والتصوير المقطعي، والرنين المغناطيسي.

حاليًا قد يكون هناك عدة توجهات للتطوير العلمي في تخصص التصوير الطبي وهي: تعزيز دور الذكاء الاصطناعي (Artificial intelligence - AI) في تشخيص الصور الطبية، وذلك من خلال مساعدة طبيب الأشعة على اكتشاف الحالات الشاذة في الأنسجة البشرية، كذلك تحسين تجربة المريض التي ستشمل استخدام التصوير المتنقل وتطور الرعاية المنزلية والتشخيصية، وتطور أجهزة التشخيص المتحركة (القابلة للتنقل، أو الارتداء).

إضافة إلى ذلك التقليل من التعرض للإشعاع من خلال تقليل الحاجة إلى عمليات إعادة الالتقاط باستخدام خدمة التصوير الطبي الرقمي الذي يوفر أيضًا ما يأتي:

- قِصَر أوقات التعرُّض للإشعاع.
- تحسين إمكانية الكشف عن التفاصيل.
- جودة الصور عالية للغاية.
- سرعة المعالجة والتشخيص.
- سهولة تخزين الصور ومشاركتها مع الأطباء.
- القدرة على المشاهدة عن بُعد من الأجهزة الرقمية المتصلة.

فإذا نظرنا إلى اختلافات الأشعة السينية والأشعة الرقمية، نجد أن:

كلتيهما تستخدم الأشعة السينية التقليدية، وفلْمًا لالتقاط صور للبُنى الداخلية في الجسم، ولكن تكمُن مميزات التصوير الشعاعي الرقمي في إنتاج صورة إشعاعية لأجهزة الكشف الرقمية على الفور، وتُخزَّن الصور بشكل منفصل على وسيط رقمي

مثل: الكمبيوتر، كما يجعل التصوير الشعاعي الرقمي من السهل الوصول إلى الصور إلكترونيًا بواسطة مصوري الأشعة والأطباء وغيرهم من المهنيين الطبيين عبر السجلات الصحية الإلكترونية، أو الأجهزة التي تخزن معلومات المريض، ويمكن تصنيفها إلى نوعين:

- التصوير الشعاعي المحوسب (Computed Radiograph-CR) الذي يعمل من خلال عملية غير مباشرة، ويستبدل الفِلْم التقليدي المستخدم في التصوير الشعاعي التقليدي بلوحة تصوير (Imaging plate) ثم يتم نقل المعلومات إلى جهاز كمبيوتر لتحليلها.
- التصوير الشعاعي لنظام الكاشف الرقمي (Digital detector array) الذي يُعرف أيضًا ببساطة باسم التصوير الشعاعي الرقمي الذي يستخدم كاشفًا رقميًا، أو كاشف لوحة مسطحة لتحويل الأشعة السينية مباشرة إلى صورة رقمية.

لقد تم تحقيق عديد من التطورات في مجال التصوير الشعاعي الرقمي في السنوات الأخيرة، خاصة في جانب الأشعة السينية بمساعدة الذكاء الاصطناعي (AI)، والتصوير ثنائي الطاقة (Dual-energy)، والتركيب المقطعي للثدي (Tomosynthesis)، والتركيب التلقائي للصور (Automatic image stitching)، والتصوير الشعاعي الرقمي المتنقل (Digital mobile radiography). والتي نتج عنها تحسين جودة الصورة؛ مما ساعد على تعزيز رعاية المرضى ودعم نتائج أكثر نجاعة لهم، وقد يعتبر بعض الناس أن هذه التحديثات والتطورات تم تطبيقها واستخدامها فعليًا في أغلب المراكز الصحية، فقد لا تكاد تُعدّ من التطورات الحديثة حاليًا، ولربما يكون ذلك صحيحًا، ولكن هذا النوع من التكنولوجيا الرقمية يقع في محور تطوير التصوير الطبي؛ إذ أصبح هذا الشكل المتقدم من الفحوص بارزًا في مجال التصوير الطبي على مدار العقد الماضي، ومن خلاله تستمر التطورات الجديدة في إحداث تحول في مجال الأشعة، وسيتم شرح تقنيات التصوير الطبي الناشئة قيد التطوير أو في المرحلة المبكرة من الاعتماد السريري:

تطورات تقنيات التصوير بمساعدة جهاز الحاسوب والأجهزة الرقمية

(يمكن تطبيقها على التصوير المؤيَّن، وغير المؤيَّن، والنووي)

التشخيص بمساعدة الحاسوب (Computer-aided diagnosis-CAD)

وهنا يمكن أن نضع التشخيص بمساعدة الكمبيوتر عند تقاطع الطب وعلوم الكمبيوتر، حيث تم تصميم هذا النوع من تقنية التصوير الشعاعي الرقمي لتسهيل اتخاذ قرارات التشخيص من خلال خبراء الطب، وتوفر هذه التقنيات معلومات أو بيانات أساسية عن الأشعة السينية، والتصوير بالرنين المغناطيسي، والتصوير المقطعي المحوسب، والتشخيص بالموجات فوق الصوتية لاختصاصي تشخيص الأشعة للمساعدة في تحليل وتقييم الصور التشخيصية للمريض، وتشتمل على عدة أنواع أهمها:

- الكشف والتشخيص بمساعدة الكمبيوتر.
- الاكتشاف بمساعدة الكمبيوتر: حيث يحدد مناطق الصور التي تبدو غير طبيعية؛ لتقليل فرص عدم الكشف عن الأمراض، وتسليط الضوء على الحالات الشاذة.
- التشخيص بمساعدة الكمبيوتر: يوفر الدعم لتقييم الأمراض وتصنيفها، مثل: الأورام، والآفات المعروضة في الصور الطبية.

عادةً ما تقتصر أنظمة الكشف بمساعدة الكمبيوتر على تمييز الهياكل والأقسام الواضحة، كما تقوم أنظمة التشخيص بمساعدة الكمبيوتر بتقييم الهياكل البارزة. فعلى سبيل المثال: في التصوير الشعاعي للثدي يُبرِز برنامج الكمبيوتر مجموعات التكلس الدقيق والهياكل شديدة الكثافة في الأنسجة الرخوة، مما يسمح لاختصاصي تشخيص الأشعة باستخلاص استنتاجات حول تكوين المرض. لا يحل هذا النظام محل الطبيب، ولكنه يؤدي دورًا داعمًا، ويكون الطبيب واختصاصي الأشعة مسؤولين بشكل عام عن التفسير النهائي للصورة الطبية، ومع ذلك فإن الهدف من بعض أنظمة التشخيص بمساعدة الحاسوب هو اكتشاف العلامات المبكرة للشذوذ في المرضى الذين لا يستطيع المهنيون البشريون اكتشافها فيهم، ويعتمد هذا النظام أساسًا على

التعرف على الأنماط المعقدة للغاية؛ لذا عادة ما تكون هناك حاجة إلى بضعة آلاف من الصور لتحسين خوارزمية البحث و التشخيص، ويتم نسخ بيانات الصورة الرقمية فى خادم نظام التشخيص بمساعدة الحاسوب بتنسيق التصوير الرقمي والاتصالات في الطب، ويتم تحضيرها وتحليلها في عدة خطوات:

1. المعالجة المُسبَقة التي تُستخدَم في:

- الحد من وجود شوائب، أو خلل في الصور.
- تقليل وجود أي عوامل ضبابية في الصورة.
- تسوية (تنسيق) جودة الصورة (زيادة التباين).
- فلترة الصورة لزيادة الوضوح.

2. تجزئة (استخراج المعلومات):

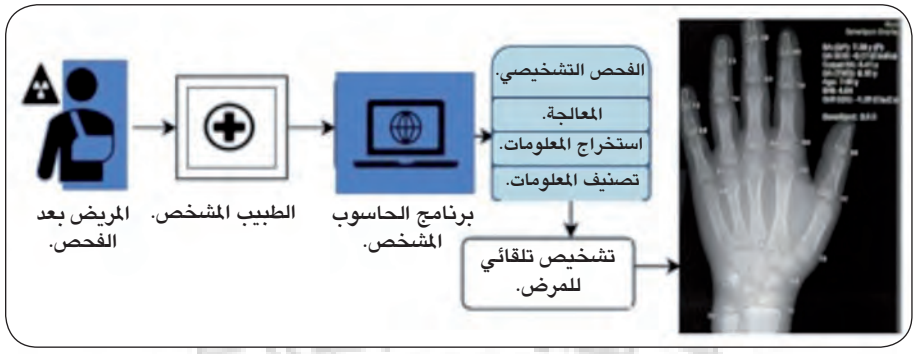
- التمييز بين الهياكل (الأعضاء) المختلفة في الصورة، على سبيل المثال: القلب، والرئة، والقفص الصدري، والأوعية الدموية، وبين الآفات المستديرة المحتملة.
- المطابقة مع بنك البيانات التشريحي.
- تحديد عيِّنة من القيم الرمادية في المنطقة المراد تشخيصها.

3. تحليل (الهيكل/ منطقة الجسم) المعلومات وتصنيفها على أساس:

- التراص (Compactness).
- الشكل، والحجم، والموقع.
- الإشارة إلى الأعضاء المقاربة لمنطقة الفحص.
- تحليل متوسط المستوى الرمادي ضمن منطقة الفحص (الاهتمام).
- نسبة المستويات الرمادية إلى حدود الهيكل (الأعضاء) داخل منطقة الفحص (الاهتمام).

4. التقييم/ التصنيف:

بعد تحليل الهيكل (العضو) منطقة التشخيص، يتم تقييم كل منطقة على حدة (يحدد لها نقاط/ العلامات) لاحتمالية وجود نتائج إيجابية حقيقية.



شكل يوضح خطوات نظام التعرف على الأنماط المعقدة للصور وخوارزمياتها وتحليلها من خلال الاختصاصي، أو الطبيب المشخص.

حالات استخدام تقنية التشخيص بمساعدة الحاسوب

كانت هذه التقنية دعامة أساسية في المجتمع الطبي لسنوات عديدة، واعتمدت الإصدارات الأولى من النظام على الهندسة اليدوية وخبرة مجال المستخدم، وتشتمل الأساليب الحديثة لبناء المعرفة في هذا النظام على استخدام الذكاء الاصطناعي والتعلُّم الآلي، فتعالج هذه الأنظمة الذكية أيضًا كميات كبيرة من البيانات السريرية المعقدة لإنشاء معرفة جديدة تمكنها من تحسين الأداء التشخيصي، كما يستخدم هذا البرنامج في مجموعة واسعة من التطبيقات الطبية لمساعدة أطباء الأشعة على تفسير الصور الطبية وإجراء تشخيصات أكثر دقة. تشمل التطبيقات الطبية الأكثر شيوعًا الكشف عن سرطان الثدي وتحديد العُقيدات الرئوية التي يمكن أن تسبب سرطان الرئة، كما يستخدم أيضًا بشكل شائع في اكتشاف وتشخيص كلٍّ من:

- سرطان القولون.
- سرطان البروستاتة.
- سرطان العظام.
- أمراض القلب التاجية.
- مرض ألزهايمر.
- اعتلال الشبكية السكري.

تجميع (أو ربط) الصور التلقائي (Automatic Image Stitching)

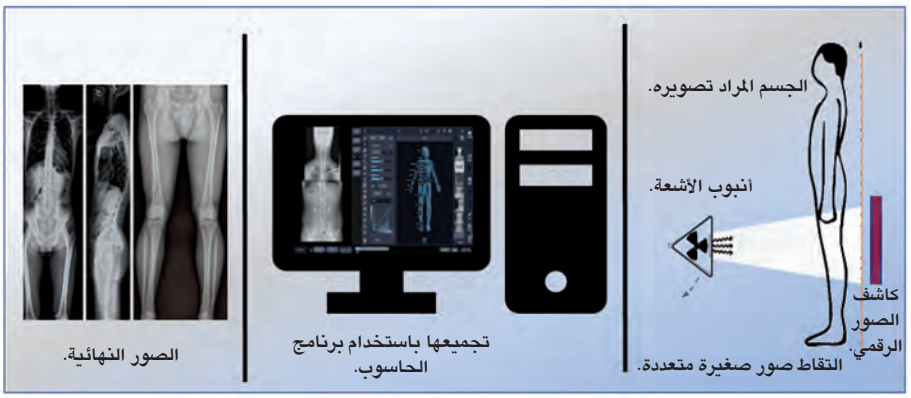
وهي عملية يتم فيها تجميع الصور الصغيرة لتشكيل صورة كبيرة أو متكاملة لجسم الإنسان، أو المنطقة المراد تشخيصها، ويمكن لنظام المسح الإشعاعي الرقمي في الوقت نفسه مسح أجزاء من جسم الإنسان، ولكن ليس الجسم كله، ولنفترض أن طبيب الأشعة يريد رؤية صورة لبِنية عظام المريض بالكامل للبحث عن الحالات الشاذة التي تشير إلى المشكلات الطبِية المُحتَمَلة، في هذه الحالة، يمكنه استخدام هذه التقنية "لتجميع" صور مناطق مختلفة من الجسم معًا. باستخدام خوارزميات الذكاء الاصطناعي والتعلُّم الآلي تتداخل جميع الصور التلقائية مع مناطق من المنطقة نفسها لإنشاء صورة بانورامية تمكّن الأطباء من تشخيص المرض في الحالات التي لا يوفر فيها مسح واحد رؤية كاملة للمنطقة التي تم فحصها، ومن المصطلحات الأخرى المستخدَمة في وصف هذه التقنية تسجيل الصور والتقاطها، كما تؤدي هذه التقنية الطبية التي من خلالها يتم تحويل مجموعتين، أو أكثر من بيانات التصوير إلى نظام إحداثي واحد، دورًا رئيسيًا في الروبوتات الطبية" التي تستخدم في الإجراءات طفيفة التوغل، والمراقبة المخصصة والمتكررة للمرضى الذين يعانون أمراضًا مزمنة، والعلاجات الذكية التي يتم استخدامها حاليًا في المستشفيات والمراكز العلاجية لتحسين جودة الرعاية ونتائج المرضى"، إضافة إلى الأنظمة الذكية من التشخيص، والتخطيط الجراحي إلى التوجيه في الوقت الفعلي، وتقييم ما بعد الإجراءات.

حالات استخدام التجميع (أو الربط) التلقائي للصور

يمكن تطبيق التجميع التلقائي للصور طبيًا بعدة طرق، على سبيل المثال: يمكن أن تتيح خياطة الصور للجراحين القيام بالتخطيط قبل إجراء العمليات الجراحية مثل: عمليات محاذاة الساق. إضافة إلى ذلك يمكن للمهنيين الصحيين رؤية صورة كاملة للعمود الفقري للمريض لتشخيص حالات مرضى الجنف (Scoliosis) (ميلان جانبي في العمود الفقري)، كما تشمل الدراسات الحديثة التي تقدم نظرة عن حالات استخدام الربط التلقائي للصور ما يأتي:

يشير مقال حديث في مجلة (Sensors) إلى أن آلية عمل خوارزمية التجميع البانورامية المُستخدَمة في التصوير المقطعي المحوسب بشعاع مخروطي قللت من حاجة المرضى إلى تغيير أوضاعهم عند التقاط الصور.

وفي التقارير العلمية يتم التحدث عن كيفية استخدام هذه التقنية لتجميع صور مختلفة لمنطقة واحدة بهدف المقارنة، فعلى سبيل المثال: يمكن أن تساعد الفحوص التي يتم إجراؤها في أوقات مختلفة في تحديد نمو الورم، أو تحديد آثار الجراحة في الجسم.



شكل يوضح عملية تجميع الصور الصغيرة لتشكيل صور كبيرة أو متكاملة لجسم الإنسان، أو المنطقة المراد تشخيصها.

تفسير الأشعة السينية بمساعدة الذكاء الاصطناعي

مع التقدم في رؤية الكمبيوتر والتعلم الآلي (Machine Learning) والذكاء الاصطناعي، وخوارزميات التعلم العميق، حقق علم الأشعة خطوات كبيرة في تحليل بيانات التصوير وتفسيرها. ومن خلال تفسير الأشعة السينية بمساعدة الذكاء الاصطناعي يمكن للاختصاصيين وأطباء الأشعة تحسين جودة رعاية المرضى من خلال تسريع دقة تشخيص الإصابات، والأمراض، وتحسينها، وعلاجها، ويعمل تفسير الأشعة السينية بمساعدة الذكاء الاصطناعي على النحو الآتي:

باستخدام الخوارزميات يقوم الذكاء الاصطناعي بتحليل البيانات والصور بسرعة عالية من قواعد البيانات الطبية العامة والخاصة، ثم يقارن الصور بالنتائج السابقة لتحديد الأنماط والشذوذ، وتشمل فوائد تفسير الأشعة السينية بمساعدة الذكاء الاصطناعي في التصوير التشخيصي ما يأتي:

- تتبُّع أسرع للمعلومات المهمة للتشخيص.
- القدرة على تحديد أولويات الحالات الحرِجة بشكل أفضل.
- الحد من الأخطاء في قراءة السجلات الصحية الإلكترونية.

حالات استخدام الأشعة السينية بمساعدة الذكاء الاصطناعي

تطور تفسير الأشعة السينية بمساعدة الذكاء الاصطناعي على مدى عدة سنوات ماضية، خاصة فيما يتعلق بتصوير الصدر بالأشعة، وهو أكثر فحوص التصوير التشخيصي شيوعًا في أقسام الطوارئ، وقد شمل التقدم:

- استخدام تفسير الأشعة السينية بمساعدة الذكاء الاصطناعي للمساعدة في تشخيص حالات للكورونا أو (كوفيد -19)، فوفقًا لبعض الدراسات التي أُجريت في بعض الدول الأوروبية، ساعدت تقييمات الأشعة السينية للصدر بمساعدة الذكاء الاصطناعي أطباء الأشعة على التمييز بين المصابين بفيروس كوفيد -19، والمرضى ذوي النتيجة السلبية، وتحسين دقة التشخيص من (65.9-81.9%).
- كما وجدت دراسة نُشرت في المجلة العلمية جاما (JAMA) أن خوارزميات الذكاء الاصطناعي تؤدي أداءً جيدًا، وكذلك الأطباء المقيمون عند إجراء تفسيرات أولية لأشعة الصدر، ومن ثَمَّ تشير نتائج الدراسة إلى أنه يمكن للذكاء الاصطناعي تحسين سير عمل الأشعة، وتعزيز النظرة الشاملة؛ مما يساعد في إجراء تشخيصات أكثر دقة، والمساعدة في معالجة المشكلات المتعلقة بنُدرة الموارد، وخفض تكاليف الرعاية الصحية.

بالطبع سيكون السؤال ما إذا كان بإمكان الذكاء الاصطناعي اجتياز امتحان الممارسة، وبالفعل يمكن الوثوق به باعتباره مشخصًا وحيدًا من دون الاستعانة بطبيب الأشعة. ولمعرفة ذلك، قارن الباحثون أداء أداة ذكاء اصطناعي متاحة تجاريًا مع 26 اختصاصي أشعة (تتراوح أعمارهم بين 31 و 40 عامًا، 62% من الإناث)، وتم تدريب الأداة للذكاء الاصطناعي لتقييم صور الصدر والعظام (العضلات والعظام) لعديد من الحالات بما في ذلك الكسور، وتورم المفاصل وخلعها، وتضرر الرئتين، وعندما تم استبعاد الصور غير القابلة للتفسير من التحليل، حقق مرشح الذكاء الاصطناعي

متوسط دقة إجمالية بلغت 79.5%، واجتاز اثنين من عشرة اختبارات، بينما حقق اختصاصي الأشعة المتوسط دقة متوسطة بلغت 84.8%، واجتاز أربعة من عشرة اختبارات وهمية. كانت حساسية (القدرة على تحديد المرضى الذين يعانون حالة ما بشكل صحيح) مرشح الذكاء الاصطناعي 83.6%، والخصوصية (القدرة على التعرُّف بشكل صحيح على المرضى من دون حالة) كانت 75.2، مقارنة بـ 84.1% و 87.3% عبر جميع أطباء الأشعة. من خلال 148 من أصل 300 صورة شعاعية تم تفسيرها بشكل صحيح عن طريق أكثر من 90% من أطباء الأشعة، كان مرشح الذكاء الاصطناعي صحيحًا في 134 (91%)، وغير صحيح في الـ 14 المتبقية (9%).

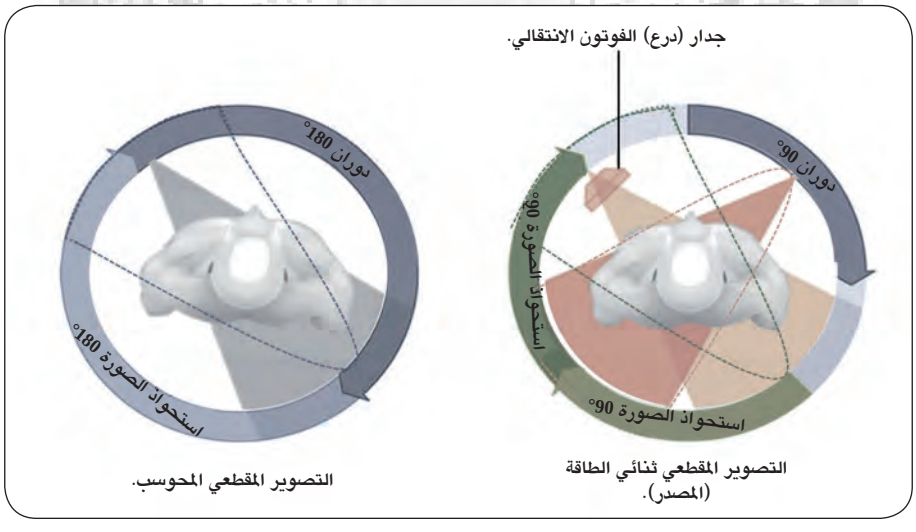
قد يسهل الذكاء الاصطناعي سير العمل، لكن المدخلات البشرية ما تزال حاسمة، وفيما أن استخدام الذكاء الاصطناعي "لديه إمكانات غير مستغلة لتسهيل الكفاءة ودقة التشخيص بشكل أكبر لتلبية مجموعة من متطلبات الرعاية الصحية" يجب تثقيف الأطباء واختصاصيي الأشعة بشكل أفضل حول قيود الذكاء الاصطناعي وجعلها أكثر شفافية، ويتمتع الذكاء الاصطناعي بالقدرة على إحداث ثورة في صناعة التصوير الطبي المتقدم، فمن خلال التحليلات القائمة على الذكاء الاصطناعي يمكن تحسين التوافق مع مئات تقنيات الذكاء الاصطناعي في التطوير وسرعة اتخاذ القرار، وهو ما يصعب تطبيقه في بيئة الأطباء الحية. فعلى سبيل المثال:

- يُعدّ "PROFOUND AI" من ICAD حلًا لتصوير الثدي الثلاثي الرقمي (Digital Breast Tomosynthesis-DBT)، وهو يساعد الأطباء المختصين بالأشعة على رؤية كل طبقة من الأنسجة، ومن ثَمَّ اكتشاف السرطان بنسبة تصل إلى 8% في وقت أقرب في المتوسط، ويمكن أن يقلل ذلك من الوقت الذي يقضيه طبيب الأشعة المشخص في قراءة فحوص الثدي بأكثر من 50 بالمائة.
- إضافة لتعاون شركتي (Siemens Healthineers و Intel) لاستكشاف كيف يمكن للذكاء الاصطناعي تحسين تشخيصات التصوير بالرنين المغناطيسي للقلب، حيث يحتاج أطباء القلب حاليًا إلى تقسيم عديد من أجزاء القلب المختلفة في التصوير، وهي مهمة تستغرق وقتًا طويلًا، ولكن مع تطور التقنيات يمكن لتقنية التجزئة الفورية المدعومة بالذكاء الاصطناعي أن تمكن المتخصصين من رؤية مزيد من المرضى كل يوم.

تطورات تقنيات الأشعة المؤيَّنة

التصوير ثنائي الطاقة (Dual-energy imaging)

وهو نوع من التصوير الشعاعي الرقمي، أو بالتحديد التصوير المقطعي المحوسب والمعروف أيضًا باسم التصوير المقطعي المحوري (Computerized Axial Tomography-CAT)، وبخلاف التصوير المقطعي المحوسب القياسي الذي يستخدم أنبوب الأشعة السينية المعتاد الذي بدوره ينتج الأشعة التي تمر عبر الجسم بزوايا متعددة ويتم التقاطها بواسطة أجهزة الكشف الرقمية، ومن ثَمَّ يقوم الكمبيوتر بعد ذلك بتجميع البيانات الملتقطة لعمل صور مقطعية للجسم بصورة شرائح، يستخدم ماسح التصوير المقطعي المحوسب ثنائي الطاقة وبشكل مشابه أنبوب الأشعة السينية، إضافة إلى أنبوب ثانٍ منخفض الجهد للأشعة السينية، وتوفر عملية استخدام مصدرين مختلفين لطاقة الأشعة السينية بقدرة متفاوتة مزايا أكثر مقارنة بالتصوير المقطعي المحوسب القياسي؛ لأنها تنتج صورًا أوضح للكشف عن الآفات والتشوهات في وقت أسرع، وفي الحالات التي تُستخدم فيها الصبغة (عامل التباين) يمكن لماسح التصوير المقطعي المحوسب ثنائي الطاقة اكتشاف اليود بشكل أكثر وضوحًا من ماسح التصوير المقطعي المحوسب القياسي؛ مما ينتج عنه صور أكثر تفصيلًا يمكن أن تساعد على تحسين التشخيص.



شكل يوضح التصوير ثنائي الطاقة.

حالات الاستخدام للتصوير ثنائي الطاقة

أظهرت الأبحاث التي تعود إلى السبعينيات والثمانينيات من القرن الماضي مزايا تقنية الطاقة المزدوجة في تحسين توصيف الأنسجة، ومع ذلك فإن طول الوقت المطلوب للحصول على البيانات حَدَّ من قابلية استخدام التصوير ثنائي الطاقة للتصوير التشخيصي. أما حاليًا ومع التطورات الحديثة، فتسمح التكنولوجيا الجديدة ذات المعالجات الأسرع بالحصول على البيانات وتحليلها بشكل أسرع؛ مما يزيد من اعتماد التصوير ثنائي الطاقة في المجتمع الطبي، كما يمكن استخدام التصوير ثنائي الطاقة فيما يأتي:

- لإنتاج صور فضلى للأوعية الدموية.
- لتقليل عدد الفحوص التي يجب أن يخضع لها المريض.
- للكشف عن التشوهات في الجسم، على سبيل المثال: الكشف عن نوع حصوات الكلى الموجودة في المريض.
- لتحسين جودة الصورة، إذا كان لدى المريض تركيبات معدنية في هيكل جسمه.
- لإنتاج صور جيدة التصميم لإعادة بناء ثلاثي الأبعاد متقدم للهياكل.

تصوير الثدي الشعاعي ثلاثي الأبعاد (Tomosynthesis)

وهو نوع متقدم من التصوير الشعاعي للثدي الرقمي مُعتَمد من خلال إدارة الغذاء والدواء (FDA) ويُطلق عليه عديد من الأسماء، بما في ذلك التصوير الشعاعي ثلاثي الأبعاد للثدي، أو التركيب المقطعي للثدي، أو التركيب المقطعي الرقمي للثدي. تصوير الثدي الشعاعي ثلاثي الأبعاد (أو إعادة البناء المحوسب لأجزاء الثدي) هو فحص تصويري يجمّع صور الأشعة السينية لتكوين صورة ثلاثية الأبعاد للثدي. ولربما لا يعتبر بعض الناس أن هذا النوع من التصوير يُعدُّ من أساليب التصوير الحديثة؛ لأنه من طرق التصوير التي أصبحت أكثر شيوعًا لتصوير الثدي، ولكنه غير متوفر في جميع المنشآت الطبية، ويُستخدم تصوير الثدي الشعاعي ثلاثي الأبعاد للكشف عن سرطان الثدي لدى النساء اللاتي لا تظهر عليهن أي مؤشرات، أو أعراض المرض، ويمكن استخدامه أيضًا للتحقق من أسباب مشكلات الثدي مثل: تكتل الثدي أو الشعور بألم في الثدي. عند فحص الثدي يقوم جهاز التصوير بإنتاج صور ثلاثية الأبعاد وصور التصوير الشعاعي القياسي ثنائية الأبعاد للثدي، والاختلاف الرئيسي

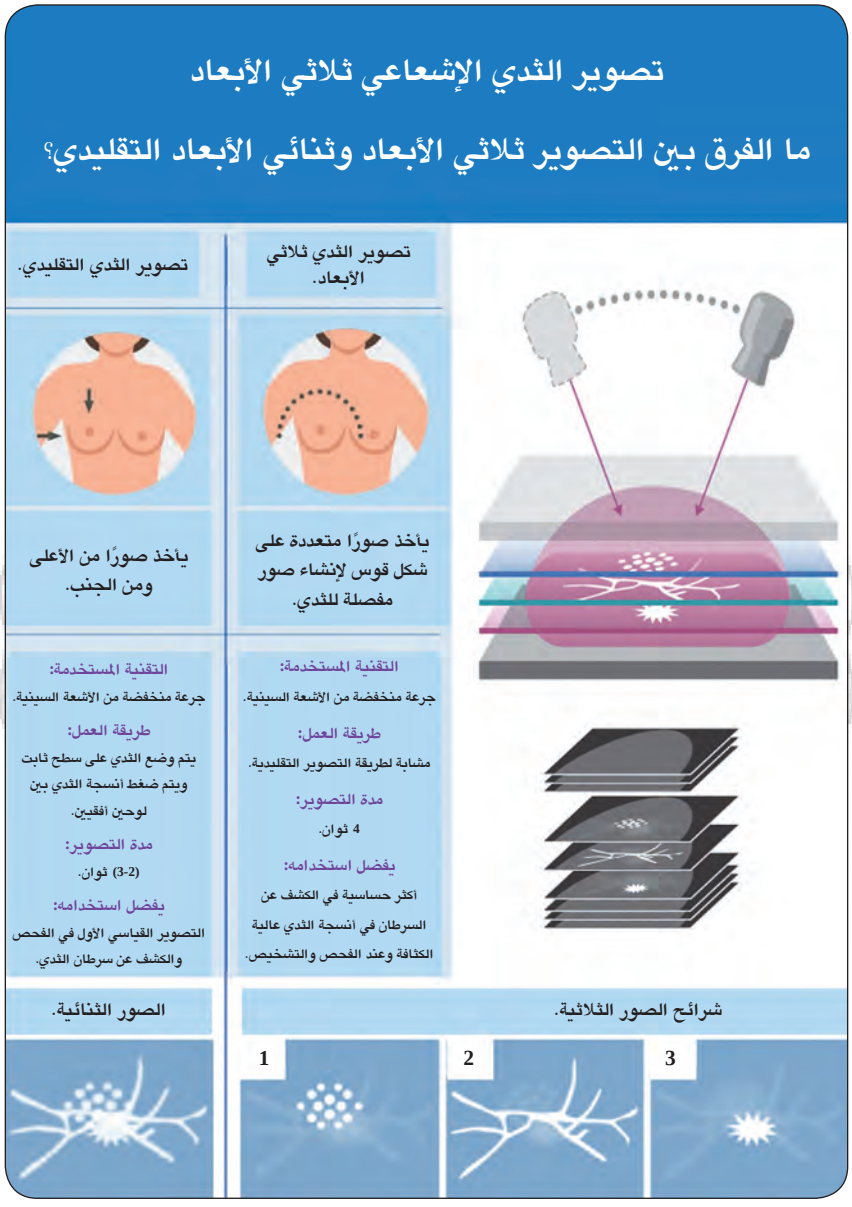
في هذا الجهاز عن الجهاز السيني التقليدي هو أنه يأخذ مزيدًا من صور الثدي من عدة زوايا، وبذلك تُظهر الصورة ثلاثية الأبعاد مزيدًا من التفاصيل؛ مما يسهل التمييز بين الأنسجة السليمة والسرطانية المحتملة.

عند التصوير السيني التقليدي للثدي، يتم وضع الثدي على دعامة (مسندة) مسطحة ويتم الضغط عليه بين لوحين أفقيين، ثم يلتقط الجهاز صورًا ثنائية الأبعاد من زاويتين، من أعلى إلى أسفل، ومن جانب لآخر، وعند إضافة التصوير الثلاثي، يتحرك ذراع جهاز التصوير الشعاعي (أنبوب الأشعة السينية) على شكل قوس فوق الثدي، حيث يلتقط عديدًا من الصور ثنائية الأبعاد من زوايا متعددة في أثناء تحركه. ومن ثَمَّ يتم تحويل الصور ثنائية الأبعاد إلى صورة رقمية وإدخالها في جهاز الكمبيوتر الذي بدوره يستخدم خوارزميات لتُجمع في صورة ثلاثية الأبعاد؛ مما يعطي رؤية أكثر اكتمالاً لثدي المريض.

حالات استخدام التصوير الثلاثي للثدي

أفادت شركة جونز هوبكنز ميديسن (Johns Hopkins Medicine) أن عملية التجميع المقطعي الثلاثي لصور الثدي يمكنها أن تكشف عن 41% من السرطانات الجائحة (الغازية)، ووفقًا لمؤسسة ستانفورد هيلث كير (Stanford Health Care)، فإن استخدام هذا النوع من الفحوص يمكنه أن يقلل نسبة نتائج الإيجابيات الخاطئة بمعدل 15%. كما كشفت دراسة نُشرت في المجلة الأوروبية لتصوير الأشعة (European Radiology) أن أطباء الأشعة يمكنهم تحسين قدرتهم على الكشف عن السرطان، إضافة إلى التقليل من وقت قراءة الصور عند استخدام نظام دعم القراءة بالذكاء الاصطناعي، كما يمكنه أيضًا تحسين (زيادة) الدقة في التشخيص بشكل عام، وخاصةً عند دمجه مع التصوير الشعاعي للثدي التقليدي، وتشمل المزايا الإضافية لاختصاصي أطباء الأشعة والمرضى ما يأتي:

- الكشف عن سرطان الثدي في مراحله المبكرة، أو عند المرضى الذين لا تظهر عليهم أي أعراض.
- دقة كبيرة في فحص سرطان الثدي للأشخاص ذوي الأثداء كثيفة الأنسجة.
- تحديد الأورام التي يمكن أن تفوتها صور الثدي الشعاعية التقليدية.
- الحد من عمليات الاسترجاع والنتائج الإيجابية الكاذبة.



شكل يوضح تصوير الثدي الشعاعي ثلاثي الأبعاد، وتحويل الصور ثنائية الأبعاد إلى صورة رقمية ثلاثية الأبعاد التي يمكنها تزويد طبيب الأشعة بمزيد من المعلومات الطبية عن أمراض الثدي، وآفاته.

لا يوجد دليل كافٍ لاستنتاج ما إذا كانت عمليات التصوير الشعاعي ثلاثي الأبعاد للثدي تقلل من خطر الموت؛ نتيجة الإصابة بسرطان الثدي مقارنةً بالتصوير الشعاعي القياسي للثدي وحده؛ ولهذا السبب لا تشير معظم الإرشادات بشأن فحص سرطان الثدي إلى أن النساء عليهن اختيار عمليات التصوير الشعاعي ثلاثي الأبعاد للثدي عن التصوير الشعاعي القياسي له.

بعض تطورات تقنيات التصوير المؤيَّن قيد التطوير، أو في المرحلة المبكرة من الاعتماد السريري

إعادة بناء التعلم العميق (Deep Learning Reconstruction)

هي أحدث خوارزمية إعادة بناء معقدة يتم تقديمها والتي تسخِّر التطورات في الذكاء الاصطناعي وتكنولوجيا الحواسيب العملاقة ذات الأسعار المعقولة؛ لتحقيق أفضل صورة بجودة عالية، وجرعة إشعاعية منخفضة.

التصوير بالأشعة السينية على النقيض من الطور، أو التصوير بالأشعة السينية الحساسة (X-Ray Phase-Contrast Imaging)

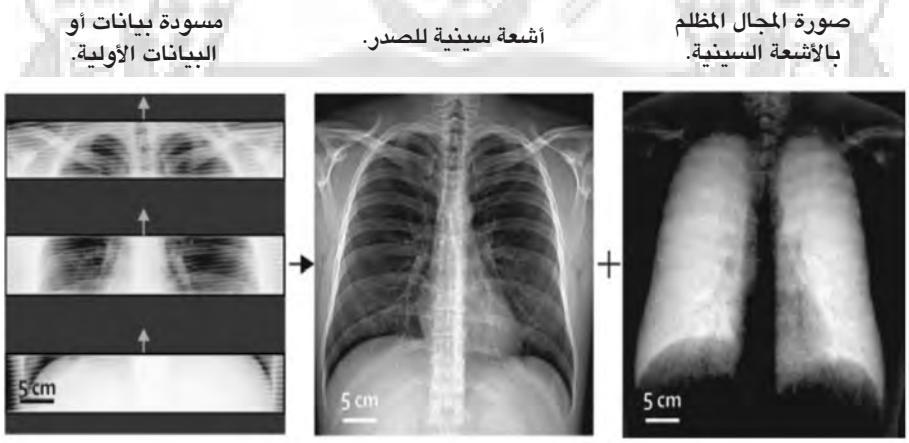
هي طريقة للتصوير تُستخدَم لإبراز تصوير تباين حواف المنطقة المصورة والحدود الداخلية، ومن ثَمَّ فهي طريقة مكملة لتباين الامتصاص، وهو أكثر حساسية لجزء كبير من العينة. يمكن أيضًا استخدام تباين الطور لتصوير المواد منخفضة الكثافة التي لا تمتص الأشعة السينية بشكل كافٍ لتشكيل صورة الأشعة السينية التقليدية.

تصوير المجال المُظلِم بالأشعة السينية (X-Ray Dark-Field Imaging)

يسمح التصوير بالأشعة السينية للمجال المظلم بالأخص في منطقة الصدر بتشخيص انتفاخ الرئة في المرضى الذين يعانون مرض الانسداد الرئوي المزمن، ولأن هذه التقنية توفر معلومات ذات صلة تمثل الحالة الهيكلية لنسيج (نسيج الرئة الأسفنجي) مَتْن الرئة (Lung Parenchyma) قد توفر جرعة إشعاع منخفضة بديلة عن التصوير المقطعي المحوسب في مرض الانسداد الرئوي المزمن، وربما اضطرابات الرئة الأخرى.

التصوير المقطعي بالحقل المظلم (Dark-Field CT)

التصوير المقطعي المحوسب للمجال المظلم هو تقنية تصوير طبي ناشئة، فبينما يقيس التصوير المقطعي المحوسب التقليدي خصائص التوهين التفاضلي للأنسجة المختلفة، فإن التصوير المقطعي بالحقل المظلم يستخدم خصائص تشتت الزاوية الصغيرة (المجال المظلم)، وفي نماذج التطبيق الأولية الحيوانية وهي ما قبل السريرية، أظهر إمكاناته في تشخيص مجموعة متنوعة من أمراض الرئة (مرض الانسداد الرئوي المزمن، والتليف، والالتهابات، والأورام، وما إلى ذلك) ولكن نظرًا للتحديات التقنية المختلفة، فقد وجد أن تطوير التكنولوجيا أمر صعب، ومع ذلك، فقد ثبت مؤخرًا أن تصوير المجال المظلم يمكن إجراؤه أيضًا من خلال تعديلات طفيفة نسبيًا في أحدث أنظمة التصوير المقطعي المحوسب السريرية الحالية.



شكل يوضح خطوات التصوير بالمجال المظلم بالأشعة السينية.

عد الفوتون في التصوير المقطعي المحوسب (Photon Counting CT)

وفيه يتم حساب عدد الفوتونات الواردة وقياس طاقة الفوتون، وينتج عن هذه التقنية نسبة تباين أعلى للضوضاء، ودقة مكانية محسنة، وتصوير طيفي محسَّن.

التصوير الافتراضي غير المتباين من دون الصبغة (Virtual Non-Contrast Imaging)

هو تقنية ما بعد المعالجة للصور تُستخدم لإنشاء صور "غير متباينة" لعمليات المسح المحسّن بالتباين عن طريق طرح (إزالة) الصبغة (اليود)، وهي تقنية تصوير فريدة من نوعها في التصوير المقطعي المحوسب ثنائي الطاقة، ولديها القدرة على استبدال التصوير المقطعي المحوسب التقليدي غير المتباين في التصوير متعدد الأطوار (Multi-Phasic)، ومع ذلك فإن ملاءمة التطبيق تختلف من دراسة إلى أخرى. تنتج قيم التوهين "قراءات مماثلة" للدراسات الرسمية غير المتباينة، وتُعد الأهمية السريرية لهذه التناقضات مجالًا مستمرًا للبحث.

تطورات تقنيات الأشعة غير المؤيَّنة

الموجات فوق الصوتية

الموجات فوق الصوتية الحركية المغناطيسية (Magnetomotive Ultrasound)

هي طريقة تصوير طبية ناشئة، تستخدم اهتزاز الأنسجة المنفصل الناجم عن الجسيمات النانوية لأكسيد الحديد المغناطيسي الفائق (Superparamagnetic iron oxide) تحت مجال مغناطيسي خارجي. في حين أن عوامل التباين بالموجات فوق الصوتية ذات الفقاعات الدقيقة المستخدمة حاليًا هي داخل الأوعية الدموية حصريًا، ويمكن أن تخرج الجسيمات النانوية لأكسيد الحديد المغناطيسي الفائق بسهولة من الأوعية الدموية، ومن ثَمَّ يمكن استخدامها لاستهداف نطاق أوسع من الأنسجة والعلامات الخلوية؛ ونتيجة لذلك يمكن استخدام الموجات فوق الصوتية المحركة المغناطيسية نظريًا لمجموعة متنوعة من تطبيقات التصوير الجزيئي.

التصوير الممتاز للأوعية الدموية الدقيقة (Superb Microvascular Imaging) أو تصوير تدفق الأوعية الدموية الدقيقة (Microvascular Flow Imaging)

يختلف مسمى هذه التقنية حسب الشركات المصنِّعة لتقنية التصوير بالموجات فوق الصوتية التي تم تطويرها مؤخرًا، والتي تهدف إلى تصوير تدفق الأوعية الدموية

بسرعة منخفضة وقطر صغير. على عكس التصوير التقليدي للألوان والقوة باستخدام دوبلر، يمكن للتصوير الممتاز للأوعية الدموية الدقيقة أن يحدّ من الضوضاء الناتجة عن آثار الحركة من دون إزالة الإشارة الضعيفة الناشئة عن تدفق الدم في الأوعية الدموية الصغيرة، ومن ثَمَّ يحقق حساسية كبيرة. عادةً ما يعرض التصوير الممتاز للأوعية الدموية الدقيقة (على غرار دوبلر القوي) خريطة أحادية اللون لتدفق الدم، على الرغم من أن بعض الأنظمة قادرة الآن على توفير معلومات اتجاهية مشفرة بالألوان أيضًا.

حالات استخدام تصوير الأوعية الدموية الدقيقة

نظرًا للحداثة النسبية لتقنية تصوير الأوعية الدموية الدقيقة الممتاز، لا توجد أدلة سريرية قوية حول استخدامها. تُظهِر الأبحاث الحالية أنه يمكن الاستفادة منها في وصف آفات الكبد البؤرية والمنتشرة، وتقييم الأوعية الدموية لكتل الثدي، وتقييم عقيدات الغدة الدرقية، ويُستخدم تصوير الأوعية الدموية الدقيقة الممتاز أيضًا باعتبارها أداة مساعدة في الموجات فوق الصوتية للعضلات والعظام من خلال السماح بالكشف الأكثر حساسية عن زيادة الأوعية الدموية في الأوتار، ومحفظة (Capsule) المفاصل، والأعصاب الطرفية. أظهرت بعض الدراسات أيضًا استخدامه المحتمل في تقييم الأوعية الدموية داخل اللويحة، ومن ثَمَّ في تقييم خطر النزف في لويحات الشريان السباتي.

بعض من تطورات تقنيات التصوير غير المؤيَّن التي هي قيد التطوير، أو في المرحلة المبكرة من الاعتماد السريري

التصوير بالدوبلر فائق السرعة (Ultrafast Doppler Imaging)

هو تقنية حديثة في عالم التصوير الطبي، والأشعة تمكن من تصوير الطبقات المختلفة في الجسم باستخدام موجات فوق صوتية بسرعة فائقة، حيث يمكنها اكتشاف الفروق في تدفق الدم بدقة عالية، وتتميز هذه التقنية بمعدل إطار عالٍ (Frame Rate) (يعني: عدد الصور، أو اللقطات التي يتم التقاطها في الثانية الواحدة

في أثناء عملية التصوير، كل صورة أو إطار يمثل جزءًا من الوقت، وعند عرض هذه الإطارات بتسلسل سريع يمكن تكوين فيديو، أو تصوير ديناميكي لحركة الأنسجة في الجسم) يصل إلى آلاف الصور في الثانية (أقل من 100 إطار/ ثانية)؛ مما يسمح بإنشاء صور ديناميكية توضح النشاط الدموي والأنماط الدقيقة للتدفق.

تتيح هذه الإستراتيجية الجديدة القدرة على الكشف عن تغيرات دقيقة في حجم انتقال موجات الضغط في الأنسجة ووقتها؛ مما يمكّن من تشخيص أدق للأمراض المختلفة، ويمكن استخدام هذه التقنية مع أنماط تصوير أخرى مثل: التصوير المرن بالموجات فوق الصوتية (Shear wave elastography) للحصول على صورة شاملة شديدة الدقة لحالة الأنسجة.

التصوير الصوتي الكهرومغناطيسي (Electromagnetic Acoustic Imaging)

هو تقنية تصوير جديدة تستخدم موجات كهرومغناطيسية طويلة الموجة (Electromagnetic) للحث على انبعاث الموجات فوق الصوتية.

الموجات فوق الصوتية الدقيقة (Micro Ultrasound)

إجراء يستخدم موجات صوتية عالية الطاقة لإنشاء صور للأعضاء والأنسجة تكون أكثر تفصيلاً من الموجات فوق الصوتية القياسية.

التصوير بالرنين المغناطيسي

التصوير بالرنين المغناطيسي باستخدام استشعار مضغوط (Compressed Sensing)

هو طريقة تهدف إلى تسريع الحصول على التصوير بالرنين المغناطيسي من خلال استخدام عدد أقل من العينات في فضاء k (k-space)، وتوفر هذه الآلية القدرة على تقليل كمية البيانات المطلوبة؛ مما يسهم في تحسين كفاءة التصوير بالرنين المغناطيسي ووقته، مع الحفاظ على جودته.

التصوير بالرنين المغناطيسي بنقل التشبع الكيميائي (Chemical Exchange Saturation Transfer)

هي تقنية جديدة بالرنين المغناطيسي تعتمد على تصوير مركبات معينة بترددات منخفضة جدًا، وتُستخدم هذه التقنية؛ للكشف عن أنواع محددة من الجزيئات مثل: البروتينات، والأحماض الأمينية من خلال تأثيرها في الإشارات الرنينية.

تُعتبر هذه التقنية مفيدة؛ لأنها تمكِّن من تصوير محتوى البروتين ودرجة الحموضة بدقة عالية، وأحد أشكالها المعروف بنقل البروتون الأميدي يُستخدم بشكل خاص؛ لتصوير تباين البروتين في الأورام الدماغية؛ مما يساعد على التفريق بين الأنسجة الطبيعية والمصابة.

التصوير بالرنين المغناطيسي الإلكتروني (Electron Paramagnetic Resonance Imaging)

يُعدّ التصوير بالرنين المغناطيسي الإلكتروني والتحليل الطيفي طريقة تصوير قبل سريرية مع إمكانية ترجمتها إلى تقنية تصوير سريري في المستقبل. باختصار يسمح التصوير بالرنين المغناطيسي للإلكترون باكتشاف جزيئات الجذور الحرة وتقديرها مع إلكترونات غير مقترنة؛ مما يسمح بقياس إنتاج الجذور الحُرّة وحالة الأكسدة والاختزال في الكائنات الحية ذات الآثار العملية المتعددة (مثل: تقييم نقص الأكسجة في الورم.

التصوير بالرنين المغناطيسي منخفض المجال (Low-Field MRI)

يُعدّ التصوير بالرنين المغناطيسي منخفض المجال نهجًا ناشئًا للتصوير بالرنين المغناطيسي بقدرات منخفضة، ولكن بتكلفة قليلة، والذي يهدف إلى توفير جودة صورة تشخيصية باستخدام أجهزة ذات شدة مجال منخفضة بعدة أحجام (عادةً أقل بكثير من 0.1 تسلا) من معظم الوحدات الثابتة. تسمح شدة المجال المنخفضة لهذه الأجهزة بتحسين الحركة والتصوير بالرنين المغناطيسي في نقطة الرعاية على سبيل المثال: وحدات العناية المركزة. كما أن شدة المجال المنخفضة للغاية تجعل هذه الأجهزة آمنة للعمل بالقرب من المواد المغناطيسية الحديدية، كما تسهل أيضًا تصوير

المرضى حينما يكونون في حالة حرجة. أظهرت الدراسات المبكرة باستخدام أجهزة التصوير بالرنين المغناطيسي المتنقلة ذات المجال المنخفض جدًا (T0.064) إمكانات متنوعة للتطبيق، لا سيما لمتابعة أمراض الجهاز العصبي المركزي مثل: نزف الدماغ والاحتشاءات من دون الحاجة إلى إخراج المريض من وحدة العناية المركزة.

الرنين المغناطيسي بالبصمة (MRI Fingerprinting)

بصمة الرنين المغناطيسي (MRF) هي منهجية في التصوير بالرنين المغناطيسي الكمي (MRI) تتميز بإستراتيجية اكتساب شبه عشوائية، وهي تنطوي على إنشاء أنماط إشارة فريدة أو «بصمات» لمواد أو أنسجة مختلفة، وبعد ذلك تقوم خوارزمية التعرُّف على الأنماط بمطابقة هذه البصمات مع قاموس مُحدَّد مسبقًا لأنماط الإشارة المتوقعة. تترجم هذه العملية البيانات إلى خرائط كمية، وتكشف عن معلومات حول الخصائص المغناطيسية التي يتم التحقيق فيها.

أظهرت بصمة الرنين المغناطيسي وعدًا في توفير قياسات قابلة للتكرار؛ مما يوفر مزايا محتملة من حيث الموضوعية في تشخيص الأنسجة، والمقارنة عبر عمليات المسح المختلفة والمواقع، وتطوير المؤشرات الحيوية للتصوير، تم استكشاف التكنولوجيا في تطبيقات سريرية مختلفة، بما في ذلك تصوير الدماغ والبروستاتة، والكبد، والقلب، والجهاز العضلي الهيكلي، إضافة إلى قياس خصائص تدفق الدم والأوعية الدموية الدقيقة من خلال بصمة الأوعية الدموية بالرنين المغناطيسي.

تطورات تقنيات الطب النووي

التصوير المقطعي بانبعاث البوزيترون مع التصوير المقطعي المحوسب (PET-CT)

هو شكل من أشكال التصوير ثنائي الأسلوب الذي يستخدم مزايا كلٍّ من التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني (PET) والتصوير المقطعي المحوسب (CT) معًا، ويتفوق التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني في تفصيل الظواهر الفيزيولوجية، أو البيولوجية من خلال إعطاء الأدوية المُشعَّة الباعثة للبوزيترون. وينشئ التوزيع البيولوجي للمقتفي داخل الجسم خرائط فيزيولوجية للوظيفة الخلوية

اعتمادًا على المستحضرات الصيدلانية، فيما يوفر التصوير المقطعي المحوسب الذي تم الحصول عليه بشكل متزامن تفاصيل تشريحية مع دقة مكانية فائقة للتصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني، ويسمح التسجيل المشترك لبيانات التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني والتصوير المقطعي المحوسب، بالتحديد التشريحي الدقيق للمناطق التي يزيد فيها امتصاص جهاز تتبع التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني.

يتضمن بروتوكول هذا النوع من التصوير النموذجي حقن دواء إشعاعي معين متبوعًا بفترة امتصاص/ انتظار محددة. الأدوية الإشعاعية الأكثر استخدامًا هي فلوروديوكسي جلوكوز (^{18}F fluorodeoxyglucose)، ومع ذلك هناك عديد من أدوات التتبع الجديدة الناشئة لمؤشرات سريرية مختلفة، على سبيل المثال: (مستضد البروستاتة النوعي باستخدام مادة جاليوم 68 للتتبع (Ga-68 PSMA) لسرطان البروستاتة، أو دوتات الجاليوم 68 (Ga-68 DOTATATE) لأورام الغدد الصماء العصبية، ويتم إجراء فحوص هذه التقنية بالتتابع للمريض في الموضع نفسه للسماح بالتسجيل المشترك لكلتا المجموعتين من الصور. يمكن عرض الصور جنبًا إلى جنب، أو دمجها لتركيب بيانات التصوير البوزيتروني على التصوير المقطعي المحوسب. تتضمن إحدى مزايا التصوير الهجين استخدام نظام التصوير المقطعي المحوسب لتصحيح التوهين الذي يحسِّن الدقة المكانية وتفاوت البيانات، وهذه المعلومات مستمدة من تقدير معاملات التوهين الخطي لكل فوكسل عند 511 كيلو فولت باستخدام أرقام كثافة التصوير المقطعي.

التصوير المقطعي بانبعاث البوزيترون مع التصوير المقطعي المحوسب (PET-CT) له تطبيقات خاصة بالأورام وغير متعلقة بها

التطبيقات السرطانية:

- تدريج الحدود وتحديدها (baseline staging).
- تخطيط العلاج، على سبيل المثال: قبل العلاج الإشعاعي أو إجراء الجراحة.
- تقييم الاستجابة للعلاج وتغييرات ما بعد العلاج.
- تقييم استقرار المرض، أو تطوره.
- التمييز بين الآفات الحميدة، والخبيثة.

التطبيقات غير السرطانية:

- أمراض القلب، على سبيل المثال: نقص تروية عضلة القلب، وساركويد القلب.
- أمراض الأعصاب، على سبيل المثال: الخرف، والاضطرابات التنكسية العصبية الأخرى، والصرع/ النوبات.
- التهاب الأوعية الدموية، على سبيل المثال: التهاب الشرايين ذو الخلايا العملاقة.

التصوير المقطعي بانبعاث البوزيترون مع تصوير الرنين المغناطيسي (Positron Emission Tomography Magnetic Resonance Imaging – PET-MRI)

هي تقنية تصوير هجينة تستخدم معلومات الامتصاص الوظيفية للتصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني (PET) مع تفاصيل الأنسجة التشريحية واللينة للتصوير بالرنين المغناطيسي (MRI). تم اختبار الأنظمة المبكرة في أواخر العقد الأول من القرن الحادي والعشرين مع توفر تجاري من عام 2010م. ما يزال توافر التصوير المقطعي بانبعاث البوريترون مع التصوير بالرنين المغناطيسي (PET-MRI) محدودًا، ويرجع ذلك إلى حد كبير إلى التكاليف والخبرة المطلوبة. تكون أوقات الحصول على التصوير المقطعي بانبعاث البوزيترون مع التصوير المقطعي المحوسب أطول من تلك التي تم اختبارها مع التصوير المقطعي بانبعاث البوزيترون مع التصوير المقطعي المحوسب. كما تقدم هذه التقنية بديلاً أقل لجرعة الإشعاع المؤيَّن مع معدلات اكتشاف أعلى في مجموعة متنوعة من الدراسات عند مقارنتها بتقنية التصوير الهجين (التصوير المقطعي بانبعاث البوزيترون مع التصوير المقطعي المحوسب) الراسخة على نطاق واسع، وهو أيضًا يُعدّ ذا فائدة خاصة لمرضى الأطفال المصابين بحالات التهابية مزمنة أو ورم خبيث، حيث يلزم إجراء فحوص متابعة متسلسلة بعد العلاج.

وأيضًا من الفوائد الإضافية: تحسين محاذاة الصورة/ التسجيل المصحوب؛ بسبب الاقتناء المتزامن لصور التصوير المقطعي بانبعاث البوزيترون مع تصوير الرنين المغناطيسي، وتباين الأنسجة الرخوة أفضل من التصوير المقطعي بانبعاث البوزيترون مع التصوير المقطعي المحوسب، والقدرة على استخدام صبغة التصوير بالرنين المغناطيسي.

التصوير المقطعي بانبعاث البوزيترون مع تصوير الرنين المغناطيسي له تطبيقات خاصة بالأورام وغير متعلقة بها

التطبيقات السرطانية:

- سرطانات الرأس والرقبة (خاصة بعد إجراء الجراحة).
- سرطان الرئة، وخاصة لتقييم النقائل الدماغية والغزو الموضعي للصدر.
- سرطانات الكبد والقناة الصفراوية (الابتدائية، والثانوية) +/- باستخدام مقتفيات التصوير المقطعي بانبعاث البوزيترون مثل: دوتات الجاليوم 68 (Ga-68 DOTATATE).
- أورام الحوض الخبيثة، بما في ذلك سرطان البروستاتة، والمستقيم، والمبيض، وعنق الرحم.
- سرطان بطانة الرحم.
- الورم النقيي المتعدد.

التطبيقات غير السرطانية:

- اضطرابات التكاثر اللمفاوي، خاصةً للكشف عن المرض وتحديد مراحله.
- الاضطرابات المعدية والالتهابات.
- الحالات العصبية، بما في ذلك صرع الفص الصدغي.

بعض من تطورات تقنيات التصوير النووية التي هي قيد التطوير، أو في المرحلة المبكرة من الاعتماد السريري.

نظام التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني لكامل الجسم (Total Body PET System)

ركزت الدراسات الحديثة على تطوير التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني لكامل الجسم في مجالات مختلفة، مثل: علم الأورام السريري، وأمراض القلب،

والطب الشخصي، وتطوير الأدوية وعلم السموم، والأمراض الالتهابية/ المعدية، ونظرًا لحساسية الكشف فائقة الدقة، والدقة الزمنية المحسنة، ونطاق المسح الطويل (1.94 متر)، يمكن لهذه التقنية أن تصور بشكل أسرع من التقنيات التقليدية مع نشاط إشعاعي أقل لكامل الجسم عند نقطة زمنية طويلة التأخير. تخلق هذه الخصائص الفريدة عديدًا من الفرص لتحسين جودة الصورة، ويمكن أن توفر فهمًا أعمق فيما يتعلق باكتشاف الأمراض وتشخيصها وترتيبها/ إعادة ترتيبها، والاستجابة للعلاج والتنبؤ. من خلال مراجعة مزايا التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني لكامل الجسم، ومناقشة التطبيقات السريرية المحتملة لهذه التكنولوجيا المبتكرة، يمكن معالجة المشكلات المحددة التي تواجه المختصين في الممارسة السريرية الروتينية، وتحسين رعاية المرضى في نهاية المطاف.

التصوير المقطعي بانبعاث البوزيترون المناعي (Immuno-PET)

هو طريقة تصوير تدمج بين خصوصية الاستهداف الفائقة للأجسام المضادة وحيدة النسيلة (Monoclonal Antibody-MAB) والحساسية الكامنة في تقنية التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني التي كانت مفيدة في إظهار الخلايا السرطانية وقياسها بدقة. تم في هذا المجال تطوير عديد من المشتقات الجديدة، مثل: بيرتوزومـاب (^{89}ZR-DF-PERTUZUMAB)، وأتـزوليزومـاب (89ZR-ATEZOLIZUMAB) والتي تم تعديلها لإضافة علامات مشعة تمكّن من كشف مواقع الخلايا السرطانية داخل الجسم وتحديدها بدقة عالية من خلال التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني. هذه التقنية مهمة للغاية؛ لأنها توفر معلومات محورية حول انتشار المرض في الجسم (على سبيل المثال: يمكن أن تُظهِر الانتشار حتى في الغدد اللمفاوية غير القابلة للكشف بالتقنيات التقليدية) وتعطي صورة شاملة حول حالة الجسم؛ مما يُمكِّن الأطباء من تحديد خطة العلاج المناسبة.

أجهزة قابلة للارتداء

تحتوي الأجهزة الطبية القابلة للارتداء على عديد من حالات الاستخدام الواقعية. ويرى الاتجاه الحالي أن هذه التقنية قادرة على أن تساعد فئة المرضى المتقدمين في

السن على مراقبة العناصر الحيوية والإبلاغ عنها بشكل ملائم، ومن المتوقع أيضًا أن تحدث ثورة في الأشعة والتصوير التشخيصي، والجهازان البارزان في هذه التقنية هما:

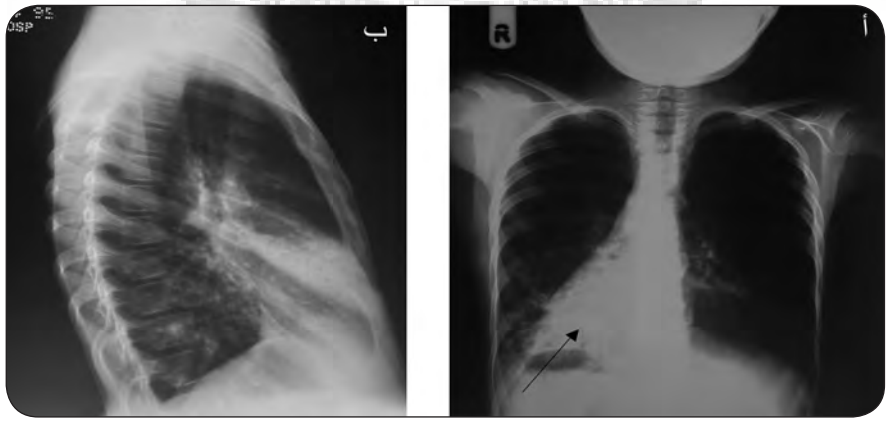
- جهاز ماسح الدماغ (MEG) المتنقل الذي يقيس نشاط الدماغ، بينما يقوم الناس بحركات طبيعية، وتتضمن هذه الحركات الإيماء، والتمدد، وشرب الشاي وحتى لعب كرة الطاولة. يوفر الماسح القابل للارتداء إمكانيات تصوير محسِّنة للمرضى الذين يعانون اضطرابات، مثل: الصرع.
- قفاز التصوير بالرنين المغناطيسي الذي تم تقديمه في كلية الطب بجامعة نيويورك، يمكن أن يوفر صورًا واضحة ومتسقة للمفاصل والأوتار المتحركة. ويكون جهاز التصوير بالرنين المغناطيسي على شكل قفاز مع كاشفات مركبة/ مخاطة في الملابس، تنتج هذه الكواشف خرائط دقيقة لتشريح اليد، ويمكن أن تساعد هذه القدرة في تخصص إجراء الجراحة، وتصميم الأطراف الاصطناعية.

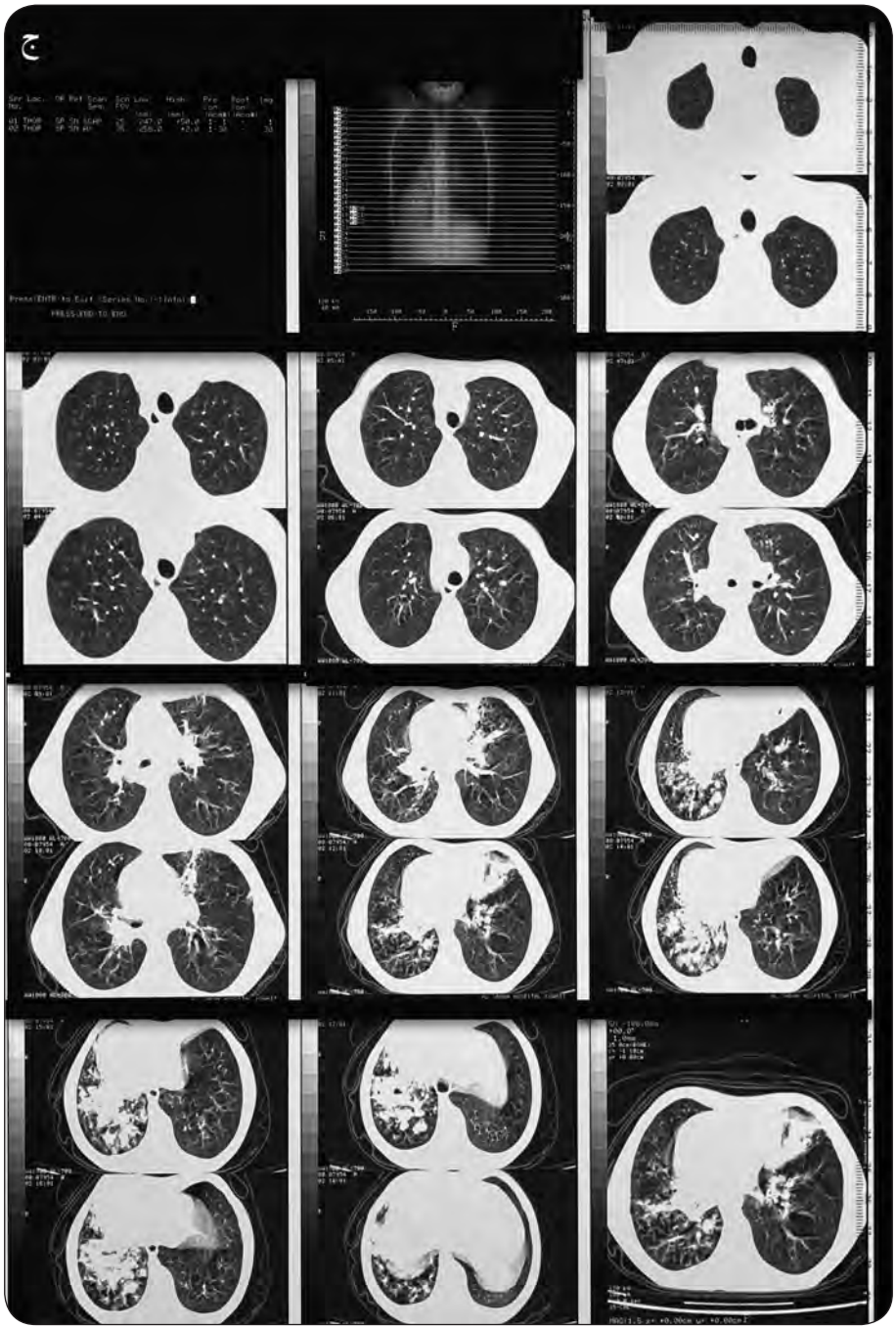
الملحق

صور إضافية لبعض الحالات التي يتم تشخيصها بالتصوير التشخيصي

الحالة الأولى

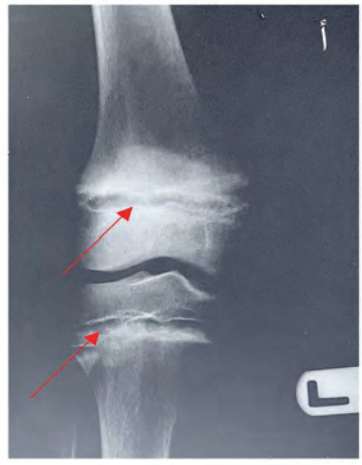
تُظهِر الصور الإشعاعية الآتية حالة مرضية يُطلق عليها (متلازمة كارتاجينر ـ Kartagener's syndrome) وهي اضطراب وراثي نادر يؤثر في الجهاز التنفسي، ويتميز بمجموعة من الأعراض مثل: التهاب الجيوب الأنفية المزمن، وتوسّع القصبات، إضافة إلى حدوث حالة يتم فيها عكس الأعضاء الموجودة في الصدر والبطن عن وضعها الطبيعي (شكل 1-أ). ويؤدي التصوير الإشعاعي دورًا مهمًا في تشخيص متلازمة كارتاجينر، وعادةً ما تكون أشعة الصدر السينية هي أولى دراسات التصوير التي يتم إجراؤها، والتي قد تُظهِر انعكاس الموضع، ومع ذلك قد يتطلب تشخيص متلازمة كارتاجينر تقنيات تصوير أكثر تقدمًا مثل: التصوير المقطعي عالي الدقة- (High-Resolution Computed Tomography; HRCT) للصدر. فهذا الفحص مفيد بشكل خاص في تحديد وجود توسّع القصبات، وهو اكتشاف شائع في متلازمة كارتاجينر، ويمكن أن يساعد أيضًا في تقييم شدة توسّع القصبات لتقييم الحالة.




ج

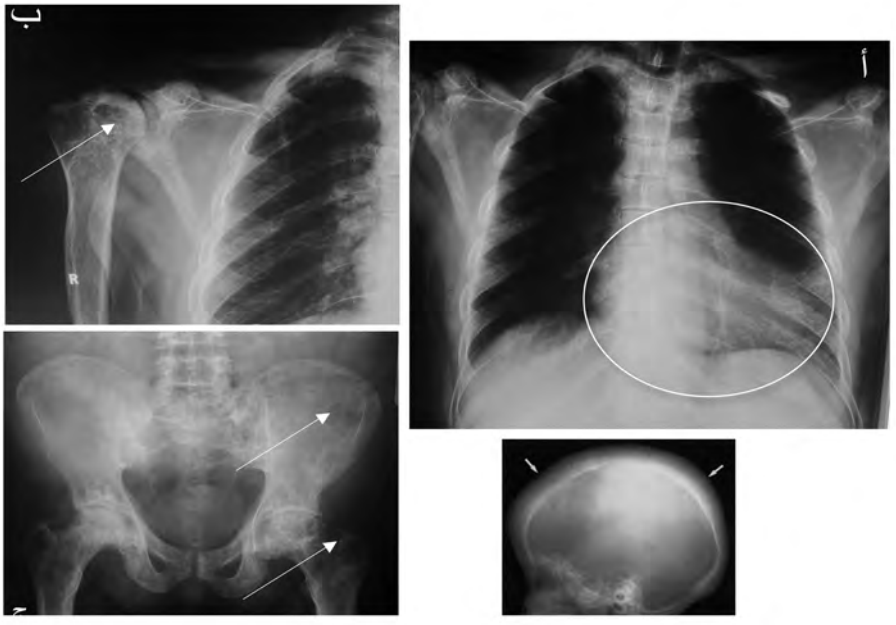
الحالة الثانية

هي خلل التنسج الكردوسي (Metaphyseal Dysplasia)، وهو اضطراب وراثي نادر يؤثر في نمو العظام وتطورها في الجسم، وخاصة العظام الطويلة في الذراعين والساقين، ويتميز بتغيرات في شكل الكردوس وبنيته، وهو نهايات مستديرة للعظام الطويلة التي تتصل بصفائح النمو أو الجزء من العظام الطويلة الواقع بين المشاشة وجسم العظم، حيث تنمو العظام في أثناء الطفولة، وفي علم الأشعة يمكن تشخيص خلل التنسج من خلال اختبارات التصوير مثل: الأشعة السينية التي يمكن أن تُظهِر تشوهات في شكل العظام وهيكلها (شكل أ، ب السهم). قد يستخدم اختصاصي الأشعة أيضًا تقنيات التصوير مثل: التصوير المقطعي المحوسب أو التصوير بالرنين المغناطيسي؛ للحصول على عرض أكثر تفصيلاً للعظام والأنسجة المحيطة، وتتضمن بعض السمات الإشعاعية الشائعة لخلل التنسج وجود الحواف غير المنتظمة، والكردوس المتسع، أو تشكّل المنطقة بشكل الحجامة (اتساع غير طبيعي في منطقة الكردوس، والذي يمكن أن يعطي نهاية العظم مظهرًا يشبه الكأس). من ناحية أخرى من هذه العلامات: وجود تمزق يشير إلى وجود اختلالات في هامش الكردوس يمكن أن تعطي نهاية العظم مظهرًا خشنًا أو "مهترئًا". يمكن رؤية هذا في الأشعة السينية على أنه حد غامض أو غير منتظم للكردوس، ويمكن أن تساعد هذه الأمور في التمييز بين خلل التنسج واضطرابات العظام الأخرى، والمساعدة في تشخيص الحالة وإدارتها.



الحالة الثالثة

فقر الدم المنجلي (Sickle cell anaemia) هو اضطراب وراثي في الدم يؤثر في شكل خلايا الدم الحمراء، قد يعتقد بعض الناس أن من أفضل الطرق لتشخيص هذا المرض هو عبر القيام بتحاليل الدم، ولكن فيما يتعلق بالأشعة السينية يمكن أن يكون لفقر الدم المنجلي تأثيرات عديدة في عظام الجسم وأنسجته؛ مما يجعل تشخيص هذا المرض بالإشعاع ممكنًا، ومن أكثر السمات الإشعاعية شيوعًا لفقر الدم المنجلي هي احتشاءات العظام التي تحدث عندما تموت بعض الأنسجة العظمية؛ بسبب عدم وصول الدم الكافي إلى الأنسجة المتضررة، ويمكن رؤية احتشاءات العظام هذه في الأشعة السينية كمناطق ذات كثافة منخفضة، أو ظهورها بشكل "العثة المأكولة (Moth eaten) (شكل ب، ج - الأسهم) في العظام المصابة، وغالبًا ما تكون مؤلمة ويمكن أن تؤدي إلى تشوهات العظام بمرور الوقت، ومن السمات الأخرى التي يمكن أن يتسبب بها فقر الدم المنجلي أيضًا حدوث تغيرات في عظام الجمجمة؛ مما يؤدي إلى ظهور علامة "الشعر الواقف" (شكل د - الأسهم) في الأشعة السينية، وهذا بسبب زيادة نشاط نخاع العظام استجابةً لفقر الدم، ويمكن أن يؤدي فقر الدم المنجلي إلى عدة مضاعفات تؤثر في القلب، وتزيد من خطر الإصابة بتضخم القلب (الشكل أ- الدائرة).



الحالة الرابعة

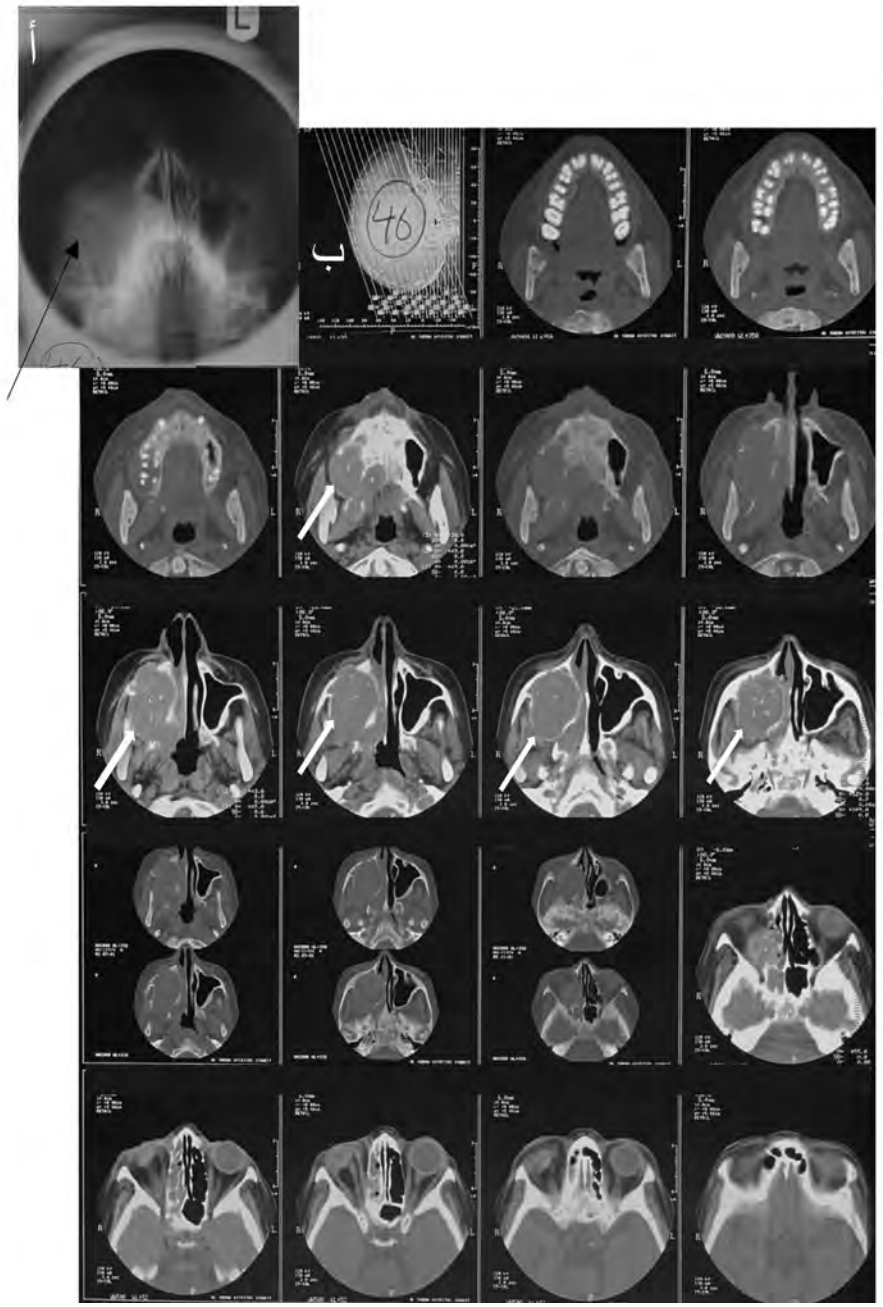
الورم الحبيبي اليوزيني (Eosinophilic-Granuloma) المعروف أيضًا باسم كثرة المنسجات لخلايا لانجرهانز (Langerhans cell histiocytosis - LCH)، وهو حالة نادرة يمكن أن تؤثر في العظام والأنسجة الأخرى في الجسم، وينتج عنها نمو غير طبيعي وتراكم خلية مناعية تُسمى خلية لانجرهانز إذا كان الورم الحبيبي اليوزيني يمكن أن يتسبب في مجموعة من النتائج الإشعاعية على صور الأشعة السينية، قد تشمل هذه النتائج:

- الآفات الحالّة، وهي مناطق تضرر العظام التي يمكن أن تظهر على شكل عيوب مثقوبة (ثقوب) في صور الأشعة السينية، غالبًا ما تكون محددة جيدًا، ولها هامش حاد.
- تورم الأنسجة الرخوة: يمكن أن يسبب الورم الحبيبي اليوزيني تورمًا والتهابًا في الأنسجة الرخوة المحيطة بالعظم المصاب، وقد يكون هذا مرئيًا ككتلة من الأنسجة الرخوة في صور الأشعة السينية.
- استجابة الطبقة الخارجية للعظم (السمحاق): وهو تهيج يمكن أن يظهر على شكل تكوين عظمي جديد على سطح العظم؛ مما يمنحه مظهرًا سميكًا في الأشعة السينية.

هذه النتائج الإشعاعية ليست خاصة بالورم الحبيبي اليوزيني، ويمكن رؤيتها في حالات أخرى تؤثر في العظام، مثل: أورام العظام، أو الالتهابات. عادةً ما يتطلب التشخيص النهائي للورم الحبيبي اليوزيني أخذ خزعة من الأنسجة المصابة، ومن المهم ملاحظة أن الورم الحبيبي اليوزيني هو حالة نادرة، ويجب استبعاد الأسباب الأخرى الأكثر شيوعًا لآفات العظام قبل اعتبارها تشخيصًا محتملاً.

الحالة الخامسة

آفات الجيوب الأنفية الليفية العظمية (Sinus Fibro-Osseous Lesions) هي عبارة عن نمو غير طبيعي يحدث في الجيوب الأنفية، وتتكون هذه الآفات من خليط من الأنسجة الليفية والعظام. تُرى عادةً في التصوير الإشعاعي مثل: التصوير المقطعي المحوسب، أو الأشعة السينية. من الناحية الإشعاعية تتميز آفات الجيوب الأنفية الليفية العظمية بكثافتها الإشعاعية؛ مما يشير إلى مقدار الإشعاع الذي تمتصه. تظهر عادةً كمناطق معتمة أو بيضاء في التصوير(أ، ب السهم)؛ مما يشير إلى أنها أكثر كثافة من الأنسجة المحيطة، ومع ذلك يمكن أن يختلف المظهر تبعًا لنوع محدد من الآفة.


أ
ب

المراجـع

References

أولًا: المراجع العربية

- أبو عمشة، محمد (2015) موسوعة محاضرات في علم التشخيص الشعاعي. دار العصماء. دمشق، الجمهورية العربية السورية.
- كاظم، خالد خورشيد، ياسين كاظم هاشم (ترجمة) (2017) تأثيرات الإشعاع على الإنسان. دار الكتاب الجامعي، العين، الإمارات العربية المتحدة.
- يس ماهر محمدي (2008) التصوير المقطعي بالكمبيوتر. القاهرة، جمهورية مصر العربية.
- يس ماهر محمدي (2010) تكنولوجيا وأوضاع التصوير والتشريح الإشعاعي الجزء الأول، القاهرة، جمهورية مصر العربية.
- يس ماهر محمدي (2015) تكنولوجيا وأوضاع التصوير والتشريح الإشعاعي الجزء الثاني، القاهرة، جمهورية مصر العربية.
- يس ماهر محمدي (2009) تكنولوجيا وأوضاع التصوير والتشريح الإشعاعي الجزء الثالث، القاهرة، جمهورية مصر العربية.

ثانيًا: المراجع الأجنبية

- Definitive Healthcare. (n.d.).4 trends in medical imaging changing Healthcare. Retrieved (2023).
- Adams, S.J., Henderson, R.D.E., Yi, X. & Babyu, P. (2020) Artificial Intelligence Solvtions for Anatysis of X-ray images. Canadian Association of Radiologists Journal.

- American Cancer Society. (2014) the science behind Radiation therapy. American cancer society.
- Andrevcci, M., Solomon, R. & Tasanarong, A. (2014) side effects of radiographic contrast media pathogenesis, risk factors, and prevention. Biomed Research Internation.
- ARMRIT. (n.d.). ARMRIT: complete lecture library. The American Registry of Magnetic Resonance imaging. Technologists. (2023).
- Bakar, S.A., Jiang, X., GUi, X., Li, G., & Li, Z. (2020). Image stitching for chest digital radiography usivy the sift and surf features extraction by Ransac algorithm. Journal of physics.
- Botz, B. (2020). Emerging medical imaging technologies. Radio paedia.org.
- Center Devices and Radio logical Health, U.S. Food and Dray Administration. (2019). Computed Tomography (2023).
- Farrell, T.A. (Ed.). (2020). Radiology 101: the Basics and Fundamentals of imaging. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins.
- Islam, K.T., Wijewic Krema, s., & O'Leary, S. (2021). Adeep learning based frame work for the registration of three dimensional multi-modal medical images of the head.
- Liv, J., Peng, K., HV, X., chen, H., & Yang, G. (2019). Image registration in medical robotics and intelligent systems: Fundamentals and applications. Advanced Intelligent Systems.
- Murphy, A. (2020). Imaging physics: Radiology refrence article. Radiopaedia.org.

- Rangarajan, K., chovdhury, A., Rajendran, A., Sabari Murugan S., & Shanmugam, p. (2021). Artificial intelligence- assisted chest X-ray assessment scheme for COVID-19 European Radiology.
- Rockall, A. G. (2019). Diagnostic imaging. Johanne shov: MTM.
- Sountoulides, P., & other (2021). Microuthra sound-guided vs multiparametric magnetic resonance imaging. Journal of urology.
- Toppenberg, M.D., & other. (2020). Mobile X-ray outside the hospital: A scoping review. BMC Health Services Research.
- Wells, D. (2024). Every thing you need to know about tomosynthesis.
- Levin, C. (2020) the history of the Digital X-ray. Windsor imaging.
- Wv. J.T, & other (2020) comparison of chest radiograph interpretations by artificial intelligence algorithm vsradiology residents. JAMA Network open.
- Yanase, D, & Triantaphyllou, E. (2019) A systematic survey of computer-aided diagnosis in medicins. Expert systems with Applications.

إصدارات

المركز العربي لتأليف وترجمة العلوم الصحية

متوفرة على موقعه الإلكتروني

www.acmls.org

صفحة المركز على الفيسبوك: https://www.facebook.com/acmlskuwait

صفحة المركز على الانستغرام : https://www.instagram.com/acmlskuwait/?hl=ar

صفحة المركز على منصة إكس : https://x.com/acmlskuwait

للتواصل عبر الواتساب : 0096551721678

ص.ب: 5225 الصفاة 13053 ـ دولة الكويت ـ هاتف 0096525338610/1

فاكس: 0096525338618

البريد الإلكتروني : acmls@acmls.org

ARAB CENTER FOR AUTHORSHIP AND TRANSLATION OF HEALTH SCIENCE

The Arab Center for Authorship and Translation of Health Science (ACMLS) is an Arab regional organization established in 1980 and derived from the Council of Arab Ministers of Public Health, the Arab League and its permanent headquarters is in Kuwait.

ACMLS has the following objectives:

- Provision of scientific & practical methods for teaching the medical sciences in the Arab World.
- Exchange of knowledge, sciences, information and researches between Arab and other cultures in all medical health fields.
- Promotion & encouragement of authorship and translation in Arabic language in the fields of health sciences.
- The issuing of periodicals, medical literature and the main tools for building the Arabic medical information infrastructure.
- Surveying, collecting, organizing of Arabic medical literature to build a current bibliographic data base.
- Translation of medical researches into Arabic Language.
- Building of Arabic medical curricula to serve medical and science Institutions and Colleges.

ACMLS consists of a board of trustees supervising ACMLS general secretariate and its four main departments. ACMLS is concerned with preparing integrated plans for Arab authorship & translation in medical fields, such as directories, encyclopeadias, dictionaries, essential surveys, aimed at building the Arab medical information infrastructure.

ACMLS is responsible for disseminating the main information services for the Arab medical literature.

© COPYRIGHT - 2025
ARAB CENTER FOR AUTHORSHIP AND TRANSLATION OF HEALTH SCIENCE
ISBN: 978-9921-859-02-7

All Rights Reserved, No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form, or by any means; electronic, mechanical, photocopying, or otherwise, without the prior written permission of the Publisher.

ARAB CENTER FOR AUTHORSHIP AND TRANSLATION OF HEALTH SCIENCE

(ACMLS - KUWAIT)

P.O. Box 5225, Safat 13053, Kuwait

Tel. : + (965) 25338610/1

Fax. : + (965) 25338618

E-Mail: acmls@acmls.org

http:// www.acmls.org

Printed and Bound in the State of Kuwait.

ARAB CENTER FOR AUTHORSHIP AND
TRANSLATION OF HEALTH SCIENCE - KUWAIT

Clinical Radiology

By

Dr. Muna Esam AlMulla

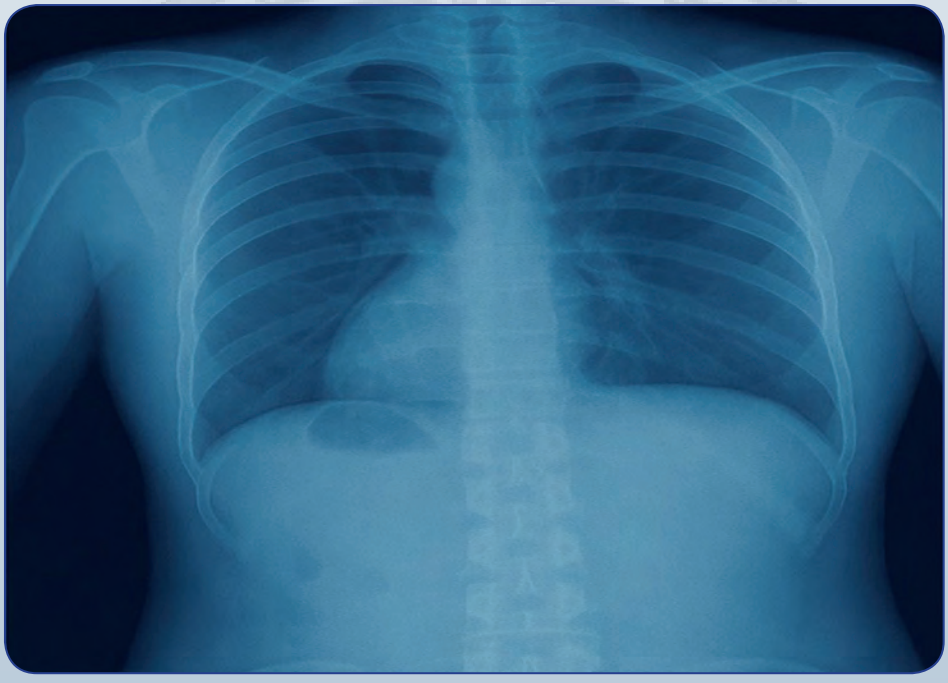
Revised & Edited by

Arab Center for Authorship and Translation of Health Science

ARABIC MEDICAL CURRICULA SERIES

ARAB CENTER FOR AUTHORSHIP AND
TRANSLATION OF HEALTH SCIENCE - KUWAIT

Clinical Radiology



By

Dr. Muna Esam AlMulla

Revised & Edited by

Arab Center for Authorship and Translation of Health Science

2025