٩١

أجهزة التصوير
Imaging Devices

David Harrington
President, SBT Technology, Inc.
Medway, MA
Darkroom

الغرفة المظلمة
Darkroom

يسبق التصوير الطبي تسجيل مخطط كهربية القلب (ECG) بحوالي ثماني سنوات. تم اكتشاف الأشعة السينية يوم الثامن من تشرين الثاني (نوفمبر) عام ١٨٩٥م، من قبل Wilheim Roentgen. وبعد سبعة أسابيع قام Roentgen بإجراء بحوث إضافية، ونشر النتائج التي توصل إليها. لم يتقدم Roentgen بطلب براءة اختراع لحماية اكتشافه. وتم منحه جائزة نوبل للفيزياء عام ١٩٠١م. لقد أصبح العديد من كبار العلماء في العصر مهتمين بالأشعة السينية، بما في ذلك Maria Skladowska و Pierre Curie و Thomas Alva Edison. قدَّم Clarence Daley، الذي عمل مع Edison، المَعَلَمَ الهام الثاني في تطوير التصوير عندما توفيَّ في عام ١٩٠٤م من جراء التسمم بالإشعاع. لقد كان التقدم بطيئاً لسنوات عديدة كما تم تطوير التطبيقات الأخرى للأشعة السينية، مثل علاج حب الشباب والتهاب اللوزتين ومشاهدة الأقدام داخل الأحذية في المتاجر المحلية لضمان الملائمة الجيدة. بعد الحرب العالمية الثانية، تم تجهيز العربات المتنقلة بوحدات أشعة سينية لفحص السكان للكشف عن السل.

تم في اليابان في أواخر أربعينيات القرن العشرين تهيئة السونار، الذي تم استخدامه للكشف عن الأشياء تحت الماء، لاستخدامه على المرضى لمشاهدة الأعضاء والهياكل الداخلية للجسم. وصلت هذه التكنولوجيا إلى الولايات المتحدة في أوائل خمسينيات القرن العشرين، وكان معظمها كوسيلة للبحث، ولم تحظى باستخدام إكلينيكي واسع حتى أواخر ستينيات القرن العشرين. وقد جلبت ثمانينيات القرن العشرين اللون للتصوير بالموجات فوق الصوتية، وتم في تسعينيات القرن العشرين تطوير الصور ثلاثية الأبعاد.

تم في سبعينيات القرن العشرين إدخال التصوير المقطعي المحوسب (CT)، ولكن تم إعاقة انتشار استخدامه بشكل واسع بسبب التكاليف العالية والوثوقية المنخفضة. وعندما تقدمت الإلكترونيات تقدّم الـ CT كذلك. ومن النادر الآن أن يكون هناك مستشفى لا يملك ماسح CT واحد على الأقل. بالإضافة إلى ذلك انخفض الحجم إلى نقطة يتم فيها الآن تصنيع CTs محمولة. يمكن الآن جلب الماسح إلى المريض بدلاً من إحضار المريض إلى الماسح.

جلبت ثمانينيات القرن العشرين إدخال تكنولوجيا معروفة باسم "الرنين المغناطيسي النووي (NMR)". وسرعان ما تغير الاسم إلى التصوير بالرنين المغناطيسي (MRI) لأسباب تسويقية واضحة. ولقد جعلت حوادث المفاعلات النووية في Three Mile Island (ثري مايل إيلاند) وChernobyl (تشيرنوبيل) أي شيء يحتوي على كلمة "نووي" مصدر قلق للسكان العامين. ومع تقليل أو التخلص من مشاكل حركة المريض وأزمنة المسح الطويلة في الحقل المغناطيسي، أصبح التصوير بالرنين المغناطيسي الآن أحد أدوات التشخيص الرئيسية في الرعاية الصحية.

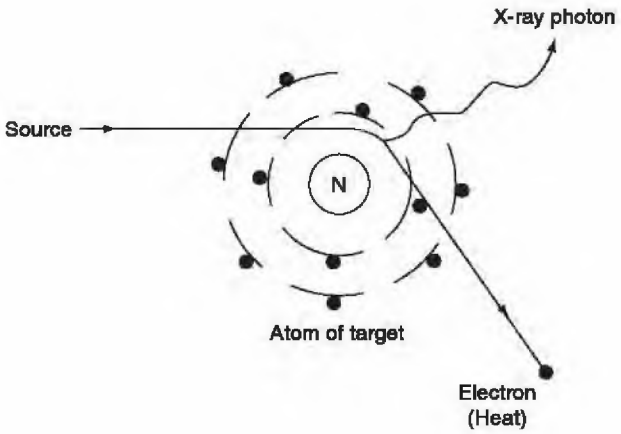
جلبت تسعينيات القرن العشرين التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني (PIT) والتصوير المقطعي المحوسب بالإصدار أحادي البروتون (SPECT). وهذه هي البداية فقط لتصبح متوفرة في أكثر من بضعة مستشفيات. وكما كان الحال مع التصوير المقطعي والتصوير بالرنين المغناطيسي قبل ذلك، فقد حدَّت التكاليف والوثوقية والتسديدات من الاستخدام واسع النطاق لتكنولوجيا الـ PET والـ SPECT. تتحد الآن تكنولوجيات تصوير متعددة لتشخيص ومعالجة المرضى.

توليد الأشعة السينية
X-Ray Generation

إن الأشعة السينية هي طاقة كهرومغناطيسية بطول موجة قصير، عموماً من ٠.١ إلى ١ أنغستروم (إن ١ أنغستروم يساوي $١٠^{-١٠}$ متر) ونظراً لأن أطوال الأمواج قصيرة جداً، فإنها تتصرف مثل الجسيمات بدلاً من الأمواج، ومن ثم تُستخدَم أسماء "الفوتون" أو "الكوانتوم (الكم)" للإشارة إلى الكميات الصغيرة من الطاقة. عندما يتضاعف تردد الموجة، فإن الطاقة تتضاعف كذلك. وهذا يعني أنه من أجل نفس إعدادات الجهد والتيار، تتضاعف الطاقة (الإشعاع) من خلال زيادة التردد (تخفيض طول الموجة).

يتم قياس طاقة الفوتون (الكم) بالإلكترون فولت (eV). إن الإلكترون فولت هو كمية الطاقة التي يكتسبها الإلكترون عندما يتسارع على طول فرق جهد قيمته ١ فولت. إن الأشعة السينية المفيدة سريرياً هي في حدود ٤٥٠٠٠ إلكترون فولت. عندما تتسارع الإلكترونات من المصدر (الفتيل) وتضرب الهدف (المصعد)، يتم توليد الحرارة وإنتاج نوعين من الأشعة السينية: الإشعاع العام والمُمَيَّز (General and characteristic radiation) كما هو مُبين في الشكل رقم (٩١,٣).

إن الإشعاع العام، والمعروف أيضاً باسم "الإشعاع المفرمل (breaking radiation)"، أو"bremsstrahlung"، هو الأشعة السينية التي يتم توليدها عندما يمر الإلكترون المُسَرَّع بالقرب من نواة ذرة في الهدف حيث ينحرف الإلكترون ويتباطأ. وعندما يحدث هذا يتم إصدار كمية صغيرة من الطاقة الإجمالية (١٪) على شكل أشعة سينية و٩٩٪ على شكل حرارة. كما هو مُبين في الشكل رقم (٩١,١).



الشكل رقم (٩١,١). إنتاج الإشعاع العام.

عندما يصطدم الإلكترون المُسَرَّع، المار بالقرب من نواة ذرة في الهدف، بأحد الإلكترونات من إحدى المدارات الداخلية للذرة ويخرجه من هذا المدار، يتم عندها توليد الإشعاع المُمَيِّز. ينتقل بعد ذلك أحد الإلكترونات من إحدى المدارات الخارجية ليحل محل الإلكترون الذي تم إخراجه، مُصدِراً أثناء انتقاله أشعة سينية. كما هو مُبين في الشكل رقم (٩١,٢).

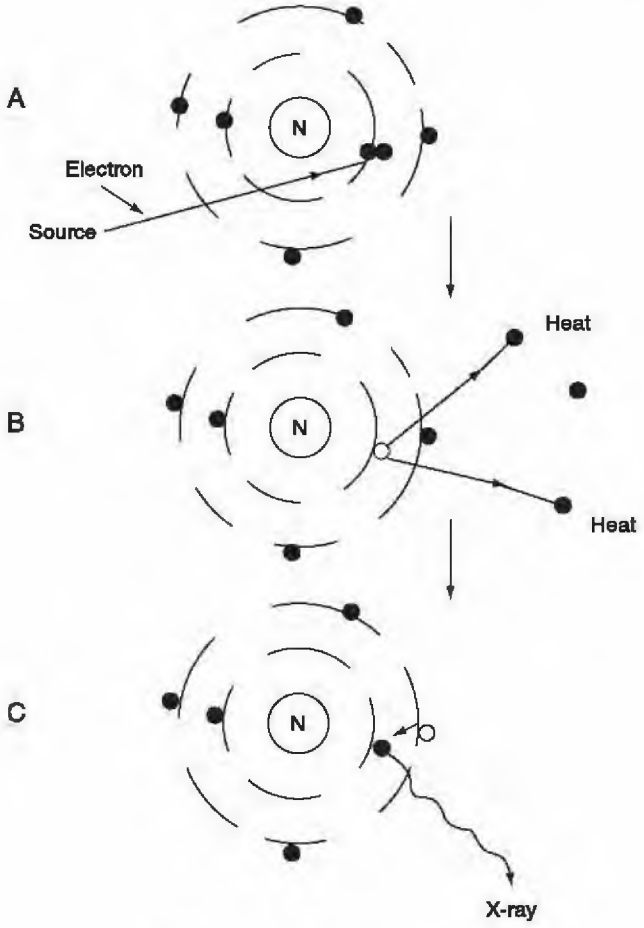
إن "شدة" حزمة الأشعة السينية هي عدد الفوتونات في الحزمة، مضروباً في طاقة كل فوتون (العام والمُمَيِّز)، وتُقاس بوحدات الإلكترون فولت أو الرونتجن (Roentgens) في الدقيقة (R/min).

جهاز الأشعة السينية
The X-Ray Machine

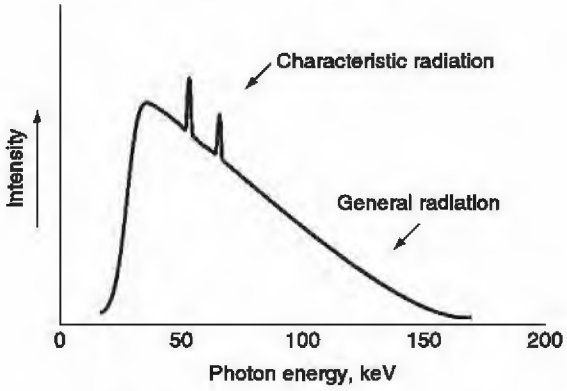
أنبوب الأشعة السينية والغلاف X-Ray Tube and Housing

ينبغي للمهندسين الإكلينيكيين (CEs) وفنيي الهندسة الطبية الحيوية (BMETs) العاملين في هذا المجال ألا يقوموا أبداً باستبدال أنبوب الأشعة السينية، حيث يتطلب هذا قدراً كبيراً من المهارة والتجهيزات المتخصصة. إن الاستبدال الذي يقوم به الـ CEs والـ BMETs في هذا المجال هو غلاف الأنبوب، الذي يحتوي على أنبوب جديد قد

تم وضعه بشكل صحيح في غلاف مملوء بالزيت. إن الخطوة الأولى في فهم تكنولوجيا الأشعة السينية هي معرفة ما يحتويه الأنبوب وما هي بعض المشاكل المرتبطة بالأنبوب.



الشكل رقم (٩١,٢). إنتاج الإشعاع المُمَيَّز.



الشكل رقم (٩١,٣). خرج الأشعة السينية.

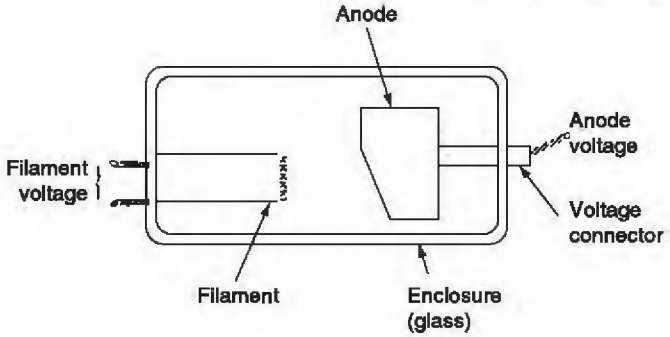
تحتوي جميع الأنابيب على ثلاثة أجزاء أساسية هي كما هو مُبين في الأشكال رقم (٩١,٤). ورقم (٩١,٥):

١- الغلاف (enclosure)، وهو مصنوع عموماً من زجاج البوروسيليكات (borosilicate)، ولكن قد يكون لبعض الأنابيب ذات الاستطاعة العالية أغلِفَة معدنية أومن السيراميك.

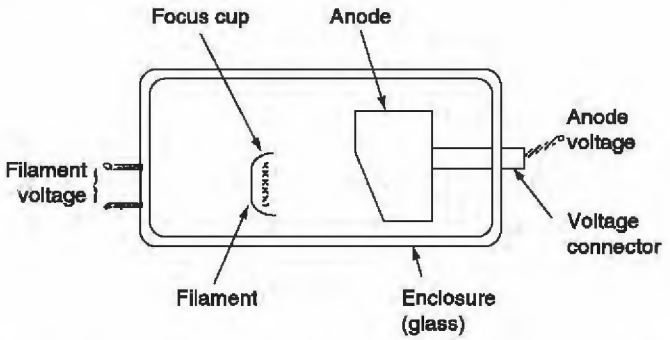
٢- الفتيل (filament) المصنوع من سبائك التنغستين.

٣- المصعد (anode) أو"الهدف" المصنوع من التنغستين أو معادن أخرى مدعومة بالنحاس.

تضم معظم الأنابيب أكثر من فتيل، حيث يُخصّص فتيل واحد لكل مسار محرقي على المصعد؛ و"كوب تركيز"، أو مهبط (cathode)، لتحسين توجيه الإلكترونات المتحركة من الفتيل إلى الهدف، وهدف (مصعد) لديه مسار محرقي واحد أو أكثر تم زرعه فيه، ويدور بسرعة تصل إلى ٢٠٠٠٠ دورة في الدقيقة. يتم تجميع الأجزاء المختلفة في الغلاف، الذي يتم إحكام إغلاقه تحت التخلية. ويجب أن يكون للمواد التي تُستخدَم في إحكام إغلاق الغلاف نفس خصائص تمدد الغلاف بحيث لا يتم الإخلال بشروط التخلية عند ارتفاع درجة حرارة الأنبوب. إذا لم يتم تخلية الغلاف بشكل وافٍ، فقد يحدث تقوُّس (arcing) داخلي ينتج عنه خرج غير ثابت (أنبوب غازي). يمكن في بعض الأحيان تصحيح هذا من خلال عملية تسمى "التجفيف seasoning"، يتم تنفيذها عندما يتم تركيب الأنبوب أو إعادة تفعيله بعد فترة طويلة من عدم استخدامه.



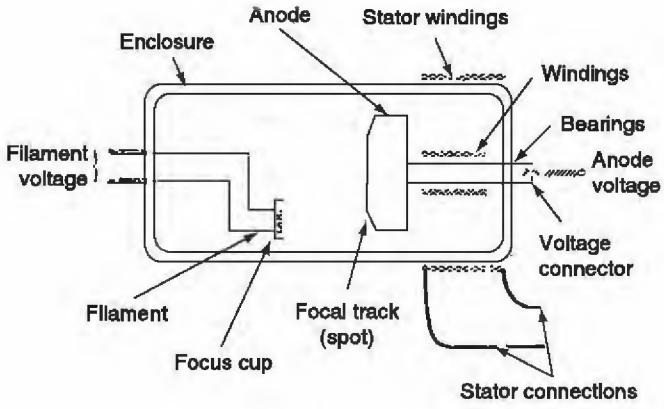
الشكل رقم (٩١,٤). أنبوب بسيط ذو مصعد ثابت يُستخدم للوظائف منخفضة الطاقة.



الشكل رقم (٩١,٥). نفس الأنبوب في الشكل السابق مع كوب تركيز (مهبط).

تتراوح جهود الفتيل من ٢,٥ إلى ١٥ فولت، ويمكن أن يكون لكل فتيل في الأنبوب جهد مختلف. كما يتراوح تيار الفتيل بشكل عام ما بين ٣ و٦ أمبير. يُقاس تيار الأنبوب بالميلي أمبير (mA). عندما يتم تزويد الوحدة بالطاقة وتكون في حالة الحفاظ على الإحماء، فإن الفتيل يكون موصولاً إلى الطاقة بشكل دائم. ونظراً لأنه يتم الاحتفاظ بالفتيل ساخناً، فإنه يُحرر بعض الإلكترونات التي يتم الاحتفاظ بها في حالة جاهزية بواسطة كوب التركيز (المهبط). ويوجِّه كوب التركيز أيضاً الإلكترونات التي تم تحريرها إلى الهدف عندما يولِّد النظام الأشعة السينية.

إن مصعد (هدف) الأنبوب هو قرص قطره حوالي ١٠ سنتمتر (cm) وسماكته ٢ سنتمتر (أو أقل). يتألف سطح القرص من سبيكة من التنغستين على قاعدة من النحاس. يُستخدَم النحاس بسبب خصائص التوصيل الحراري التي يملكها. تضرب الإلكترونات، المُسَرَّعة من الفتيل، أحد السطوح (أو أكثر) المائلة بزاوية على القرص والتي تُسمّى "السطوح المحرقية"، أو"المسارات" من أجل توليد الأشعة السينية. ويدور المصعد (الشكل رقم ٩١,٦) في جميع الأنابيب إلاّ البسيطة منها التي معظمها من تلك الموجودة في وحدات الأشعة السينية السنية. يسمح دوران المصعد بتوزيع الحرارة على كامل الهدف (تذكّر أن ١٪ فقط من الطاقة هو أشعة سينية و٩٩٪ منها حرارة). ويحافظ هذا أيضاً على السطوح المحرقية من التشويه بسبب الحرارة، مما يحافظ على البقعة المحرقية متناسقة ويزيد من عمر الأنبوب. تكون رولمانات (أو سطوح استناد) المصعد مُحكَمة الإغلاق وذات تزييت ذاتي ولا يمكن خدمتها في ميدان العمل.

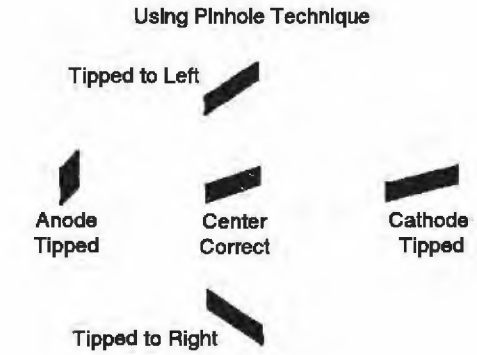


الشكل رقم (٩١,٦). أنبوب ذو مصعد دوّار.

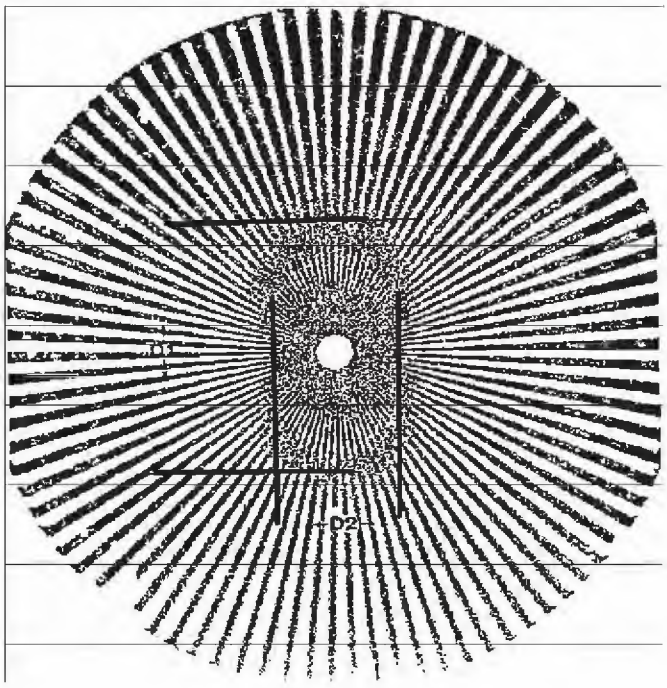
يتم وضع الأنبوب داخل غلاف حيث يتم إجراء التوصيلات بين الفتيل والمصعد والتوصيل الخارجي على الغلاف. ومن ثم يُملأ الغلاف في معظم الحالات بالزيت، الذي يعمل بمثابة عازل كهربائي وناقل حراري معاً لنقل الحرارة بعيداً عن الأنبوب. يتم تبريد غلاف الأنبوب عن طريق التوصيل الحراري في تطبيقات الاستخدام المنخفضة،

ومن خلال الحمل الحراري مع مروحة في إعدادات الاستخدام العالية، ومن خلال أنظمة تبريد في أنظمة الاستخدام الأعلى. يتم تقييم الأنابيب بالوحدات الحرارية (HU) وسوف يتم إطفاء الأنابيب إذا تجاوزت القيمة هذا التقييم. يجب تنظيف أغلفة الأنابيب ذات المراوح بشكل منتظم لضمان تبريد جيد. كما ينبغي الكشف بشكل منتظم على مستويات السوائل في أغلفة الأنابيب التي تتطلب أنظمة تبريد. سيتضمن أحد جوانب غلاف الأنبوب "نافذة" حيث تخرج حزمة الأشعة السينية من غلاف الأنبوب. يمكن أن تكون هذه النافذة من البلاستيك أو الزجاج، وربما يوضع فوقها شريط أو بعض المواد الواقية من أجل الشحن. ويجب إزالة الشريط أو المواد الواقية قبل تركيب مُحَدِّد الساحة (collimator) إلى الغلاف. لقد أشار العديد من الدراسات التي أُجريت مؤخراً إلى أن الزيت يفقد قدرته على نقل الحرارة بعد الاستعمال لفترة طويلة وقد يسهم عندئذ في تقصير عمر الأنبوب. تكمن إحدى الدلالات على هذه المشكلة في "فرقعة" الأنبوب (خرج أو إشعاع غير خطي)، وانخفاض متوسط وحدات الـ HU التي حدثت عندها الفرقعة في الماضي. إن مشاكل الـ HU نادرة مع فحوصات الأشعة السينية التي تستخدم الفيلم ولكنها شائعة مع الفحوصات المتعلقة بالتنظير التألقي. ويُنصح المرء بالتوثيق بعناية للإجراءات التي يتم القيام بها عندما يبدأ الأنبوب "بالفرقعة".

إن البقعة المحرقية للأنبوب هي تابع لكل من: هندسة الهدف، ومادة الهدف، وتركيب مادة الهدف، وحجم الفتيل، وكوب التركيز(المهبط)، بالإضافة إلى أي اهتزاز قد يحدث في المصعد عندما يدور. يوضح الشكل رقم (٩١,٧) كيفية تفاعل هذه العوامل عادة. يتم التعبير عن البُقع المحرقية بالميلي متر وتأخذ عادة القيم ٠,٣ و٠,٥ و١,٠ و١,٥ ميلي متر. يتم إجراء قياس البُقع المحرقية باستخدام كاميرا ثقب الدبوس (الشكل رقم ٩١,٧) أو شكل النجمة (الشكل رقم ٩١,٨). يتم قياس الصورة بواسطة كاميرا ثقب الدبوس وتقسيمه على مُعامِل التضخيم. في حين يتطلب شكل النجمة حسابات رياضية أكثر، ويكون في بعض الأحيان صعب الإنشاء حيث يحدث خط عدم الوضوح. تتم هذه القياسات في المصنع ومن قبل فيزيائي أثناء اختبار التحقق من الصحة. ويتم ذكر حجم البقعة، كما تم بناؤها، على غلاف الأنبوب وتخدم كنقطة مرجعية خلال عمليات التحقق من الصحة في المستقبل.



الشكل رقم (٩١,٧). البقعة المحرقية وذلك باستخدام كاميرا ثقب الدبوس، عندما تكون المحاذاة ١٥° في أي اتجاه.

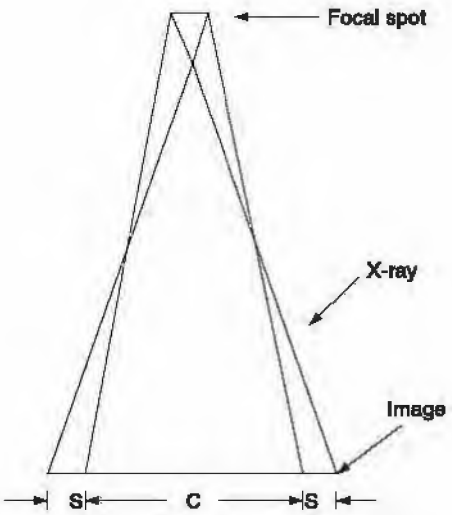


الشكل رقم (٩١,٨). اختبار شكل النجمة، ابحث عن الخطوط المفقودة.

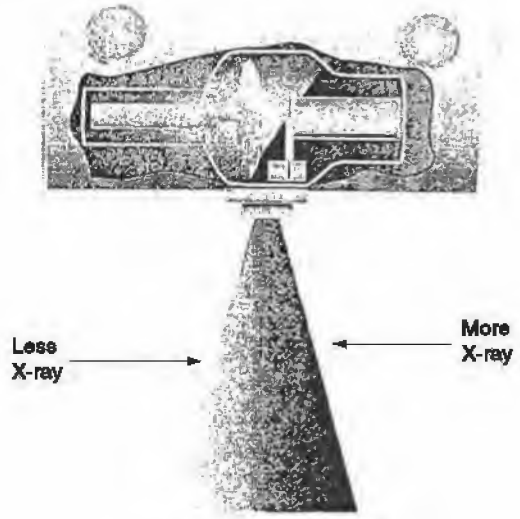
عندما يتقادم الأنبوب، فإن حجم البقعة المحرقية يزداد. يمكن تعويض بعض الزيادة في الحجم عن طريق تغيير "التقنيات"، أي إعدادات الجهد والتيار والزمن، من قبل التكنولوجيين. وكلما كانت البقعة المحرقية أصغر، كانت دقة تمييز الصورة أفضل. بالرغم من أن ذلك هو الخط "الرسمي" للتفكير، إلاّ أن ثبات الأشعة السينية المتولدة يؤثر أيضاً على دقة التمييز. وهذا أمر واضح عندما تكون حواف الأشياء ليست حادة بل متداخلة BLENDED. إن استخدام المرشحات والشبكات يمكن أن يزيد من الحِدَّة، وتسمى أيضاً "الصورة الواضحة" أو"المنطقة المركزية"، ويمكن أن يُقلِّل من المنطقة الضبابية/المتداخلة، كما تُدعى "تدرُّج الحافة" أو"عدم الوضوح (الغبش) penumbra" (الشكل رقم ٩١,٩). ينبغي أن يشمل اختبار الأنبوب الجديد عند التركيب التوثيق ليس فقط لحجم وشكل البقعة المحرقية، ولكن أيضاً أي ميل، أو حواف غير واضحة، أو إشعاع غير مستقيم. وينبغي المحافظة على نسخة ورقية مطبوعة من هذه المعلومات في ملف ما دام الأنبوب في الخدمة.

تؤدي هندسة البقعة المحرقية إلى إنتاج حزمة غير مستقيمة للأشعة السينية تُدعى "أثر الميلان.(heel effect)" (الشكل رقم ٩١,١٠). وهذا يعني أن هناك طاقة في إحدى نهايات المجال أكثر منها في النهاية الأخرى. وبشكل مثالي، فإن مواءمة وضبط الأنبوب بحيث يتم توجيه الإشعاع الناجم عن أثر الميلان باتجاه الجزء الأكثر سماكة من الجسم الذي يتم فحصه يساعد في الحفاظ على كثافة الفيلم (أي، مقدار ظُلْمَة الفيلم) وتباينه (أي الظلمة بالنسبة

للمحيط). وإذا ظهرت شكاوى بشكل مفاجئ حول الكثافة والتباين، ينبغي للمرء أن يتحرى عن ذلك لمعرفة أن الأنبوب لم يتم تدويره.



الشكل رقم (٩١,٩). تأثير حجم البقعة المحرقية: C= صورة واضحة؛ و S= منطقة ضبابية أو غير واضحة (غبش).



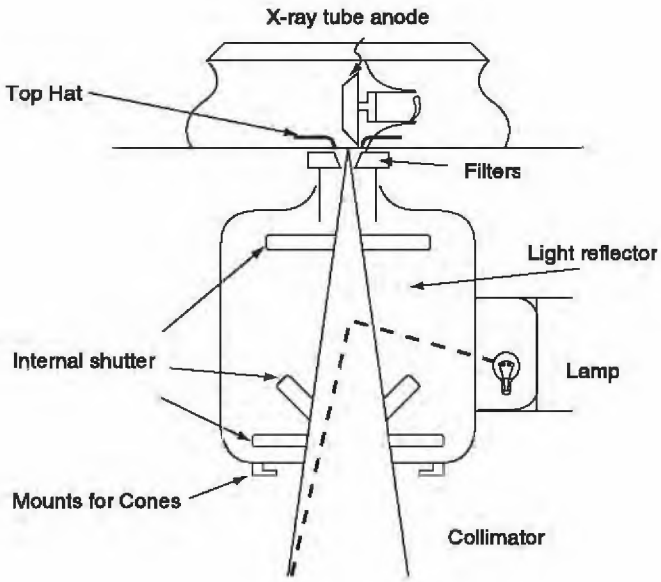
الشكل رقم (٩١,١٠). آلر الميلان.

لقد اهتمت معظم المواد السابقة في هذا الفصل بالمجالات التي لا يمكن للـ BMETs أولا ينبغي لهم المغامرة بها، أو أنها كانت مجرد معلومات أساسية. وتعالج المواد المتبقية البنود التي يعمل عليها الـ BMETs أو المهندسون الإكلينيكيون فعلاً. وبسبب هذا تم القيام بمحاولة لاستخدام لغة أكثر وضوحا.

يبدأ تحديد ساحة حزمة الأشعة السينية مع تصميم الأنابيب، وبشكل خاص مسار البقعة المحرقية، التي تُركِّز الغالبية العظمى من الأشعة السينية المتولِّدة في اتجاه واحد. يقلِّل غلاف الأنبوب أيضاً من تبعثُر الإشعاع، ويكمِل عملية تحديد الساحة. تخرج بعد ذلك الحزمة من غلاف الأنبوب من خلال "القبعة العلوية"، ومخروط من الرصاص ذي ثقب مستطيل يتم من خلاله تحديد حجم الفيلم الأعظمي الذي يمكن تعريضه على مسافة معينة، ويُدعى أيضاً " المسافة بين المصدر والصورة (SID)" أو"المسافة بين الفيلم والمحرق (FFD)". ويحدد هذا أيضاً شكل الحزمة ويساعد على التقليل من تبعثُر الإشعاع. تقوم كتلة تركيب مُحَدِّد الساحة (المصنوعة من الألمنيوم) وحلقة الدوران بتثبيت مُحَدِّد الساحة على غلاف الأنبوب. وينبغي أن يتم الكشف على هذه البنود بصورة منتظمة للتأكد من أن الأجهزة آمنة. إن إحدى الحيل القديمة لمراقبة ذلك هي استخدام لمسة من طلاء الأظافر على رأس المسمار مع سطح الغلاف. ويشير تشقق طلاء الأظافر إلى أن الأجهزة تبدأ بالانفكاك.

يوجد على بعض مُحَدِّدات الساحة شق في الغلاف بالقرب من كتلة التركيب، يسمح بوضع المرشحات ضمن حزمة الأشعة السينية. وهذه المرشحات هي عبارة عن صفائح رقيقة من النحاس أو الألمنيوم (ولكن يمكن استخدام مواد أخرى) يتم إدخالها لإزالة النبضات السريعة (spikes)، التي يتم توليدها بواسطة الإشعاع المُمَيِّز، من كثافة الإشعاع، ولتنعيم الإشعاع المتبقي بحيث يكون ثابتاً. ويُشار إلى هذا أيضاً بـ "تقسية الشعاع" أو إزالة الإشعاع الطري. وينبغي إضافة أو إزالة هذه المرشحات فقط حسب توجيهات الفيزيائي الذي يقوم بإعطاء الترخيص الإشعاعي للوحدة. وقد تكون هناك ضرورة لإعادة إجراء الترخيص بعد إصلاحات رئيسية للمولد، ولكن ما عدا ذلك فإنه يتم كما هو مطلوب في الأنظمة المحلية والاتحادية (الفيدرالية). إن الحد الأقصى للترخيص هو ثلاث سنوات. وبشكل عام يقوم التكنولوجيون بإعادة ضبط تقنياتهم بعد إضافة أو إزالة الترشيح. بالإضافة إلى ذلك، فمن الشائع المعاناة من الزيادة في "إعادة تصوير" الأفلام مباشرة بعد إجراء تغييرات في النظام، وذلك استناداً إلى متطلبات الفيزيائي. يحتاج الـ BMETs والـ CEs إلى العمل عن كثب مع مشرفي وتكنولوجيي القسم للتأكد من أن معدل إعادة التصوير يعود إلى المستوى السابق أو ينخفض إلى ما دونه.

تقع المحددات المتحركة (shutters) بالمستوى الأعلى تحت المرشحات. وهي عبارة عن شرائط مستوية من سبائك الرصاص لمعدن ذي حواف مشطوفة متزاوجة من أجل المنع التام لمرور الأشعة السينية عندما تكون مغلقة. ترتبط المحددات المتحركة بالمستوى الأعلى ميكانيكياً مع المحددات المتحركة بالمستوى المنخفض، بحيث يعمل بعضها مع بعض. يوجد في بعض الوحدات ميزة تُدعى "تحديد الساحة الآلي"، حيث تتحسس الوحدة لحجم كاسيت الفيلم المُركَّب وتضبط آلياً المُحددات المتحركة على هذا الحجم. وعندما تحدث مشكلة مع تحديد الساحة الآلي، فإن ذلك يرجع بشكل عام إلى الحساسات في صينية البوكي (Bucky) (انظر الشكل رقم ٩١,١١). تكمن مشاكل التحديد اليدوي للساحة عموماً في ضبط الزر (knob) أو الربط بينه وبين المحددات المتحركة.



الشكل رقم (٩١,١١). محدد الساحة.

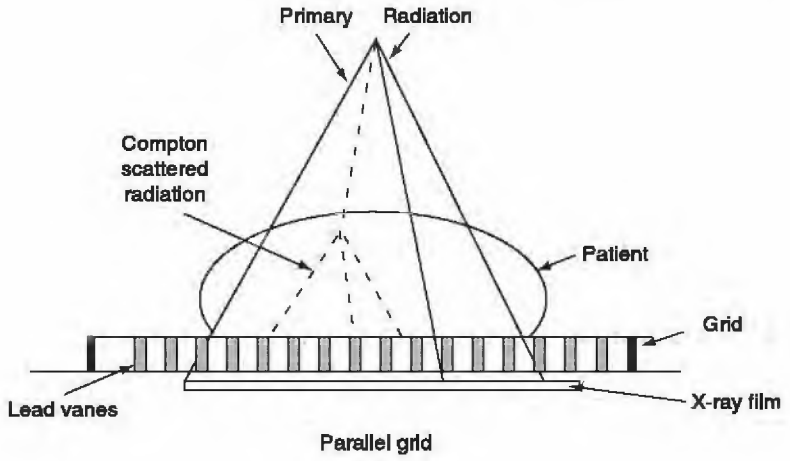
يوجد مصباح ومرآة شفافة للأشعة في الفراغ بين المحددات المتحركة العلوية والسفلية. ويُدعى هذا "الضوء الموجِّه" أو "الضوء المُركَّز" أو "الضوء المحدِّد للساحة" أو "ضوء الحقل". يتم تركيز حزمة الضوء من خلال عدسة واقية على الجزء السفلي من محدد الساحة، المزوَّد بخطوط رفيعة متصالبة لمواءمة وضبط الأنبوب بشكل صحيح مع منطقة المريض الذي يجب تصويره بالأشعة السينية. ويجب فحص مواءمة الضوء المُركَّز على كاسيت الفيلم خلال كل عملية صيانة وقائية (PM) لضمان المواءمة السليمة. ويتم استبدال المصباح من جانب محدد الساحة، وليس على الإطلاق من خلال إزالة العدسة الواقية مع الخطوط الرفيعة المتصالبة والوصول من خلال المحددات المتحركة. ويجب أن يبقى الضوء في حالة تشغيل لأقل من دقيقة واحدة.

وكجزء من الصيانة الوقائية، ينبغي للمحددات المتحركة أن تكون مغلقة تماماً، كما ينبغي أن يتم تعريض فيلم للأشعة. إذا كان محدد الساحة يعمل بشكل صحيح فينبغي ألا يكون هناك أي تعرُّض على الفيلم. إما إذا كانت المحددات المتحركة لا تُغلِق تماماً، فسوف يشير التعرُّض إلى المحدد المتحرك الذي لا يغلِق أو المتضرر. ويمكن أن يؤثر المحدد المتحرك المتضرر أو المعطوب سلباً على جودة أفلام المريض ويمكن أن يؤدي إلى إعادة التصوير. إن عمليات إعادة التصوير مُكلِفة وتعرِّض المريض إلى أشعة مُؤَيِّنة إضافية.

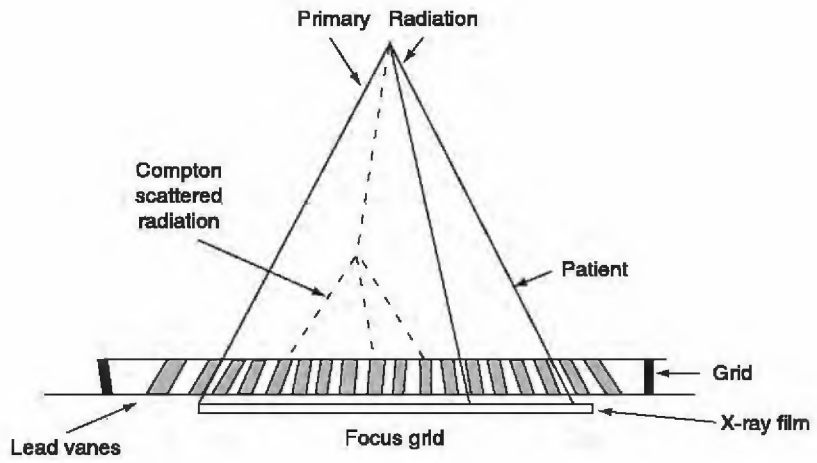
يوجد في الجزء السفلي من محدد الساحة في بعض الوحدات قناة شرائح تُستخدَم لتركيب الأقماع أو الأسطوانات أو غيرها من أشكال وحدات المعادن لتركيز الحزمة أكثر حتى الوصول إلى أصغر بقعة على المريض. هذه هي الأجهزة الميكانيكية، ويجب اختبارها فقط عند شرائها. يتطلب أمن تركيبها الفحص عند إجراء الصيانة الوقائية.

عندما تمر حزمة الأشعة السينية من خلال الجسم ضاربة الأنسجة القاسية أو الرخوة، تنحرف بعض الحزم، والبعض الآخر يقدح عملية تحرير الإشعاع "المُمَيِّز"، وكلها يمكن أن تسبب نقصاً في تحديد الجسم الذي تجري دراسته. يتم تخفيض الإشعاع المنحرف وإشعاع تبعثُر كومبتون، ومن ثم إعطاء صورة أكثر وضوحاً على الفيلم، من خلال وضع شبكة بين المريض والفيلم. يحدث تبعثر كومبتون من خلال تفاعل حزمة الأشعة السينية مع أجزاء الجسم وإنتاج أشعة سينية ثانوية مماثلة للإشعاع المُمَيِّز. هناك اثنتين من الشبكات الأساسية المُستخدمة: الشبكة المتوازية، والشبكة المُركَّزة (انظر الشكلين رقمي ٩١,١٢ و٩١,١٣). إن الشبكات المركَّزة محدودة على تلك المصممة من أجل مسافة وحيدة بين المصدر والصورة (SID) أو مسافة وحيدة بين الفيلم والمحرق (FFD).

تأتي الشبكات في نسب مختلفة من حيث ارتفاع الشريط. بالنسبة إلى الفراغ بين الشرائط. إن إحدى الشبكات الشائعة هي ٨ : ١. حيث إن ارتفاع الشريط الرصاصي هو ثمانية أضعاف الفراغ بينه وبين الشريط الذي يليه. إن النسب الشائعة المُستخدَمة هي ٥ : ١ للعمل عند جهد منخفض، ٨ : ١ لجهود منتصف المجال، ١٢ : ١ للأغراض العامة (وهي الأكثر شيوعا)، و١٦ : ١ للعمل عند الجهود العالية. إن البند التالي الذي يجب أخذه في الاعتبار هو المباعدة بين الشرائط. إن الخيارات الشائعة هي ٣٠ شريطاً لكل سنتيمتر للاستخدام العام، و٤٥ شريطاً لدراسات الجمجمة، و٦٠ شريطاً للدراسات الوعائية. وفي معظم الحالات يمكن للتكنولوجيين تغيير الشبكات حسب الحاجة من دون مشاركة الهندسة الإكلينيكية. عندما يكون لدى التكنولوجي مشكلة مع الشبكة، فإنها تكمن بشكل عام في الأفلام السيئة. وهناك مشكلتان عامتان هما الحالات التي تكون فيها الشبكة غير مُركَّبة بشكل مستو أو مُركَّبة للأعلى، وخصوصاً مع الشبكة المُركَّزة. تكون الشبكات أحياناً خارج المركز، مما يؤدي إلى حواف غير واضحة في الفيلم، وتباين معدوم عند واحدة أو أكثر من الحواف.



الشكل رقم (٩١,١٢). الشبكة المتوازية.



الشكل رقم (٩١,١٣). الشبكة المُركّزة.

إذا كانت الأفلام تخرج مع خطوط ملحوظة للشبكة، فإن هناك مشكلة مع "البوكي". طوَّر الدكتور Hollis Potter والدكتور Gustav Bucky، اللذان عملا بشكل مستقل، هذا النظام في عشرينيات القرن الماضي. يتم تحريك الشبكة من ٢-٣ سنتيمترات في اتجاه واحد أو أكثر بحيث لا تظهر خطوط الشبكة. إن حركة الشبكة هي "الصوت" (clunk) الذي يسمعه المرء خلال التعرض للأشعة السينية. يمكن أن تكون آلية القيادة لتحريك الشبكات النوابض، أو المحركات، أو الملفات اللولبية، أو بعض الآليات الأخرى البسيطة. يوضع كاسيت الفيلم في صينية البوكي، التي تضبط محدد الساحة إلى حجم ذلك الفيلم الخاص. تُركّب الشبكة فوق الصينية وتتحرك أثناء التعرض. وبشكل عام، مجرد الوصول إلى الشبكة لتحديد آلية البوكي يأخذ وقتاً أكثر مما تأخذه عملية إعداده.

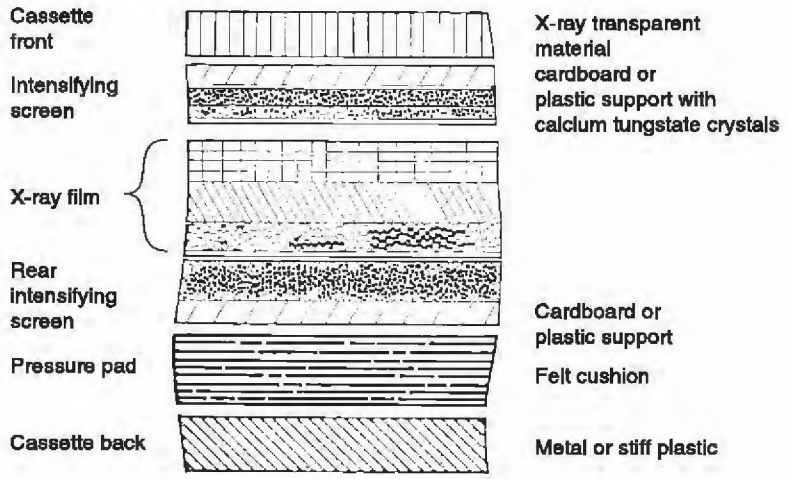
إن الـ OFD (المسافة بين الجسم والفيلم) هي عامل التضخيم لنظام التصوير. فكلما كانت المسافة أكبر، ظهر الجسم أكبر على الفيلم. ونادراً ما يُستخدَم هذا، ولكنه يكون مفيداً أحياناً في تحديد مكان الكسور في العظام الصغيرة.

الفيلم وكاسيتات الفيلم Film and Film Cassettes

تُستخدَم الأفلام ثنائية الطبقة الحساسة بالنسبة لمعظم الفحوصات بالأشعة السينية، مما يعني أن كلا الجانبين من الفيلم يأخذ الصورة. هذه الأفلام هي أكثر تحمُّلاً من الأفلام أحادية الطبقة الحساسة المُستخدَمة لدراسات تصوير الثدي الشعاعي (انظر الشكل رقم ٩١,١٤). تميل الأفلام ثنائية الطبقة الحساسة إلى أن تكون أكثر سطوعاً، لكنها تتخلى عن بعض التفاصيل.

يوجد في كاسيت الفيلم اثنتين من شاشات التكثيف تصدران ضوءاً عند تعرضهما للأشعة السينية. يتعرَّض الفيلم لهذا الضوء سوية مع الأشعة السينية مما يؤدي إلى إنتاج صورة. ويسمح هذا للمريض بامتصاص جرعة أقل،

ولكن هناك خسارة صغيرة في وضوح الصورة على الفيلم. تصبح الشاشات متضررة أحياناً ولا تكون الصور الناتجة ذات جودة عالية. يتم الإبلاغ في بعض الأحيان عن المشاكل في شاشات كاسيت الفيلم على أنها مشاكل في وحدة الأشعة السنية. إن إحدى الدلالات لمشكلة الشاشة هي أن واحدة فقط من مجموعة من الأفلام لديها مشكلة. إن العثور على الكاسيت السيئ يمكن أن يستغرق وقتاً طويلاً. وينبغي للمستخدمين أيضاً مراقبة الكاسيتات فيما يتعلق بتسريبات الضوء. وعادة ما يكون هذا واضحاً من خلال الحواف الواضحة للفيلم الذي تم تحميضه. عند تحديد أعطال وحل مشاكل الأشعة السينية، ينبغي للمرء أن يتفحص دائماً الأفلام الأخيرة التي تم تصويرها قبل أن يفعل أي شيء مع التجهيزات. تقدِّم الأفلام تقريراً غير منحاز عن أي شيء خاطئ في المولِّد.



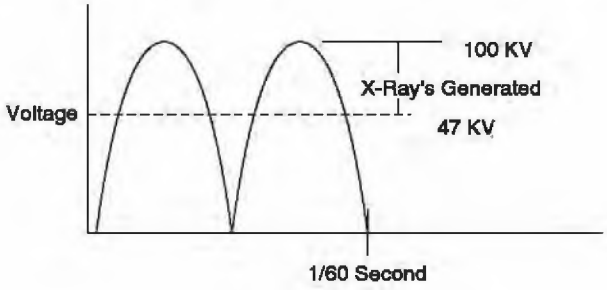
الشكل رقم (٩١,١٤). منظر لمقطع عرضي في كاسيت/فيلم.

التغذية بالطاقة
Power Supply

تُستخدَم المحولات للحصول على الجهود العالية المطلوبة وذلك لأن الجهد الأعظمي للطاقة الكهربائية التي تدخل المستشفى من شبكة التغذية الكهربائية هو ١٣٨٠٠ فولت (وهو أقل بكثير من الجهد المطلوب لتوليد الأشعة السينية). إن الجهد الأعلى في طوابق المستشفى هو ٤٨٠ فولتاً في التوصيلة النجمية (Y) المؤلفة من أربعة أسلاك.

تستطيع وحدات الأشعة السينية البسيطة، مثل الوحدة السنية، العمل على جهد خط أحادي الطور، ١١٧ فولتاً (تيار متناوب)، مع محوِّل رافع للجهد، ومع أنبوب يعمل كمقوِّم. إن هذا النوع من الأنظمة أحادي النبضة (الشكل رقم ٩١,١٥) وهكذا فهو غير فعال وجودة الأشعة السينية ليست كبيرة. كما أن هذا النوع من الأنظمة ذو مُقوِّم نصف موجة حيث يتم إنتاج الأشعة السينية فقط لفترة قصيرة عندما يصل نصف الموجة إلى الجهد الحرج (٤٥٠٠٠ فولت). وهذه الوحدات صغيرة وغير مكلفة إلى حد معقول، وهي ذات مصعد ثابت، ونادراً ما تتطلب

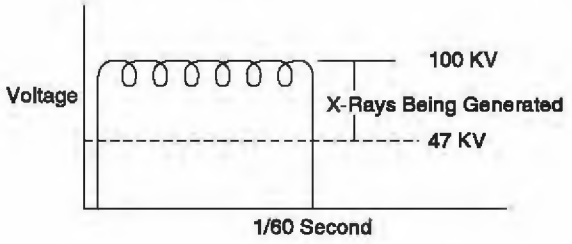
خدمة. هناك شيء واحد ينبغي تذكره هو أن هذه الوحدات غير مُحددة الساحة بشكل جيد، والإشعاع المتبعثر شائع فيها. كما أن مستويات تعرض المريض والمُستخدِم أعلى مما هي عليه في معظم غرف التصوير الشعاعي.



الشكل رقم (٩١,١٥). موجة أحادية النبضة.

تتم التغذية بالطاقة في بعض الوحدات القديمة جداً بخط أحادي الطور مع تقويم موجة كاملة. توجد المقوِّمات في نفس "الخزان" الموجود فيه المحوِّل. وتقوم الأنابيب المُفَرَّغَة أو عناصر الحالة الصلبة والمكثفات بتنعيم تموّج تقويم الموجة الكاملة. لقد تم استبدال معظم هذه الوحدات في مرافق الرعاية الصحية الحديثة، ولكن لا يزال من الممكن العثور عليها مُستخدَمة في عيادة الطبيب. ومن الصعب العثور على قطع الإصلاح، وقد تحتوي بعض الخزانات على البيفينول متعدد الكلور (PCB) على أساس الزيت، مع العلم أنه كان من المفترض أن يتم استبدال جميع الـ PCBs في أوائل ثمانينيات القرن العشرين. وكانت هذه الأنظمة معروفة باسم أنظمة الموجة "ثنائية النبضة" وتم العثور على معظمها في عيادات الأسنان.

استخدمت غالبية الوحدات متوسطة وعالية الطاقة المُركّبة لغاية أوائل تسعينيات القرن العشرين التغذية بالطاقة ثلاثية الطور ٤٨٠ فولتاً. كانت هذه الوحدات تُسمى أيضاً "الأنظمة ذات ١٢ نبضة" (الشكل رقم ٩١,١٦). عندما تكون الأفرع الثلاثة من جهة خرج المحول متصلة مع منبع للتيار المستمر (DC)، يكون التموج صغيراً جداً بحيث إن ٩٥٪ من الجهد ينتج أشعة سينية، بالمقارنة مع أقل من ٥٠٪ في نظام أحادي النبضة.



الشكل رقم (٩١,١٦). شكل موجة ذات ١٢ نبضة.

هناك حاجة إلى المحوِّلات الرافعة للجهد بالنسبة للجهود بقيمة ١٥٠٠٠٠ فولت كالمُستخدَمة في أجنحة تصوير الأوعية. ويجب استخدام نسبة تحويل بحوالي ١ : ٣٥٠ بسبب تذبذب خط الشبكة وعدم فعالية تصاميم المحوِّلات. قد يتطلب حجم ووزن هذه المحولات دعامات أرضية خاصة وغرفة أضافية. ويمكن أن يكون هناك عدة محولات في نفس المنطقة إذا كان يتم استخدام أكثر من أنبوب. بما أن هذه الوحدات يمكن أن تصبح ساخنة، وخاصة إذا كانت هناك حاجة للاستعمال المستمر، فيجب الأخذ في الاعتبار توليد الحرارة. تتطلب المحولات إجراء فحوصات منتظمة للتحقق من مستوى الزيت. فالزيت القاتم في خزان المحول مؤشر على التقوس أو الحرارة الزائدة. كما يجب فحص الوحدات أيضاً للكشف عن التسريب أو الانبعاجات أو الانتفاخات في الجدار. وجميع هذه المؤشرات يمكنها أن تشير إلى فشل وشيك في النظام.

تستخدم معظم أنظمة الأشعة السينية الحديثة ما يُسمىّ التغذية بالطاقة "عالية التردد". يتم تضخيم التردد الوارد إلى ١٠٠ كيلو هرتز تقريباً، مما يسمح للمحولات الصغيرة بالحصول على ربح الجهد المطلوب. ليس هناك حاجة عند هذه الترددات العالية إلى تقويم شكل الموجة. إن شدة الأشعة السينية المتولدة ثابتة تماماً، مما يسمح للمريض بالتعرض لجرعات منخفضة. إن معظم التغذية بالطاقة عالية التردد أصغر حجماً وأخف وزناً وأقل عرضة للفشل ويمكن وضعها في غرفة منصة التحكم، ومن ثم توفير مساحة أرضية.

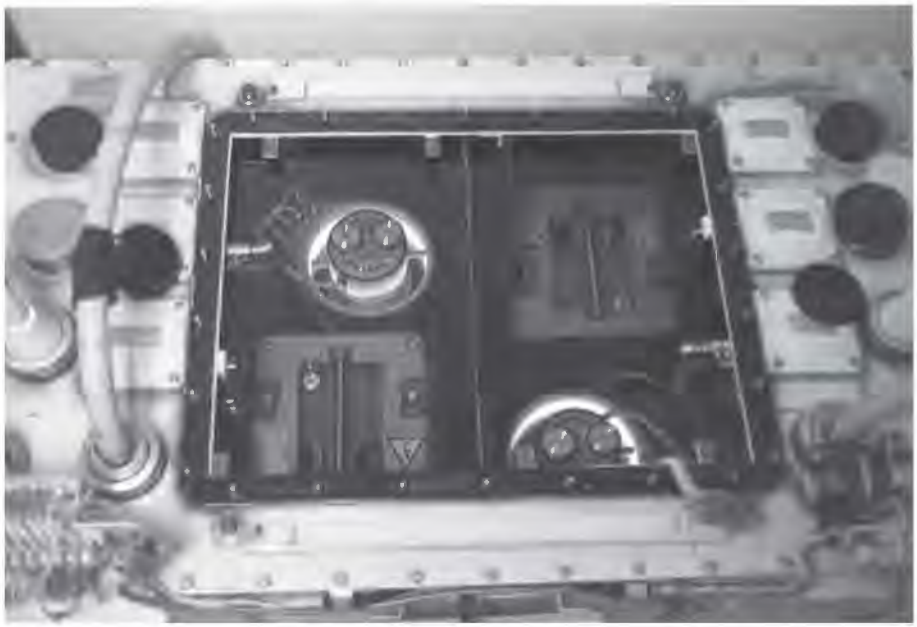
ينبغي للمرء أن يكون لديه كُتيّبات الخدمة قبل البدء في أية إصلاحات على أنظمة الجهد العالي. يجب استخدام إجراءات "أغلق-افصل (Lockout-tagout)" في الموقع لسلامة الشخص والكادر. لقد وقعت أكثر من حادثة واحدة لم تكن فيها الوحدة مغلقة ومفصولة بشكل صحيح، وذلك لمجرد تشغيلها عن غير قصد. ولا يوجد هناك فقط مخاطر الصدمات الكهربائية، بل يمكن أن يكون هناك ضرراً خطيراً على الجهاز. وبشكل عام فإنها فكرة جيدة أن يكون هناك شخص ثاني في المنطقة عند العمل على أنظمة الجهد العالي، من أجل حماية الجميع.

ومن المهم أيضاً أن يتواصل المرء بخصوص ما يقوم به، عندما يتوقع لزوم ذلك، وفيما إذا كان يجب استدعاء الفيزيائي للتحقق من صحة النظام بعد إنهاء الإصلاح. وينبغي إعلام هذا الفيزيائي عند إجراء أية تغييرات في التغذية بالطاقة عالية الجهد أو دارات التوقيت، وعندما يتم تعديل الأنبوب أو مكثف الصورة أو سلسلة الفيديو(انظر الشكل رقم ٩١.١٧).

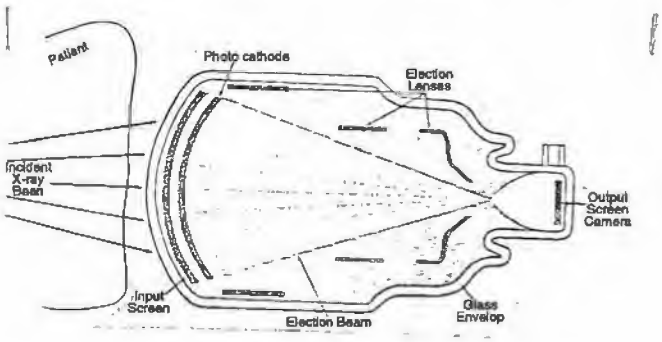
منظار التألُّق
Fluoroscope

تم اختراع منظار التألق الأصلي ذي الشاشة في عام ١٨٩٥م، من قبل Thomas Edison (توماس أديسون)، الذي قام على الفور بتسجيله كبراءة اختراع. لقد بقي التصميم الأساسي ثابتاً لما يقرب من ٦٠ عاماً قبل أن يتم

استبداله بأنظمة الفيديو. تُبيّن فحوصات التنظير التألقي (التألُق) الأحداث الديناميكية (الحركية) في الجسم، مثل الحركة في المسار المعوي، أو تدفق الدم. وهو تصوير بالزمن الحقيقي. إذا كانت هناك حاجة إلى تسجيل، فإنه يتم تصوير "بُقْعَة فيلم (spot film)". يمكن أن تكون بعض الوحدات مُجهزَّة بمبدِّل سريع للفيلم، يُدعى أيضاً "العفريت (البوك) (puck)" تسمح هذه الوحدة بالتتابع السريع للفيلم أثناء عملية التصوير. يمكن أن يكون لبعض الوحدات كاميرا "متعددة القياسات (multiformat)" معلّقة بها، يمكن وضع صندوق فيها يصل إلى ٣٢ صورة على صفيحة (sheet) واحدة للفيلم. إن نفس المعلومات التي سيتم تسجيلها من قبل البوك على عدة صفائح للفيلم يتم القيام به إلكترونياً من صورة التنظير التألقي التي يستقبلها نظام الفيديو ويتم نقلها إلى الكاميرا متعددة القياسات. بما أن التقاط الصورة يتم بواسطة كاميرا فيديو، فإنه يمكن جعل الصورة رقمية والتلاعب بها. ويُدعى هذا أحياناً "الطرح الرقمي" أو "التصوير بالطرح الرقمي". يعمل منظار التألق عند مستوى طاقة أخفض من ذلك المطلوب لأفلام الأشعة السينية التقليدية. ولذلك، إذا كان هناك حاجة إلى فيلم، يذهب النظام إلى نمط "الرفع (boost)" لتعريض الفيلم، ومن ثم ينخفض آلياً عائداً إلى مستواه السابق للتعرض. بصفة عامة، يتلقى المرضى أثناء فحص التنظير التألقي جرعة من الإشعاع أعلى مما ستكون عليه لو تم تصوير أفلام فقط. على الرغم من أن الطاقة أقل، إلاّ أن زمن التعرض أطول، ومن ثم إعطاء جرعات أعلى من الإشعاع. يتدلى من جوانب مكثف الصورة (I/I) (الشكل رقم ٩١,١٨) شرائط من الرصاص للتحجيب، يجب أن يتم معاينتها على أساس منتظم من ناحية التركيب الآمن والتغطية الكافية.

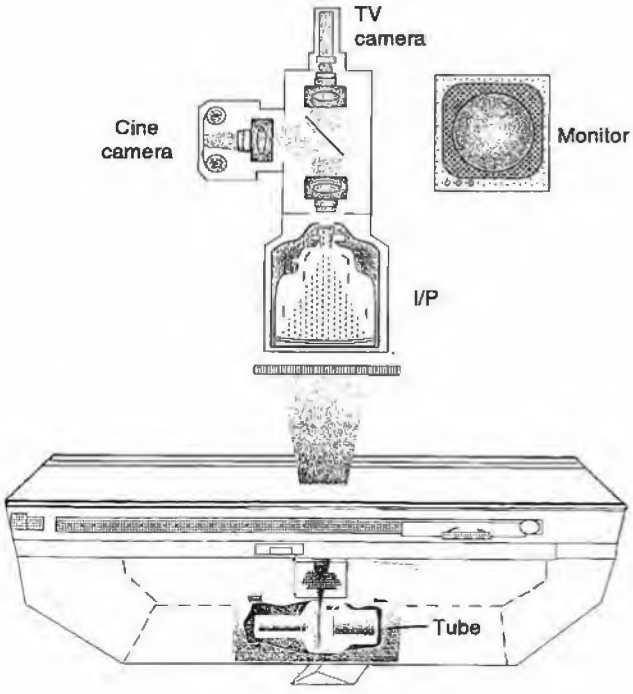


الشكل رقم (٩١,١٧). خزان الجهد العالي مع غطاء مزوع عنه.



الشكل رقم (٩١,١٨). مكثف صورة.

يقع أنبوب الأشعة السينية تحت الطاولة التي يوضع عليها المريض باستثناء وحدات الأشعة ذات الذراع القوسي (انظر الشكل رقم ٩١.١٩). يوجد الأنبوب في نفس النوع من الأغلفة التي سبق وصفها. ومع ذلك، فإنه لا يدور. إن محدِّد الساحة أبسط كما أنه ليس لديه ضوء تهديف أو خطوط رفيعة متصالبة. بعد مرور حزمة الأشعة السينية من خلال المريض، يتم كشفها من قبل مكثف الصورة (I/I). يوجد في النهاية الخلفية لمكثف الصورة كاميرا فيديو تضخِّم الضوء المتولد بواسطة الأشعة السينية التي تضرب مكثف الصورة وتُظهِر أشكال الضوء على أنبوب أشعة مهبطية (CRT). وهذا هو التفسير البسيط لمنظار التألُّق.



الشكل رقم (٩١,١٩). سلسلة فيديو.

يأتي مكثف الصورة في قياسات مختلفة، من ٣ - ١٥ بوصة من حيث القطر؛ إن الوحدات ذات القياس ١٢ و١٥ بوصة ليست شائعة في الوحدات الجديدة كما أن جرعة الإشعاع لهذه الوحدات عالية، وتسمح التقنيات الحديثة لأخصائي الأشعة بتحسين استهداف المناطق التي يتم فحصها. بعض الوحدات تكون متعددة القياسات، ويمكن ضبطها إما إلكترونياً أو ميكانيكياً على مجالات استقبال بقطر ٦ أو ٩ بوصات. إن مكثف الصورة عبارة عن حجرة مُفرَّغَة، عادة ما تكون مصنوعة من الزجاج، مع طبقة فوسفورية من الداخل على النهاية العريضة. عندما تحرِّض الأشعة السينية الفوسفور لإصدار الضوء، يتم تركيز هذا الضوء على النهاية الصغيرة لأنبوب المكثف. يمكن ربط حزمة الضوء مباشرة إلى كاميرا أو تقسيمها بواسطة مرايا إلى اثنتين من الكاميرات أو تقسيمها بين كاميرا ومنافذ مشاهدة مباشرة ليست شائعة في التصميمات الحديثة. إن الترتيب الأكثر شيوعاً هو الربط المباشر مع الكاميرا، يليه مُقسِّم الحزمة الذي يربط كاميرا الفيديو وكاميرا التصوير السينمائي (cine) مع حزمة الضوء الواردة من مكثف الصورة، كما هو الحال في عملية تركيب القثطرة.

يمكن أن تكون الكاميرا فيديكون (Vidicon)، أو بلمبيكون (Plumbicon)، أوCCD، أو تركيب آخر، وتكون متوافقة مع بقية سلسلة الفيديو. تأتي الكاميرات في تشكيلة واسعة من حيث الأحجام وأساليب التركيب، لذلك يجب على المرء أن يكون حذرا في تحديد الكاميرا الصحيحة عند اختيار البدائل. قد يكون هناك كاشف ضوئي في بعض الأنظمة بين مكثف الصورة والكاميرا المُستخدَمة لتأمين التغذية الراجعة للتحكم الآلي بالسطوع، الذي يُسمّى أحياناً "التحكم الآلي بالربح". وفي أنظمة أخرى يتم توليد التغذية الراجعة بعد الكاميرا.

تأتي شاشات المراقبة في أحجام وأشكال ودقة تمييز متعددة. يُستخدَم في الوحدات القديمة عدد خطوط يتراوح بين ٤٥٠-٧٠٠ خط، وأكثرها شيوعاً هي شاشات المراقبة ذات الـ ٥٢٥ خطاً. تستخدم بعض الوحدات الحديثة شاشات مراقبة ذات ١٠٢٤ خطاً. يستخدم العديد من الوحدات شاشات مراقبة ذات ١٠٢٤×٧٦٨ متشابكة أو١٢٨٠×١٠٢٤ أو١٦٠٠×١٢٨٠ غير متشابكة. ويجب أن يكون النظام متوافقاً بدءاً من الكاميرا و انتهاء بشاشات المراقبة للحصول على أفضل النتائج. ينبغي ألا ينفق المرء أموالاً زائدة على شاشات مراقبة ذات دقة تمييز عالية إذا كانت الكاميرا ليست قادرة على إعطاء دقة تمييز عالية. ويجب على المرء أيضاً، عند استبدال شاشة المراقبة، أن يأخذ في الاعتبار وزنها إذا كانت "معلقة" على ذراع متحرك. وقد يضطر المرء إلى إعادة موازنة الذراع للتأكد من أنه لا يزال ثابتاً عند تغيير وضعيته، وأنه لا يتحرك صعوداً أو نزولاً.

كما ذُكِر سابقاً، غالباً ما تُستخدَم أنظمة بُقْعَة الفيلم، ومبدِّلات الفيلم السريعة والكاميرات متعددة القياسات للتسجيلات "الساكنة" لهياكل الجسم. ومن أجل دراسات الحركة فقد تم استبدال شريط الفيديو والفيلم السينمائي بذاكرة ديناميكية-وهي كمبيوتر ذو ذاكرة كبيرة يمكنه توثيق العديد من الدراسات قبل أن يجب نقلها إلى

قرص مضغوط (CD) أوDVD أو قرص ضوئي. إنه بشكل أساسي وحدة لنظام أرشفة وتبادل الصور (PACS). إن شريط الفيديو غير مكلف ولا يتطلب معالجة للفيلم، ولكن ليس لديه القدرة على إعطاء دقة التمييز العالية التي يملكها الفيلم بالنسبة للأجسام الصغيرة. غالباً ما تُستخدَم شرائط الفيديو كنُسَخ احتياطية للتصوير السينمائي وأصبحت أكثر قبولاً على نطاق واسع من قبل العاملين في المجال الطبي. إن هذه الأنظمة ذات الشريط ليست من الأنظمة التجارية الموجودة على رفوف مخازن بيع الفيديو المحلية، بل هي وحدات من الدرجة المحترفة مع "مزيل إطار" وحركة بطيئة جداً وغيرها من المواصفات. يتطلب التصوير السينمائي وحدة تحميض خاصة ومنصة معالجة لعرض الأفلام. وهذه الأجهزة ذات أعطال كثيرة وصيانة متكررة مما يتطلب إجراءات صيانة وقائية جيدة لخفض التكاليف والوقت.

إن لدى معظم أنظمة التألّق تحكماً آلياً بالربح أو السطوع. ويسمح هذا بالضبط الآلي للجهد (KV) والتيار (mA) أثناء الفحص بحيث يبقى تباين وكثافة الصورة ثابتين. يمكن أن يكون هذا النظام مصدراً للمشاكل التي غالباً ما يكون أساسها المُستخدِم أكثر من التكنولوجيا. إن الأعطال الصعبة غير شائعة في هذه الدارات، ولكنها غالباً ما تحتاج إلى عمليات ضبط كلما تقادم الأنبوب. عندما يتم استبدال الأنبوب، فإن إعادة التحكم بالربح إلى خط الأساس الجديد لخرج الأنبوب هي ممارسة جيدة. ويتم ذلك بشكل آلي في بعض الوحدات.

الطاولة
The Table

إن أبسط طاولة للأشعة السينية هي عبارة عن سطح أفقي مع حركة محدودة. إن صينية كاسيت الفيلم (البوكي) ثابتة، كما يوجد أنبوب علوي، ويتم وضع المريض باستخدام "السطح العلوي المتحرك". إن الحركة باتجاه الرأس والقدم هي عموماً بمقدار قدمين أو أقل، مع حركة من جانب إلى جانب بحوالي نصف قيمة الحركة باتجاه الرأس والقدم. حالما يتم وضع المريض على الطاولة بشكل صحيح، يتم قفل السطح العلوي في مكانه باستخدام فرامل تعمل بالطاقة الكهربائية. إن السطح العلوي للطاولة مصنوع من مادة مركبة تسمح للأشعة السينية بالمرور من خلالها مع ضياع قليل أو معدوم للأشعة، وليس هناك تبعثر إضافي. إن الكثير من هذه السطوح العلوية له حدود تحمُّل بالنسبة للوزن تتراوح بين ١٧٥-٢٠٠ كيلوغرام. ينبغي استبدال السطوح العلوية المتضررة عندما توجد، لأنها يمكن أن تهدد سلامة المرضى من خلال المساهمة في أعطال الإقفال وسوء جودة الفيلم والعدوى وأذية المريض.

إن لدى الطاولات التي تعمل بالكهرباء حركات رأس/قدم وجانب/جانب وكذلك حركة صوانٍ متعددة الكاسيتات، بالإضافة إلى القدرة على تحريك المريض من وضعية الانبطاح (أي الأفقية) إلى الوضعية العمودية. يتحرك مكثف الصورة بوضعية زاويّة بحيث يكون دائماً على اتساق مع الأنبوب تحت الطاولة. بما أن هناك محركات

قيادة تُستخدَم لتحريك المريض والطاولة إلى الزوايا المُختارة، فمن الشائع بالنسبة لأغطية الطاولة أن تعلق في آليات القيادة. ولذلك ينبغي لهذه الآليات أن تكون دائماً مغطاة، وعندما لا تكون مغطاة، فإنها يمكن أن تقدِّم احتمالاً كبيراً لإصابة المريض. بالإضافة إلى ذلك، يمكنها أن تضع مطلباً ثقيلاً بشكل غير معقول على المحركات ويمكن أن تؤدي إلى أعطال. إن أنظمة الإقفال في طاولات الإمالة حرجة، وينبغي أن تكون نقطة رئيسية في أي برنامج صيانة وقائية. وكما هو الحال مع الطاولة البسيطة، يتعرض السطح العلوي للطاولة للأضرار من المرضى ذوي الأوزان الثقيلة وينبغي معاينتها بدقة بعد أن يكون قد وُضع مريض ثقيل على الطاولة. عند تنفيذ إجراءات الصيانة الوقائية السنوية على الطاولة، ينبغي فحص مجموعة التروس فيما يخص فقدان أسنان المسننات وتراكم البرادة. يمكن أن يساهم هذان الخطران في الأعطال المبكرة لمحركات القيادة. عند العمل على طاولات تُستخدَم لفحوصات ارتداد الجريان أو الإفراغ، ينبغي للمرء أن يتبع إجراءات الاحتياطات العالمية للحماية الشخصية.

الأنبوب العلوي
The Overhead Tube

عندما يكون هناك أنبوب علوي، فإنه يُركَّب على نظام مسارات، مماثل لضوء غرفة العمليات (OR)، ما عدا أن مقدار الحركة أكبر بكثير. تتحرك مجموعة الأنبوب العلوي في أربعة اتجاهات أفقية. هناك حاجة إلى أدوات إمساك (detents) (وضعيات إقفال) وإيقاف على المسارات، لضمان السلامة والمحاذاة الصحيحة. ويجب التحقق من صحة أمن أدوات الإمساك والإيقاف على نحو منتظم. إن المحافظة على الأجهزة الأخرى من التعدي على مجال حركة الأنبوب العلوي أمر صعب. وقد تضرر العديد من الأجهزة بسبب ارتطامها أثناء تحرك الأنبوب. ينبغي الكشف على توقفات نهاية المسارات على أساس منتظم، للتأكد من أن مجموعة الأنبوب لا يمكن أن تسقط عن المسارات. يُستخدَم في كثير من التركيبات نظام توازن معاكس (counter-balance) باستخدام كابلات وأوزان للسماح بحركة سلسة وسهلة للأنبوب. تهترئ هذه الكابلات مع مرور السنوات نتيجة الاستخدام وتحتاج أحياناً إلى استبدال، وخصوصاً في الأنظمة التي تفرمِّل أو تقفل بواسطة الإطباق (clamping) على الكبل. يمكن أن تكون الكابلات المهترئة في حركة الأنبوب للأعلى والأسفل فوق المريض خطيرة بشكل خاص.

تبقى الأقفال في أي نظام إقفال وتثبيت مفتوحة مما يجعل من المستحيل تثبيت الأنبوب في الموقع. إن تحديد عطل وحل مشاكل الأقفال هي وظيفة لشخصين. ففي حين يراقب أحد الشخصين الأقفال، وغالباً من خلال وقوفه على سلم، يقوم الآخر بتزويد القفل بالطاقة من القبضة الرأسية للأنبوب. إن الأسلاك المقطوعة في نظام الإقفال شائعة. ويمكن استخدام سلك طوله ١٠ أقدام مع ملاقط فم التمساح على كل طرف لتحديد موقع السلك المقطوع. يتم شبك إحدى النهايات إلى المفتاح، والأخرى إلى القفل. فإذا تم تفعيل القفل عندما يكون المفتاح في حالة

توصيل فإن هذا يشير إلى السلك المقطوع. إن استبدال أسلاك الأقفال ليس سهلاً، لأنه قد يكون من الصعب توجيه السلك في مساره بشكل صحيح. إن الإصلاحات المؤقتة أثناء العملية أو اليوم، في أسوأ حال، ينبغي ألا تُعتبر إصلاحات دائمة. ينبغي عدم استخدام الأسلاك المُغلّفة بالمطاط في أي منطقة يتوقع فيها التعرض للإشعاع، حيث يحوّل الإشعاع جزيئات المطاط إلى معدن، مما يؤدي إلى نشوء مقاومات عالية على مدى سنوات من التعرض. وينبغي فقط استخدام الأسلاك البلاستيكية أو المعزولة بالتفلون.

منصة التحكم
The Console

تقع وحدة التحكم، أو منصة التحكم، في غرفة مجاورة للغرفة الرئيسية. تحمي نافذة الزجاج الرصاصي التكنولوجي من الإشعاع المتبعثر وتتيح للتكنولوجي رؤية كاملة للمريض (Strzelczyk, 2004). يختار التكنولوجي من منصة التحكم التقنية؛ أي الكيلو فولت (kV)، والميلي أمبير (mA)، وزمن التعرض. تبعاً لعمر الوحدة تتم الاختيارات عن طريق مفاتيح دوارة أو مفاتيح ذات أزرار دفع أو مفاتيح على شكل مجداف أو مفاتيح قلابة للأعلى والأسفل. يتم ضبط زمن التعرض في بعض الوحدات القديمة جداً بواسطة مؤقت ميكانيكي (مثل مؤقت البيض). في حين أن الوحدات القديمة قد يكون لديها فقط مقياس تشابهي يظهِر الـ kV والـ mA، فإن الوحدات الرقمية الحديثة لديها إظهار للـ kV والـ mA وأزرار تحديد الزمن حسب الموضع (للجمجمة أو الصدر أو البطن أو الحوض أو الأطراف) التي تضبط آلياً الـ kV والـ mA والزمن للتكنولوجي. يمكّن تجاوز التحكمات التكنولوجيين باستخدام إعدادات أخرى حسب الحاجة.

إن معظم المشاكل المرتبطة بمنصة التحكم هي نفسها الموجودة في أي سطح تحكم على أي جهاز، وتشمل انفكاك الأزرار، تعليق المفاتيح (عدم القدرة على تحريكها)، وجروح في الأغشية التي تحمي لوحة مفاتيح.

قد تُظهِر اللوحات الوقت المنقضي ومعلومات الجرعة في النمط التألقي، والوحدات الحرارية، وغيرها من المعلومات. يحتوي الكثير من الوحدات الجديدة على نظام بذاكرة إنذار يسجل الأخطاء في النظام. ينبغي النظر في هذا النظام دائماً عندما يتم الإبلاغ عن أي مشكلة. تكون ذاكرات الإنذار عموماً متاحة فقط عندما يتم إدخال متتالية محددة، عندما تكون الوحدة في نمط الخدمة. تشير الأخطاء "التقنية" إلى أن التكنولوجي يتجاوز الإعدادات المُختارة آلياً، وأنه ربما لم يحصل على التعرض المناسب. قد يكون من الصعب التعامل مع هذا الوضع لأنه إذا تم مواجهة التكنولوجي بذلك، فقد يصبح التكنولوجي أكثر سلبية تجاه الجهاز.

يمكن أن يكون صندوق الربط حيث تتصل الأسلاك من منصة التحكم ببقية تجهيزات الغرفة نقطة إشكال. يمكن لانسكاب القهوة ومشابك الورق وتراكم الغبار الثقيل إن يسبب قِصَر في التوصيلات الخارجية.

عندما يقوم أخصائيو الأشعة بإجراء فحص بالتنظير التألقي، فإنهم يكونون في الغرفة مع المريض ويستخدمون إما التحكم باليد أو القدم للتحكم بالوحدة، وإجراء بقعة أفلام، والقيام بعمليات الضبط الأخرى. إن كلاهما نقاط فشل ويحتاجان إلى العمل المستمر. تتعرض التحكمات بالقدم إلى الانسكابات، والركل، وإساءة الاستعمال العام، في حين أن التحكمات باليد تسقط في معظم الأحيان، ومن ثم تسبب صدمة ميكانيكية شديدة بسبب التوقف المفاجئ أو التباطؤ السريع. إن وضع واقٍ مطاطي على التحكم باليد هو أحد الحلول، كالذي يضعه المرء على مقياس التأكسج النبضي.

يوجد في بعض الأنظمة ما يصل إلى خمسة خزانات أجهزة، وخزانتان للجهد العالي، ومكونات أخرى متعددة، وجميعها مترابطة فيما بينها. من المهم التفتيش على جميع الأسلاك المكشوفة (سنوياً على الأقل)، والمحافظة على الخزانات خالية من الغبار وتأمين تهوية جيدة لها. ينبغي المحافظة على كتيبات الأجهزة في المنطقة وتأمينها. تحتفظ بعض المنظمات بسجلات الخدمة في ملف في المنطقة، بالإضافة إلى أية ملاحظات أو تحديثات ميدانية. ففي شعبة الأشعة تكون المعلومات قوة ويجب على المرء حماية ذلك المصدر من القوة لنفسه. إنه من غير المألوف أن تكون أنظمة الأشعة السينية موصولة إلى نظام الطاقة في حالات الطوارئ للمستشفى. يمكن توصيل معظم الأنظمة يدوياً مع طاقة الطوارئ لفترات قصيرة إذا كان هناك استطاعة كافية للمولدات. بشكل عام، يتم وصل أجزاء من النظام مع مكيفات الطاقة أو حتى مع التغذية بالطاقة غير القابلة للانقطاع (UPS). إنها فكرة القيام بتسجيل مقدار التغذية بالطاقة لكل جهاز في الغرفة جيدة، حيث إن بعض شاشات الفيديو للتنظير التألقي يمكن أن تكون على نفس نظام التغذية بالطاقة الذي توجد عليه الطاولة أو لوحة التحكم، وسوف تعمل فقط حين يتم تغذية تلك الأنظمة بالطاقة.

لقد فعل الناس ما بوسعهم لجعل أنظمة الأشعة السينية أكثر تعقيداً وتكلفة أكثر مما فعلوه مع أي جهاز طبي آخر. إن لدى المرء اسمين إلى ثلاثة أسماء لنفس الوظائف؛ كما أن لديه توصيلات بين الأجهزة مبتعدة قدمين عن بعضها، وسوف تذهب ٢٠ قدماً داخل الأرض أو السقف إلى خزانة الربط ومن ثم العودة. بالإضافة إلى ذلك، فإن التكاليف مرتفعة ولا يتوفر مورِّدون بديلون للعديد من المواد. من الأفضل للمرء في شعبة التصوير أن يكون مديراً جيداً للتكنولوجيا من أن يكون شخصاً يقوم بالإصلاح الجيد للتكنولوجيا.

أجهزة التحميض وأجهزة التلقيم المتعدد والتصوير الجاف
Processors, Multiloaders, and Dry Imaging

إن الفيلم هو المُستخدَم في أنظمة التصوير الشعاعي لتوثيق الصور، وليس الـ PACS أو الذاكرات الديناميكية. والأفلام الأكثر شيوعاً هي ذات القاعدة الزرقاء أو الخضراء. يمكن أن يكون للأفلام اختلاف في السرعات (أي،

هناك حاجة إلى ضوء متغير لكشفها)، والطبقات الحساسة (الجزيئات التي تتلقى الضوء)، ومادة القاعدة، والطبقات الحساسة أحادية أو ثنائية الجانب، والأحجام. هناك فيلم ضوء النهار الذي لا يحتاج إلى غرفة مظلمة، والفيلم العادي الذي يتطلب غرفة مظلمة، وبتجميعها مع كاسيتات ضوء النهار أو الغرفة المظلمة التي لديها شاشات تكثيف داخلها تناسب الفيلم المُستخدَم، فإن الفرصة للأخطاء وعدم التطابق عالية جداً. إن نوع الفيلم (أزرق أو أخضر)، والسرعة، وشاشات التكثيف في الكاسيتات، والمواد الكيميائية في جهاز التحميض يجب أن تكون جميعها متوافقة من أجل تحقيق نتائج عالية الجودة. من خلال ضم هذه العوامل إلى متغيرات التقنية (إعدادات الـ kV والـ mA والزمن)، يسهل فهم لماذا صناديق نفايات الأفلام دائماً ممتلئة.

أفلام الغرفة المظلمة Darkroom Films

بالعمل في غرفة مظلمة تحت "ضوء آمن"، يقوم التكنولوجي بوضع الأفلام يدوياً في الكاسيتات من خلال فتح الجزء الخلفي للكاسيت. وهذا الكاسيت إما أن يُحمل باليد إلى خارج الغرفة المظلمة أويتم وضعه في "صندوق تمرير" حيث يلتقط تكنولوجي آخر الكاسيت ويجري فحصاً من خلال وضع الكاسيت في صينية البوكي ويعرِّض الفيلم حيث يكون المريض بين المصدر (أنبوب الأشعة السينية) والفيلم. يجلب التكنولوجي الكاسيت ثانية إلى الغرفة المظلمة أو صندوق التمرير، حيث يتم فتح الكاسيت وتلقيم الفيلم يدوياً إلى جهاز تحميض الفيلم.

تتضمن بعض المشاكل التي تتم مواجهتها عادة ما يلي:

- تسريبات ضوء حول حواف الفيلم، مشيرة إلى أن الكاسيت لم يُغلِق بشكل صحيح، أو أن به خلل (ينبغي البحث عن دلائل على أن الكاسيت قد سقط وتضرر).
- علامات على الفيلم تسبب بها غبار أو أوساخ على شاشات التكثيف.
- أغطية المزالج لا تُغلِق بشكل صحيح.

أفلام ضوء النهار Daylight Films

توضع حزم أفلام ذات أحجام مختلفة، في ظل ظروف إضاءة عادية، في جهاز تلقيم متعدد من قبل التكنولوجي وعادة ١٠٠ صحيفة فيلم في وقت واحد. يدفع التكنولوجي بالكاسيت إلى "فتحة التلقيم" حيث تفتح أصابع ميكانيكية نهاية الكاسيت بينما تحدد في الوقت نفسه حجمه. يختار الجهاز الحجم الصحيح للفيلم، ويستخدم بكرات دفع لإجبار الفيلم بالدخول إلى الكاسيت. بعد ذلك يستخدم التكنولوجي الكاسيت من أجل إجراء ما. بعد الإجراء يضع التكنولوجي الكاسيت في "أداة التفريغ" الموصولة مع جهاز تحميض الفيلم. تفتح الأصابع الميكانيكية الكاسيت وتخرج الفيلم على نظام بكرة ينقل الفيلم إلى جهاز التحميض.

تتضمن المشاكل الشائعة ما يلي:

- تسريبات الضوء، بشكل عام على حافة واحدة فقط من الفيلم، التي قد تكون بسبب سوء الكاسيت أو تعرض الفيلم للضوء عندما تم تقديمه إلى جهاز التلقيم المتعدد.
- علامات على الفيلم ناجمة عن بكرات التلقيم أو التفريغ.
- تلقيم أكثر من فيلم واحد للكاسيت. وهذه مشكلة عامة إذا كان مسموح للرطوبة أن تصل إلى قيم عالية جداً في جهاز التلقيم المتعدد.

جهاز تحميض الفيلم
Film Processor

لم تتغير أجهزة تحميض الأفلام كثيراً منذ بدء العمل بها في ستينيات القرن العشرين. يتحرك الفيلم المُعرَّض نحو الأسفل إلى محلول الإظهار، ومن ثم يعود إلى الأعلى إلى رف العبور الذي يرسل الفيلم نحو الأسفل إلى حوض المثبِّت، ومن ثم ثانية إلى الأعلى إلى رف عبور آخر ونزولاً من خلال حوض الغسيل، ومن ثم إلى رف التجفيف قبل أن يتم إسقاطه في سلة الأفلام التي تم تحميضها في مقدمة جهاز التحميض. يتم إضافة مواد كيميائية إضافية مع كل فيلم يمر عبر جهاز التحميض وذلك للحفاظ على النظام في حالة التوازن. إذا بقي جهاز التحميض لفترات طويلة دون أن يجري تحميض أفلام، فيمكن للتوازن الكيميائي أن يتأثر. إن لدى معظم أجهزة التحميض دورة "جاهزية (stand-by)" يتم خلالها إضافة المُظهِر والمثبِّت إلى جهاز المعالجة كل ساعة، مُعوِّضةً بذلك المواد الكيميائية التي تبخرت. يمكن أن يسبب هذا مشاكل لجودة التحكم بالأفلام، كما يمكن للتراكيز أن تصبح مرتفعة للغاية، ومن ثم تنتج أفلام مظلمة جداً. من الحكمة منع وضع أجهزة تحميض الأفلام في المناطق منخفضة الاستخدام، حيث إنها تتطلب رعاية أكثر من تلك الموجودة في المناطق مرتفعة الاستخدام.

يجب أن تكون المحاليل المُستخدَمة متوافقة مع الطبقات الحساسة للفيلم ويجب مراقبتها من حيث الجودة عن طريق إجراء اختبارات "قياس الكثافة" كل يومين مرة على الأقل (أو، الأفضل حالياً كل يوم). يُكشف الفيلم بواسطة مقياس الحساسية (sensitometer) ويسير خلال جهاز التحميض. يوجد على حافة الفيلم ٢١ خطوة للتعرض تتراوح في الكثافة من ٠,٠٥–٣,٠٥ في خطوات بمقدار ٠,١٥. يتم قياس ثلاث نقاط على الفيلم المُعرَّض باستخدام مقياس الكثافة.

النقطة الأولى هي أن الفيلم خارج منطقة ظهور مقياس التدرج الرمادي لمقياس الحساسية. وهذه هي القراءة الأساسية أو الضبابية التي ينبغي أن تظل ثابتة. بعد ذلك يتم قياس خطوتين على مقياس التدرج الرمادي، مثل ٩ و١٣؛ ويمكن أن تختلف هذه من مستشفى لآخر وحتى داخل المستشفى الواحد. إن الخطوات المُختارة هي جزء من برنامج ضمان الجودة (QA) لقسم الأشعة. يتم طباعة القياسات لهذه النقاط، وإن أية تغيُّرات تدوم أكثر من يومين

سوف تتطلب عموماً إما تنظيف جهاز التحميض أو تعديل المزيج الكيميائي أو درجة الحرارة. إذا تم قياس جميع الخطوات الـ ٢١ وطباعتها، فقد يكون لدى المرء منحنى مُمَيِّز للكثافة والتعرض. ويُدعى هذا أيضاً "منحنى H&D" (الذي وضعه كل من Hunter و Driffield). يبين الرسم البياني للـ QA لكل جهاز تحميض النقاط الأربع الرئيسية، القاعدة الضبابية للفيلم، والقراءات عند كل خطوة مُختارة، ودرجة حرارة المُظهِر.

ينبغي تنظيف بكرات العبور أو الرف كل صباح لإزالة أي تراكم للمواد الكيميائية المُجَفِّفة. يُعتبر الغسيل بواسطة ماء دافئ جارٍ لمدة دقيقة أو أقل كافياً لإزالة أي تراكم. إذا لم يتم تنظيف المواد الكيميائية المُجَفِّفة، فإنها يمكن أن تؤدي إلى "الانسلاخ" على الفيلم، ويمكن أن تشير إلى وجود تغير تشريحي في المريض ليس موجوداً. كما يمكن أن يمثل هذا مشكلة خطيرة، وخصوصاً في دراسات التصوير الشعاعي للثدي (الماموغرافيا).

تملك معظم المستشفيات نظام استخلاص للفضة متصل بأجهزة التحميض لالتقاط الفضة التي تغسل الأفلام عندما يتم تحميضها. يمكن أن يسبب هذا مشاكل إذا لم يتم تغييره على أساس منتظم، ويمكنه أن يعيق تدفق المياه من جهاز التحميض إلى مصرف المياه. إن انسداد المصارف وتسريب الخزّانات والتغيرات في درجات الحرارة والمضخات العالقة هي مشاكل شائعة في أجهزة التحميض. إذا تم تنظيف بكرات ورفوف جهاز التحميض على أساس منتظم، وتم استبدال البكرات حسب الحاجة، فإنها لن تكون مناطق مشاكل رئيسية. ومع ذلك، فإنها تصبح مناطق مشاكل إذا لم يتم تنظيفها. يجب اتباع برنامج QA جيد، للتقليل من المشاكل في أجهزة التحميض إلى الحد الأدنى لضمان نتائج ثابتة.

يوجد في معظم المستشفيات جهاز تحميض أفلام مُخصَّص لأفلام التصوير الشعاعي للثدي. إن هذه الأفلام هي أفلام أحادية الطبقة الحساسة وتتطلب درجات حرارة مختلفة عن تلك التي تُستخدَم للأفلام الاعتيادية لدراسة التصوير الشعاعي.

عندما تكون الأنظمة الرقمية موجودة إما من أجل دراسات التنظير التألقي أو التصوير الشعاعي، فإنه يتم إرسال الإشارات إلى جهاز يسمى " الكاميرا الليزرية" أو" المُصوِّر الليزري". يتم في هذا الجهاز مسح الصور على فيلم ونقلها إلى جهاز تحميض الفيلم. إن هذا النظام عرضة للفشل ويحتاج إلى خدمة منتظمة، كما هو الحال مع أي نظام رقمي. يجب على المرء أن يكون منتبهاً لتسريبات الضوء بين الكاميرا الليزرية وجهاز التحميض لأنها يمكن أن تؤثر على جودة الفيلم.

يسمى التحقق من صحة هذا "بنظام التصوير الجاف" أو" الكاميرا الليزرية الجافة". يأخذ هذا الجهاز الصور الرقمية و"يطبعها" على "فيلم" ذي قاعدة من الأسيتات (الخلاّت). إن هذا ليس فيلماً حقيقياً، بل هو أسيتات صافية تحتوي على صور مطبوعة. لا يوجد في هذه الحالة جهاز تحميض للأفلام ولا كاسيتات ولا أفلام ولا مواد كيميائية

يلزم مزجها. إنها أقل تكلفة للتشغيل وصديقة للبيئة، ولكن يمكن استخدامها فقط مع أنظمة التصوير الرقمي. لا يشعر بعض أخصائيي الأشعة بالارتياح مع هذه الأجهزة. توجد هذه الوحدات في الأغلب في مناطق التصوير المقطعي (CT) والتصوير بالرنين المغناطيسي (MRI). وسوف تصبح هذه الأنظمة أكثر شيوعاً عندما يتم تركيب الـ PACS في المستشفيات. إن أنظمة PAC مكلفة وتتطلب تغييرات كبيرة في سياسات وإجراءات الأقسام، ولكن الأسعار آخذة في الانخفاض. وكلما تم تركيب أنظمة رقمية في غرف العمليات، كان العائد على الاستثمارات في أنظمة الـ PAC أفضل.(Cohen, 2003)

الوحدات التخصُّصية
Specialty Units

قد تكون الوحدات التخصصية موضوعة في الواقع ضمن قسم الأشعة الرئيسي، بل وفي مناطق أخرى من المستشفى. إن خدمات التصوير الشعاعي للثدي وكثافة العظام غالباً ما تكون موضوعة في عيادات الصحة النسائية أو في مناطق العيادات الخارجية. يمكن أن تكون وحدات التصوير المقطعي موجودة في عيادات جراحة العظام، في حين يمكن أن تكون مناطق الأشعة التداخلية قريبة من غرف العمليات. يمكن أن تؤثر المواقع البعيدة لهذه الخدمات على مقدرة المرء على تقديم الخدمات. على سبيل المثال، عندما لا تكون الأجهزة التي يجب خدمتها في منطقة التصوير الشعاعي الرئيسية، فإنه ليست هناك طرق بديلة ملائمة لإجراء الفحوص المتخصصة. إن هذه الفحوصات هي إجراءات مكلفة عموماً، ولا يريد المستشفى أن يمتنع عن السداد لها. يمكن أن تكون إعادة جدولة المرضى مشكلة، ولذلك هناك حاجة إلى برامج صيانة وقائية (PM) جيدة، للحفاظ على "زمن تشغيل" عالٍ لهذه الأجهزة والأنظمة ومنع التأثيرات السلبية على الصورة المالية للمستشفى.

تصوير الشعاعي للثدي Mammography

إن صورة الثدي الشعاعية هي جزء من الفحص الدوري للنساء فوق سن الـ ٤٠. وهذه صورة شعاعية لأنسجة رخوة، تتطلب أجهزة أشعة سينية متخصصة وملحقاتها. في البداية، عندما تم القيام بتصوير الثدي الشعاعي، تم إزالة محدد الساحة من الأنبوب، وتم تركيب مخروط في مكانه. وكان يتم خفض المخروط إلى سطح الجسم، وأخذ صورة الأشعة السينية. لقد كان الجهد المُستخدَم ما بين ٤٠-٥٠ كيلو فولتاً، مع فترة تعرض طويلة. لقد كان هذا إجراء غير مريح، وكانت الجرعة مرتفعة وتصل إلى ١٠ راد. تُقدِّم الآن وحدات التصوير الشعاعي للثدي والمُصَمَّمة خصيصاً لهذا الغرض جرعات أقل من ذلك بكثير، في حين أنها لا تزال غير مريحة بالنسبة للمريض. لقد خفّض استخدام المولّدات عالية التردد التعرُّضات أيضاً وزاد التباين في الأفلام لأن حزمة الأشعة السينية أكثر ثباتاً.

يتم في عملية التصوير الشعاعي للثدي ضغط الثدي بين "مجاديف" قابلة للضبط تحرِّك الأنسجة لتشكِّل سماكة أكثر تماسكاً، ومن ثم يتم أخذ الفيلم. إن هذا الفيلم أحادي الطبقة الحساسة ومُصمَّم للصور منخفضة التباين. يتم تحميض الفيلم في جهاز تحميض مُخصَّص لهذا النوع من الأفلام. يصبح التصوير الرقمي ببطء أكثر شيوعاً، ولكن تقدمه كان بطيئاً بسبب مشاكل السداد، حيث إن العديد من شركات التأمين لم يوافق على استخدام الأنظمة الرقمية في دراسات التصوير الشعاعي للثدي. ولقد كانت إدارة الغذاء والدواء (FDA) بطيئة أيضاً في إصدار موافقتها على التكنولوجيا.

تتضمن المشاكل الشائعة في وحدات التصوير الشعاعي للثدي مجاديف الضغط التي تتصدع أو تنزلق، وتحديد الموقع الميكانيكي. إن استبدال الأنبوب، الذي يمكن أن يكون مكلفاً، أمر شائع بعد سنتين إلى أربع سنوات من الاستعمال. ينبغي أن يراقب الفيزيائي عن كثب حجم البقعة المحرقية في الأنبوب للتأكد من أنها لا تتجاوز مجال الحجم المحدد. إن نمو البقعة المحرقية سوف يؤثر على جودة الفحوصات. وينبغي للمرء الحصول من السلطات الحكومية على نسخة من اللوائح الناظمة لخدمات التصوير الشعاعي للثدي، وينبغي له التأكد من أن التركيبات تحقق هذه المتطلبات.

قد يكون لبعض أخصائيو الأشعة أيضاً لوحة مشاهدة مُخصَّصة لأفلام التصوير الشعاعي للثدي. وقد تكون الأضواء أكثر سطوعاً وقد يكون لها خرج أكبر في مجال الطيف الأزرق للضوء. إذا كانت هذه هي الحالة، فإن استبدال جميع مصابيح الضوء في نفس الوقت عند إجراء الصيانة الوقائية هو فكرة جيدة.

التصوير المقطعي Tomography

إن هذا الإجراء معروف من خلال العديد من الأسماء (على سبيل المثال، "المقطعي (tomo)"، و"التصوير المقطعي (tomography)"، و"التصوير الشعاعي لمقطع في الجسم (body-section radiography)" و"التصوير الشعاعي المقطعي (laminography)"، و"التصوير المستوي (planegraphy)"). إن المبدأ الأساسي هو حجب الصور غير المرغوب فيها، مع المحافظة على تباين وكثافة الجسم المطلوب تصويره. إن الاستخدام الرئيسي لهذه التقنية هو إجراء فحوص للعمود الفقري. إن مبدأ العمل بسيط حيث يبقى المريض بلا حركة في حين يتحرك الأنبوب والفيلم في اتجاهين متعاكسين. إن المشاكل الميكانيكية هي الأكثر شيوعاً، ومن الصعب الحصول على قطع الغيار في أغلب الأحيان.

هناك نوع آخر يستخدم الكاسيتات والأفلام الطويلة التي يصل طولها إلى ٣٠ بوصة. يبقى الفيلم والمريض ثابتين في حين يتحرك الأنبوب. وباستثناء حركة الأنبوبة والفيلم، فإن كل شيء آخر في هذه الوحدة قياسي، بما في ذلك تحميض الفيلم.

كثافة العظام Bone Density

لقد كان من الصعب تشخيص خسارة المعادن في العظام لسنوات عديدة. وعلى الرغم من أنه تم استخدام فحوصات التصوير المقطعي للتأكد من تنكّس الفقرات، إلاّ أنها لم تكن عملية للفحص الجماعي mass screening. برزت في أواخر تسعينيات القرن العشرين أجهزة جديدة تم تصميمها خصيصاً لقياس كثافة العظام. وهذه الأنظمة بسيطة وموثوق بها عموماً.

يوجد تحت الطاولة أنبوب أشعة سينية مع مجال طاقة مزدوج (٧٠ و١٤٠ كيلو فولتاً هي قيم نموذجية). إن نوعية وكمية الأشعة السينية المتولدة ثابتة وذلك باستخدام التغذية عالية التردد. يتم وضع "حزمة مروحية" طويلة وضيقة بدلاً من محدد الساحة الذي يحدد الخرج على شكل مربع أو مستطيل. إن أنابيب هذه الأجهزة ذات مصاعد دوارة، وبعضها يحتاج إلى تبريد إضافي للمحافظة على درجات حرارة تشغيل مثالية للأنبوب. تمر الحزمة من خلال المريض ويتم الكشف عنها بواسطة سلسلة من الحساسات المُركّبة على المريض. يتم وصل هذه الحساسات بجهاز كمبيوتر يعيد تركيب البيانات في صورة. يتم في معظم الحالات طباعة الصورة على طابعة كمبيوتر قياسية (ليزرية أو نافثة للحبر)، مع الكثافات المحسوبة مطبوعة بجوار الصورة. إذا كان المُصوِّر الجاف متوفراً، فإنه يمكن طباعة الصور عليه كذلك.

يمكن أن تتراوح أزمنة المسح بين بضع ثوان، لتصوير منطقة صغيرة، لتصل إلى ٢٠ دقيقة بالنسبة لمسح كامل الجسم. إن مستويات الجرعة للمريض متساوية تقريباً مع جرعة تصوير الصدر بالأشعة السينية، وحتى مع طول زمن المسح. لا تحتاج الجدران إلى بطانة من الرصاص، ولا يحتاج المُشغِّل إلى تحجيب ضد الأشعة وذلك لأن الحزمة ضيقة جداً.

يوضع المريض في معظم الأنظمة على الطاولة ويتم تمركزه في النقطة التي ينبغي للفحص أن يبدأ منها. يحرك سطح الطاولة المريض ماراً بأنبوب الأشعة السينية والكواشف حتى اكتمال المسح. ينبغي أن تبقى المنطقة عند نهايات الطاولة خالية من الأجهزة الأخرى التي يمكن أن تعرقل حركة الطاولة، وذلك لأن الحركة الإجمالية للطاولة هي حوالي ٣٠ بوصة.

هناك نوع آخر من قياس كثافة العظام وهو وحدة الموجات فوق الصوتية للكعب. وهذه الوحدة صغيرة وجيدة للفحوصات الجماعية ولكن ليس من أجل التشخيص الدقيق للمرضى. يضع المريض قدمه على منصة تحديد الموقع للجهاز، ومن ثم يتم مسح عظم الكعب. إذا كانت الطاقة المُنعكسة أدنى من عدد معين، يُنصح المريض عندئذ بإجراء مسح باستخدام نظام الأشعة السينية.

الأشعة التداخلية أو غرف الإجراءات الخاصة Interventional Radiology or Special Procedures Rooms

تشمل غرف الأشعة التداخلية (أو الإجراءات الخاصة) مجالاً واسعاً من الغرف، بما في ذلك مختبرات القثطرة القلبية، وأجنحة تصوير الأوعية، وأجنحة الفيزيولوجيا الكهربائية، وأجنحة طب الأعصاب. إن جميع غرف

الإجراءات الخاصة مُجهَّزة بإمكانيات التنظير التألقي ولكن مع أجهزة فيديو ذات دقة تمييز أفضل، وبُقَع محرقية أصغر، وطاقة أعلى، وعدد كبير من تجهيزات الدعم. إن الكثير من هذه الوحدات أشبه بالممارسة المنفصلة داخل المستشفى. بما أنه يتم استخدام هذه التجهيزات لمدة اثني عشر ساعة أو أكثر كل يوم، فإنه من الصعب إدراجها في برنامج صيانة وقائية. يجب أن يكون المرء مرناً بتقديم الخدمة لهذه المناطق في الأوقات التي يكون فيها لدى الكادر مشاورات حول المريض على سبيل المثال أو أثناء فترات استراحة الكادر.

تتضمن تجهيزات الدعم في هذه المناطق أجهزة مثل أجهزة إزالة رجفان القلب، وأجهزة المراقبة متعددة القنوات، وأجهزة الليزر، وأجهزة برمجة نواظم الخطى، وأجهزة الجراحة الكهربائية، والمصادر المُشِعَّة المُستخدَمة في ترميم الأوعية. ربما يكون لدى المرء مشاكل في الحفاظ على مخزون كبير من هذه التجهيزات في هذه المنطقة لأن بعض الأجهزة قد تكون بقرض أو رسم الأمانة، أو ببساطة "استعارة" من أقسام أخرى من المستشفى. وينبغي الحرص على اتباع الاحتياطات العالمية عند العمل في هذه المناطق.

غرفة تنظير المثانة Cystoscopy Room

توجد غرفة تنظير المثانة (المثانة (cysto)) عادة في جناح غرف العمليات وهي مُصمَّمة خصيصاً لإجراء الدراسات أو العمليات المتصلة بالكلى والمجاري البولية والمثانة والبروستات. إنها غرفة تنظير تألقي مع طاولة خاصة. لا يتم تصوير أفلام في كثير من الأحيان، حيث يستخدم الجرَّاح التصوير بالتنظير التألقي لتوجيه الأدوات لإزالة أو تفتيت الحصيات. ويتم في إجراءات أخرى حقن صباغ إلى داخل الكلى، ومراقبة الحركة نزولاً في الجهاز البولي. وهناك إجراء آخر شائع في غرفة تنظير المثانة هو جراحة الاستئصال عبر الإحليل (TUR) للبروستات.

إن هذه الغرفة هي بيئة رطبة، ولذلك فإن فحصاً دقيقاً للتأريض وقياس تيارات التسريب الكهربائية هو أمر ضروري لحماية المرضى والكادر. بشكل عام تكون هذه الغرفة متاحة للفحص ولعمليات الصيانة الوقائية من منتصف اليوم إلى وقت متأخر من بعد الظهر في معظم أيام الأسبوع. ينبغي أن يتبع المرء الاحتياطات العالمية عند العمل في هذه المنطقة. ربما يجب القيام بتزييت الأنظمة الميكانيكية على أساس منتظم أكثر من أي تركيب آخر للأشعة السينية. بالإضافة إلى ذلك، ينبغي للمرء أن يتحقق من وجود الصدأ على الآلات.

جهاز الأشعة ذو الذراع القوسي المتنقل
Portable C-Arm

إن أجهزة الأشعة ذات الذراع القوسي المتنقلة مماثلة لوحدات الأشعة المتنقلة إلا أنها أنظمة تصوير بالتنظير التألقي. تستخدم هذه الأجهزة التغذية بالطاقة عالية التردد ولديها مكثف صورة، وسلسلة عرض لإظهار الصور. يضم معظمها مجال تخزين حيث يتم حفظ الصورة الأولى للمريض لتكون بمثابة مرجع ودليل للإجراءات وشبكة الحدوث. تأتي هذه الأنظمة في حجمين أساسيين. تُستخدم الوحدات ذات الحجم الكبير في غرف العمليات، وغالباً

في حالات الجراحة العظمية (مثل استبدال مفصل الورك)، حيث توفر للجراح إشارة دقيقة عن اتساق المفصل وارتكازه. وتُستخدَم أيضاً في حالات أخرى في غرفة العمليات لوضع المصارف، والقثاطر، وغيرها من الأجهزة في جسم المريض. تتألف بشكل عام من عنصرين هما: "القوس" الذي يحتوي على الأنبوب؛ ومكثف الصورة (I/I) المرتبط عن طريق كابلات إلى هيكل الجهاز، الذي يحتوي على المولِّد وإلكترونيات التخزين للفيديو.

تُستخدَم الوحدات الصغيرة التي غالباً ما تُسمّى " أجهزة الأشعة ذات الذراع القوسي الصغيرة (ميني)" عادة لمساعدة الأطباء في إعادة وضع العظام المكسورة في اليدين والرسغين والقدمين. وبما أن أجهزة الأشعة ذات الذراع القوسي الصغيرة موجودة في هيكل واحد، فمن السهل تحريكها وهي تأخذ حيزاً أقل من الحيز الذي تشغله الوحدات الكبيرة.

تتضمن المشاكل الشائعة المرتبطة بأجهزة الأشعة ذات الذراع القوسي ما يلي:

- تضرر كابلات الربط البيني بسهولة، وكذلك الروابط.
- عدم توقف أقفال الوضعية خلال الإجراءات مما يسمح للرأس بالحركة.
- العجلات الدوارة وأقفالها.
- الأضرار الميكانيكية من الاصطدام في الجدران وغيرها من الأشياء.

على الرغم من أن هذا الفصل لا يتضمن المناقشة الفنية للـ CT والـ MRI والتصوير في الطب النووي والـ PET والـSPET والموجات فوق الصوتية، إلاّ أن مشاكل الإدارة الفنية مشابهة لتلك المرتبطة بالأجهزة الموصوفة أعلاه. وتتم مناقشة إدارة التقنية في المقطع التالي.

إدارة أجهزة التصوير
Management of Imaging Devices

تُطبّق عدة قواعد قاسية وثابتة على إدارة أجهزة التصوير. لا تتغير هذه القواعد بين المستشفيات ولا يمكن اللجوء إليها في المحاكم (cannot be appealed to the courts).

إن مقدرة المرء ليست قضية، ولن يكون المرء قادراً على إصلاح كل مادة في المستشفى، كل مرة، في الوقت المناسب. يحتاج المرء إلى إمكانية الوصول إلى خبراء خارجيين، سواء كانوا آخرين في شركة خدمة المرء نفسه، أو منظمات خدمة مستقلة (ISO)، أو مُصَنِّع الجهاز. يجب حتى على منظمات الخدمة الميدانية لمورِّد ما في أغلب الأحيان الاتصال بالمصنع من أجل توجيهات بشأن المشاكل. فلا أحد يعرف كل شيء.

يُطلب من المرء ثمناً باهظاً على أساس منتظم من أجل قطع الغيار أو الوقت أو السفر. ومن ثم ينبغي للمرء مراجعة جميع تقارير الخدمة والفواتير.

لن يكون المرء قادراً على تحديد مصدر ثانٍ لجميع قطع الغيار، وخصوصاً أنابيب الوحدات الجديدة.

غالباً ما يكون هناك اختلاف بين المشكلة الحقيقية وبين ما يُبلَّغ عنه الفيزيائي. إن إجراء الصيانة الوقائية الجيدة لإيجاد وتصحيح المشاكل الطفيفة قبل أن تصبح مشاكل رئيسية يؤدي إلى أكبر وفورات مالية.

من المهم أن يبقى كبير التكنولوجيين على علم بجميع أعمال الإصلاح والصيانة الوقائية المُنجَزة في القسم. وفي حين لا يحتاج المرء لإعطاء تقارير مفصلة، إلاّ أن الاجتماعات على أساس منتظم هي فكرة جيدة لاستعراض المشاكل التي حدثت. يمكن أن يكون التكنولوجيين سبب بعض المشاكل من خلال استخدام تقنيات سيئة أو محاولة إجراء اختبارات باستخدام وحدة ليست ملائمة لتلك الاختبارات.

كما أنها فكرة جيدة أن يتم العمل مع القسم بشأن أية قضايا نوعية تؤثر على رعاية المرضى أو التكاليف، وخاصة إعادة التصوير. عندما يجب إعادة دراسة أو فحص، يتم تكبُّد تكاليف إضافية. والأهم من ذلك، تُعرِّض الفحوصات المتكررة المريض لمزيد من الإشعاع وإلى زيادة فرصة العدوى إذا كان الفحص جراحياً. يمكن أن تشير معدلات إعادة التصوير إلى مشاكل في التجهيزات والموظفين. وعلى الرغم أنه من الصعب فصل وتصحيح هذه المشاكل في بعض الأحيان، إلاّ أن حلها يجلب معه انخفاض التكاليف وزيادة سلامة المرضى.

يجب على المرء أن يكون على علم بأي تغييرات في الفيلم أو جهاز التحميض أو لوازم وسائط التباين لأنها قد تؤثر على نوعية الفحوص من خلال طلب تغييرات في إعدادات التجهيزات.

يجب على المرء الاحتفاظ بسجلات جيدة عما تم القيام به. ليس من السهل القيام بهذا، حيث إن بعض العمل يتم القيام به "خارج ساعات العمل الرسمية"، وقد لا يتم إرسال تقارير الخدمة إلى قسم الهندسة الإكلينيكية. ينبغي مراجعة جميع تقارير الخدمة للتأكد من إنهائها وينبغي أن تتضمن، كحد أدنى، وصفاً للعمل المُنجَز والوقت المبذول. يجب التحقق من التقارير أيضاً من أجل "التأثير الراجع (تأثير بومارانج)" "boomerang effect"، الذي يحدث في جميع منظمات الخدمة. ليس من غير المألوف أن يكون هناك طلب خدمة لجهاز بعد يوم واحد من إجراء الصيانة الوقائية، كما أنه ليس من غير المألوف أن يكون هناك نفس الفشل في غضون أيام للإصلاح المزعوم.

ينبغي للمرء العناية في حفظ السجلات، التي يمكن أن توفِّر نفقات كبيرة على المستشفى، وخصوصاً لعمليات الإصلاح أو الصيانة الوقائية التي لم يتم القيام بها أو تم إجراؤها على نحو غير صحيح، وتم من أجلها تزويد المستشفى بفاتورة.

أخيراً، ينبغي للمرء عند العمل على تجهيزات التصوير، أن "يفكر ببساطة" وينبغي أن يبحث عن الحالات المنسية. وكما هو الحال مع تكنولوجيات الأجهزة الطبية الأخرى، فإن الالتزام بهذه الفلسفة عادة ما يؤدي إلى حل المشكلة. ينبغي للمرء طرح الأسئلة، وينبغي أن يأخذ الوقت اللازم لفهم المشكلة بشكل كامل قبل البدء في أي إصلاح.

المراجع

References

Strzelczyk J. Radiation Safety. In Dyro JF (ed). The Clinical Engineering Handbook. Burlington, MA, Elsevier, 2004.