الفصل الخامس

السلامة في تخديم الأشعة السينية
SAFETY IN X-RAY SERVICING

هناك العديد من الأخطار الكامنة المترافقة مع تركيب وتخديم (صيانة) أجهزة التصوير الشعاعي. يجب على مهندس الخدمة أن يكون على دراية بهذه "الأخطار" لكي يعمل بأمان في هذا المجال.

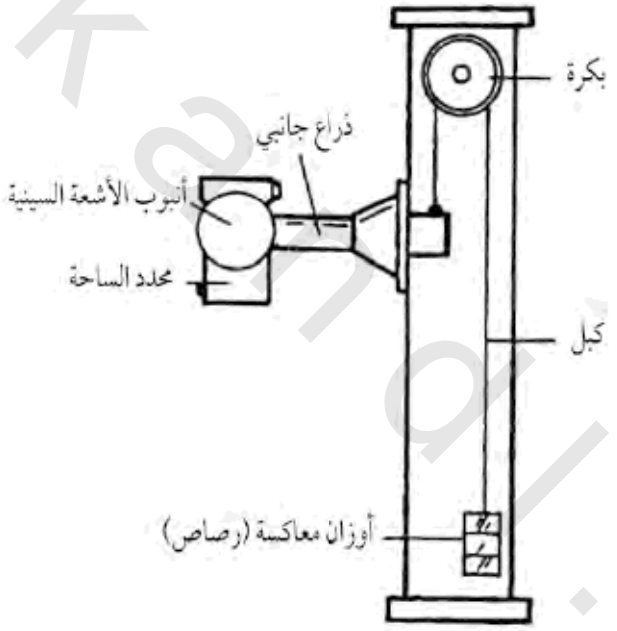
يواجه مهندس الخدمة أثناء عمله على أجهزة التصوير الشعاعي **أخطاراً ميكانيكية *(mechanical hazards)*** **وأخطاراً كهربائية *(electrical hazards)*** **وأخطار إشعاع الأشعة السينية *(x-ray radiation hazards)***. إضافة إلى ذلك، يتم تركيب معظم أجهزة التصوير الشعاعي في بيئة طبية حيث يتم إجراء فحص روتيني لمرضى سقيمين للغاية. وبالتالي فإن هناك أيضاً مخاطرة عدوى كامنة بسبب وجود **أخطار بيولوجية *(biohazards)***. يستطيع مهندس الخدمة مع إدراك شديد لهذه الأخطار الكامنة أن يتخذ خيارات ذكية من شأنها أن تقلل إلى حد كبير (أو تلغي تماماً) مخاطرها بينما هو يقوم بتخديم أجهزة التصوير الشعاعي.

يستعرض هذا الفصل الأخطار العامة التي تمس السلامة والتي تتم مواجهتها في مجال تخديم الأشعة السينية. إن كثيراً من المعلومات في هذا الفصل نابعة من خبرة المؤلف، وبالتالي فسوف يتم تقديمها بنهج "عملي".

الأخطار الميكانيكية
Mechanical Hazards

إن العديد من الأجهزة الميكانيكية في غرفة التصوير الشعاعي خطرة على الأرجح إذا لم يتم التعامل معها بشكل صحيح. وتتعلق المشكلة الأكثر وضوحا في التعامل مع الأجهزة بحجم ووزن أجهزة الأشعة السينية. وكما ذُكر في المقدمة، فإن معظم أجهزة الأشعة السينية كبيرة وأقرب إلى أن تكون غير مناسبة للتعامل معها. وبسبب الوزن الزائد للمكونات الفردية لنظام الأشعة السينية (يزن أنبوب الأشعة السينية في المتوسط حوالي ٤٠- ٥٠ ليبرة (٢٠- ٢٥ كيلوغرام تقريباً))، فإن من الواجب أخذ الحيطة المناسبة عند تحريك أو رفع الجهاز. وفي الواقع فإنه ينبغي أن يتم القيام بالعديد من الواجبات في تخديم الأشعة السينية فقط بمساعدة مهندس ثانٍ.

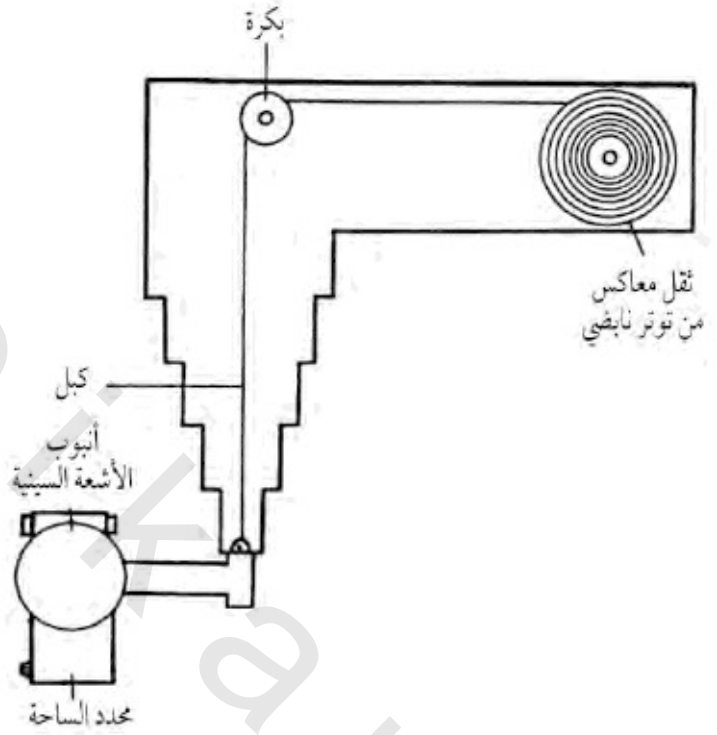
إن **حامل الأنبوب** مصمم ليحمل أنبوب الأشعة السينية في عدد من الأوضاع المختلفة. إن الاهتمام الرئيسي المتعلق بالسلامة بخصوص حامل الأنبوب له علاقة **بآلية الموازنة المعاكسة**. وكما ذكر أعلاه، فإن أنبوب الأشعة السينية وحده يمكن أن يزن ٥٠ ليبرة (٢٥ كيلوغرام) تقريباً. لا بد من أجل توفير انتقال سلس للأنبوب في الاتجاه الشاقولي أن يُوازَن الأنبوب موازنة معاكسة بنظام من الأوزان المعاكسة والبكرات والكابلات (الشكل رقم ٢٠). يجب فحص نظام الأوزان المعاكسة بشكل منتظم (انظر الفصل السادس) لضمان تشغيل آمن. يجب أيضاً تأمين مجموعة الأوزان المعاكسة (بكتل خشبية أو تقييدها بحبل سميك) قبل القيام بأي أعمال خدمة رئيسية على حامل الأنبوب.



الشكل رقم (٢٠). نظام الموازنة المعاكسة لحامل الأنبوب.

تقوم **رافعة الأنبوب** العلوية بنفس الوظائف التي يقوم بها حامل الأنبوب (أي موضعة الأنبوب) ولكنها تستخدم نظاماً مختلفا للموازنة المعاكسة، فبدلاً من استخدام الأوزان المعاكسة يكون لدى رافعات الأنابيب نظام ثقل معاكس (counterpoise) يستخدم **توتر نابض** للموازنة المعاكسة (الشكل رقم ٢١). يوفر الثقل المعاكس حركة رأسية سلسة ويمكن الاعتماد عليه للغاية (موثوق جدًّا).

obeikandl.com



الشكل رقم (٢١). الثقل المعاكس في رافعة الأنبوب.

توفر معظم الشركات المصنِّعة آلية إقفال للأمان يجب تفعيلها عند الحاجة للقيام بخدمة (صيانة) رئيسية. ومرة أخرى، ينبغي فحص الكابلات ونابض الشد بشكل منتظم وينبغي توخي الحذر عند العمل على هذا الجهاز.

تؤدي **طاولة الأشعة السينية** وظيفتين هامتين: فهي تمسك بمستقبل الصورة في مكانه، وتسهل موضعة المريض أثناء فحص بالأشعة السينية. ولما كان على معظم طاولات التصوير الشعاعي أن تحمل أوزان مرضى تصل إلى ٣٠٠ ليبرة (١٥٠ كيلو غرام تقريباً) فإنه لا بد من بنائها مع معادن ذات متانة كافية. ونتيجة لذلك فإن هذه الطاولات عادة ما تكون ثقيلة جداً وغالباً ما تتطلب "رافعات طاولات" خاصة لرفعها وتحريكها أثناء التركيب. على أنه، وبمجرد ما يتم تركيب الطاولة في مكانها، نادراً ما يتوجب على مهندس الخدمة تحريكها.

يتعلق خطر آخر على السلامة له صلة بطاولات الأشعة السينية **بنظام التحريك العمودي** (إن وجد). يتألف هذا النظام من محرك متصل ميكانيكيًّا بناقل حركة لولبي (مسنن دودي) أو نظام تحريك ذي سلسلة يقوم برفع وخفض الطاولة. يتم تفعيل المحرك بواسطة دعاسة قدمية (أو قبضة يدوية) ويتم تحريك الطاولة إلى أعلى أو إلى أسفل حتى تصل إلى مفتاح تحديد مستوى. يفصل مفتاح التحديد الطاقة عن المحرك. وكقاعدة عامة، ينبغي أن تكون الطاقة مفصولة عند تخديم هذا النوع من طاولات الأشعة السينية، خصوصاً عندما يكون مهندس الخدمة يعمل تحت الطاولة.

إذا كان يجب على المهندس أن يبقي على الطاولة "موصولة" بالطاقة عند تخديمها، فإنه يجب الإبقاء على الدعاسة القدمية (أو القبضة اليدوية) للتحريك العمودي مفصولة. قد يستلزم ذلك نزع الأسلاك من المفتاح أو من كتلة الأطراف (النهايات) في قاعدة الطاولة. إن معظم الطاولات مع ذلك توفر توصيلات قوابس لهذه المفاتيح يمكن فصلها بسهولة. بالرغم من أن القيام بإلغاء مفتاح التحريك يأخذ قليلاً من الوقت الإضافي، إلا أنه يتم القيام به بسهولة ويستحق الجهد المبذول. إنه من الشائع أن نسمع عن حالات كان فيها الشخص الذي يقوم بالخدمة يعمل داخل طاولة ومن ثم اتكأ بطريق الخطأ على مفتاح التحريك العمودي وبدأت الطاولة بالتحرك إلى أسفل على المهندس[٨]. يمكن تجنب مثل هذه الحوادث بسهولة بفصل مفاتيح التحريك.

إن **المستقبل الجداري** ***(wall receptor)*** أو **البوكي الواقف** ***(erect bucky)*** جهاز في غرفة الأشعة السينية يسمح للفني بأخذ تعريضات (صور) للمرضى وهم منتصبو القامة. يدعم الحامل الجداري بوكي (أو كبينة شبكة) يمسك بالفيلم في مكانه ويتيح الاستخدام لشبكة و/أو كاشف التحكم الآلي بالتعريض. يتم تثبيت العمود الشاقولي على الأرض ويتحرك البوكي شاقولياً على طول العمود ليتناسب مع أطوال جميع المرضى. يتم مع الحاملات الجدارية التي تعمل يدوياً استخدام مجموعة أوزان معاكسة مماثلة لتلك المستخدمة في حامل الأنبوب. إن بعض الحاملات الجدارية مدمجة ميكانيكياً بحامل الأنبوب ويتم تحريكها عمودياً بنظام تحريك ذي محرك.

يجب اتخاذ نفس الاحتياطات عند تخديم الوحدة الجدارية وذلك بسبب الوزن المعاكس أو نظام التحريك ذي المحرك. وكقاعدة عامة، إذا ما كان يتوجب فك كامل الوحدة عن الأرض لكي يتم تخديمها، فالمطلوب أن يكون هناك اثنان من مهندسي الخدمة.

الأخطار الكهربائية
Electrical Hazards

هناك العديد من الأخطار الكهربائية الكامنة في مجال تخديم الأشعة السينية. يجب أن يكون المهندس على دراية بتوزيع الطاقة في غرفة الأشعة السينية المعنية وأن يعرف أي الدارات "حية" ("live") (تحمل جهداً كهربائياً) قبل البدء في خدمة الجهاز. كما يجب أيضاً أخذ حيطة خاصة عند العمل مع دارات الجهد العالي بسبب الكمونات (الجهود) العائمة (floating potentials) والسعات المتبقية (residual capacitances) الموجودة في الدارات. هناك حكايات رعب لا تُحصى عن رجال خدمة تم "صعقهم" ("zapped") بالجهد العالي بسبب ممارسات مهملة. يمكن لخطأ الإهمال في هذا المجال أن يكون قاتلاً.

---

(٨) لقد حدث هذا للمؤلف مرة أثناء استدعائه لخدمة مسائية حيث لم يكن هناك أحد موجوداً للمساعدة.

openkandil.com

إن الأخطار الكهربائية في تخديم الأشعة السينية موجودة في كلا الدارتين الأولية والثانوية لمولد الأشعة السينية وكذلك في الأجهزة المساعدة في الغرفة. تبدأ **الدارة الأولية *(primary circuit)*** بالجهد الوارد المقدم من شركة الكهرباء وتتضمن جميع المكوّنات المتصلة بالملف الأولي لمحول الجهد العالي. يجب مراعاة احتياطات السلامة عند العمل في هذه المنطقة بسبب الجهود المميتة بشكل كامن والتي يمكن أن تصل إلى ٤٨٠ فولت (VAC) بالنسبة للأنظمة ثلاثية الطور.

يتم تغذية جهد الدخل المطلوب كما هو محدد في مراجع خدمة وحدة الأشعة السينية المعنية إلى لوحة القاطع الرئيسي في غرفة الأشعة السينية ويُسمى "التغذية الأولية". يجب أن تكون لوحة القاطع موضوعة بالقرب من التحكم بالأشعة السينية ويجب تحديدها وتوسيمها (تعليمها). أحياناً يكون هناك عدة لوحات قاطع في الغرفة: لوحة لتوفير الطاقة مخصصة لطاقة مولد الأشعة السينية ولوحات قاطع أخرى للأجهزة المساعدة مثل طاقة محدد الساحة أو طاقة الطاولة.

ينبغي قبل إزالة أغطية أية أجهزة أن تكون القواطع دائماً مفتوحة (في حالة فصل (off)). وهذا يضمن أن تكون جميع الدارات داخل كبينة الجهاز "ميتة" ("dead") (أي لا تحمل جهداً كهربائياً). إن فصل الطاقة عن التحكم بالمولد لن يزيل بالكامل الطاقة داخل كبينة المولد. إن السبب في فصل القاطع الرئيسي هو القضاء على فرصة دارة قصر عرضية عندما يقوم المهندس بإزالة أو استبدال الأغطية المعدنية. ينشأ أحياناً عن التصاميم المضغوطة للأجهزة في هذه الأيام مسافة صغيرة جداً بين الأغطية المعدنية والتوصيلات الحية (أي الحاملة للجهد). إن فحصاً سريعاً لتوصيلات التغذية بالطاقة في المولد بواسطة مقياس جهد (فولتميتر) بمجرد إزالة أغطية الجهاز سيؤكد عدم وجود طاقة. ينبغي دائماً القيام باختبار الجهد هذا كممارسة أمان روتينية عند تخديم الأجهزة.

يمكن القيام بأمان بتفتيش مادي وتحليل للمكونات في الدارة الأولية مع كون الأغطية مفتوحة والقاطع الرئيسي مفتوحاً (في حالة فصل). بمجرد تفتيش المولد وكون مهندس الخدمة على دراية بتوزع مكونات الدارة الأولية فإنه يمكن إغلاق القاطع الرئيسي (أي جعله في حالة وصل) من أجل مزيد من تحديد وإزالة الأعطال.

ومع كون المولد مغذى بالطاقة فإنه يمكن القيام بأمان بتحديد وإزالة الأعطال باتباع هذه التوجيهات الهامة:

١- تحقق من الدارات الحية دائماً بيد واحدة فقط وأبق اليد الأخرى بعيداً عن المولد.

٢- لا توصل جهاز اختبار أبداً إلى دارة حية. قم دائماً بفصل الطاقة أولاً، ومن ثم صل أسلاك مقياس الاختبار بالدارة. غالباً ما تكون نقاط الاختبار "الساخنة" (أي التي تحمل جهداً) مجاورة مباشرة لنقاط صفر مرجعية أو نقاط أرضي.

٣- تأكد من أن أسلاك الاختبار مثبتة بإحكام إلى المكوّن قيد الاختبار.

openkandil.com

٤- استخدم أدوات معزولة عند التحقق من وجود دارات حية.

تبدأ الدارة الثانوية بالملف الثانوي لمحول الجهد العالي وتتضمن كابلات الجهد العالي وأنبوب الأشعة السينية. يمكن **للجهد العالي** أن يكون موجوداً عند أي نقطة في هذه الدارة، ولذلك ينبغي توخي الحذر الشديد عند العمل في هذه المناطق. هناك أيضاً، بالإضافة إلى الجهد العالي، **تغذية بجهد منخفض (تيار عالٍ)** من أجل دارة الفتيل موجودة على مهبط الدارة الثانوية.

ينبغي عند العمل في الدارة الثانوية إيلاء الاهتمام لعدة مناطق. يتعلق أحد الأخطار **بالسعة المتبقية** المترافقة مع كابلات الجهد العالي. تحتوي هذه الكابلات أساساً على نواقل سلكية سميكة مفصولة عن بعضها بمادة عازلة (أو عازل كهربائي). وهذا في الواقع هو تعريف السعة (المكثف). ولذلك فعندما ينتقل التيار عبر كابلات الجهد العالي فإنها تصبح مشحونة[٩].

وتحديداً تصبح الكابلات مشحونة إلى كمون (جهد) عالٍ نسبياً أثناء التعريض (التصوير) وفي العادة لا يتم تفريغها تماماً (حسب تقنية التعريض) عندما يتم إنهاء التعريض. ***هذا يعني أنه لا يمكن التعامل مع كابلات الجهد العالي بأمان ما لم يتم تفريغ شحنتها بالكامل أولاً!*** يستطيع مهندس الخدمة تفريغ شحنة الكابلات بمسك الجزء المعزول من الكبل ومن ثم ملامسة دبابيس الموصل الاتحادي بنقطة أرضي على بيت أنبوب الأشعة السينية أو محول الجهد العالي. وبمجرد تفريغ شحنة الكابلات فإنه يمكن فحصها بأمان أو توصيلها إلى جهاز الاختبار.

إذا ما تم استخدام أجهزة اختبار اجتياحية (باضعة) (invasive) مثل مقسم جهد عالٍ فينبغي لمهندس الخدمة عمل توصيلات على النحو المحدد في كتيب التعليمات لجهاز الاختبار الذي يتم استخدامه. ينبغي للمهندس أيضاً التحقق لرؤية أن الآبار غير المستخدمة مملوءة بالزيت عند عمل توصيلات متوازية. أيضاً، **لا تحاول أبداً القيام بتعريض ما لم تكن كابلات الجهد العالي موصلة إلى أنبوب الأشعة السينية أو مقسم الجهد العالي!** وبالرغم من أن ذلك ممارسة شائعة منذ سنوات إلا أنها لم تعد ضرورية اليوم بسبب أجهزة الاختبار المتاحة. وفي الواقع فإن المولدات الجديدة لا تسمح للتعريض أن يحدث أيضاً إذا كانت الدارة الثانوية مفتوحة ما لم يقم المهندس بتعطيل دارات سلامة الفتيل.

ينبغي أن لا يكون هناك طاقة مطبقة على وحدة محول الجهد العالي عندما يتم تخديمها. ينبغي أن يتم تفريغ جميع المكونات الداخلية قبل أن يحاول مهندس الخدمة العمل داخل وحدة المحول. يتم التزويد بقضيب تأريض مع بعض المحولات لإنجاز تفريغ الشحنة.

---

(٩) إن لهذه السعة تأثيرات على شكل موجة الجهد العالي وسيتم مناقشتها في الفصل الخامس

يتم تغذية جميع الأجهزة الأخرى في غرفة التصوير الشعاعي مثل الطاولة أو محدد الساحة أو حامل الأنبوب في العادة بـ ١١٠ فولت متناوب (VAC) وحيد الطور. ينبغي لمهندس الخدمة أيضاً توخي الحذر عند العمل على هذه الأجهزة. إضافة إلى ذلك، فإن هناك العديد من دارات الجهد المنخفض (أي الدارات المنطقية)، وبالرغم من ضرورة توخي الحذر عند تحديد وإزالة أعطال هذه الدارات فإنه غالباً ما ينشأ عن الأخطاء أضرار بالمكوّنات أكثر منها بمهندس الخدمة.

أخطار الإشعاع
Radiation Hazards

إن معرفة دقيقة لطبيعة إشعاع الأشعة السينية قبل تخديم أجهزة منتجة للإشعاع أمر أساسي. يعرف معظم الناس أن التعرض للإشعاع خطر ويجب تجنبه، إلا أن فهم خصائص الإشعاع وكيفية تفاعل الأشعة السينية مع المادة سوف يسمح لمهندس الخدمة بالقيام بخيارات ذكية من شأنها أن تقلل من التعرض إلى الحد الأدنى.

يصبح العمل مع الإشعاع روتينياً بعد بضع سنوات، وغالباً ما يصبح كثير من العاملين في الصيانة متراخين في ممارساتهم المتعلقة بالسلامة. يجب أن يكون مهندس الخدمة مدركاً باستمرار لبيئته المحيطة ولكمية الإشعاع الجاري انبعاثه. هذه نقطة لا يمكن التأكيد عليها بما فيه الكفاية، ويجب أن تكون دائماً حاضرة في المقام الأول في تفكير مهندس الخدمة.

لا بد من إجراء تعريضات من أجل التشخيص والإصلاح الصحيحين لأجهزة الأشعة السينية. وفي الواقع فإنه من المألوف بالنسبة لمهندس الخدمة أن يجري ما يصل إلى مئة تعريض أثناء فترة معايرة للأشعة السينية. وإذا لم يتم اتخاذ احتياطات السلامة المناسبة فقد يتعرض مهندس الخدمة لكميات كبيرة من الإشعاع.

وبما أن الأشعة السينية غير مرئية للعين البشرية ويمكن الكشف عنها فقط بأجهزة اختبار خاصة، فإن على مهندس الخدمة أن يفهم بدقة طبيعة إشعاع الأشعة السينية وكيف تتفاعل الأشعة السينية مع المادة. يمكن للمهندس بهذا الفهم أن يكون على بينة من كمية الإشعاع الذي يتلقاه إن وجد.

طبيعة الحزمة الأولية The Nature of the Primary Beam

ناقشنا في الفصل السابق مبادئ إنتاج الأشعة السينية. يتم هنا تقديم وصفٍ أكثر تفصيلاً. عندما تصطدم الإلكترونات التي تم تسريعها بالهدف في أنبوب للأشعة السينية فإنه يتم انبعاث نوعين من الإشعاع: **إشعاع الفرملة أو الكبح** ***(brems or braking radiation)*** **والإشعاع المميز** ***(characteristic radiation)***. يتم إنتاج إشعاع الفرملة نتيجة التباطؤ المفاجئ للإلكترونات عند اصطدامها بالهدف، ويحتوي على أشعة سينية بمستويات طاقة عديدة مختلفة . وفي

الواقع فإن إشعاع الفرملة يشكل معظم الحزمة الأولية عند الكيلو فولتات (kVp's) المستخدمة في الأشعة السينية التشخيصية.

يحدث النوع الثاني من إشعاع الأشعة السينية (أي الأشعة المميزة) عندما يضرب الإلكترون المتسارع ذرة هدف ويتسبب في طرد إلكترون مداري داخلي من هذه الذرة. وهذا يخلق فجوة في الهيكل الإلكتروني الداخلي يجب من ثم ملؤها لجعل الذرة مستقرة مرة أخرى. وعندما يتم ملء هذه الفجوة فإنه يتم إطلاق إشعاع ذي تردد خاص (مميز) لهذه الذرة المعينة. إلا أن الإشعاع المميز لا يشكل سوى نسبة ضئيلة (١٠ ٪) من الحزمة الأولية للإشعاع التشخيصي، وهو موجود فقط عند مستويات للجهد العالي فوق ٧٠ كيلو فولت (kVp). ونتيجة لهذين الأسلوبين في إنتاج الأشعة السينية فإن الحزمة الأولية تتألف من أشعة سينية بمجال واسع من الترددات (أي أنها **متعددة الطاقات**).

كيف تتفاعل الأشعة السينية مع المادة How X-rays Interact with Matter

بما أن إشعاع الأشعة السينية شكل من أشكال الإشعاع الكهرومغناطيسي فإنه يتشارك في العديد من الخصائص ذاتها لأنواع الإشعاع الكهرومغناطيسي الأخرى، فعلى سبيل المثال، تنتقل الأشعة السينية بسرعة الضوء وفي خطوط مستقيمة. إلا أن الأشعة السينية، وبسبب مستوى طاقتها المرتفع، تختلف عن جميع الأشكال الأخرى للإشعاع الكهرومغناطيسي في أنها تتفاعل مع المادة التي تلامسها.

يمكن أن يحدث أمران عندما تتفاعل الأشعة السينية مع المادة. قد تمر الأشعة السينية ببساطة مباشرة عبر المادة دون أن تتأثر، أو قد يتم امتصاصها في هذه المادة وتتفاعل مع الذرات في النسيج. يُشار إلى قدرة الأشعة السينية على المرور مباشرة عبر مادة على أنها **قدرة الاختراق**. تتبع قدرة الاختراق مستوى طاقة الأشعة السينية وترتبط ارتباطاً مباشراً بمقدار الجهد العالي (الـ kVp) المطبق على أنبوب الأشعة السينية (انظر الفصل الثامن). تتفاعل الأشعة السينية التي يتم امتصاصها في النسيج مع هذه المادة مما ينتج عنه إشعاع ذو طاقة منخفضة تخرج من النسيج. إن حزمة الخروج **المضعَّفة** هذه هي في الواقع ما يشكل صورة الأشعة السينية الكامنة (الفصل الثامن).

عندما يتم تضعيف (توهين) الأشعة السينية فإن تفاعلات عدة تحدث داخل النسيج تخلق خطراً على المريض وعلى مهندس الخدمة أيضاً. ينطوي أحد أنواع التفاعلات على **تأيين المادة**. إن التأيين عبارة عن عملية إزالة إلكترون مداري من الذرة أو إضافته إليها منشئاً بذلك أيوناً غير مستقر. ومن المعروف أن تأيين مادة حية يتسبب في ضرر كيميائي وبيولوجي (أي أنه يدمر النسيج). تكمن إحدى النتائج الأخرى لتفاعل الأشعة السينية مع المادة في أن الأشعة السينية ذات الطاقة العالية تطلق حرارة عند مرورها عبر المادة وهذه الحرارة يمكن أيضاً أن تلحق ضرراً بالنسيج الحي.

هناك ظاهرة ثالثة لتفاعل الأشعة السينية يجب أن تناقش عندما يتم أخذ السلامة الإشعاعية بالاعتبار. وعلى وجه التحديد، فعندما تتفاعل الأشعة السينية مع المادة يتم إنتاج شكلين إضافيين من الإشعاع: **الإشعاع التبعثري** ***(scatter radiation)*** **والإشعاع الثانوي** ***(secondary radiation)***. إن لهذين الإشعاعين أثراً ضاراً على المريض ويشكلان مصدراً رئيسياً للتعرض للإشعاع لكل من طبيب الأشعة وفني الأشعة السينية ومهندس الخدمة. وبالإضافة إلى ذلك فإن هذين الشكلين من أشكال الإشعاع يؤثران بشكل كبير على جودة الصورة.

يتم إنتاج الإشعاع التبعثري والإشعاع الثانوي عن طريق تفاعلات مختلفة (متمايزة) مع المادة. إن التفاعلات ذات الأهمية القصوى في الأشعة التشخيصية هي: **التفاعلات الكهروضوئية** ***(photoelectric interactions)*** **وتفاعلات كومبتون** ***(compton interactions)***. يتم في التفاعلات الكهروضوئية امتصاص فوتون أشعة سينية في ذرة ومن ثم تطلق هذه الذرة إلكتروناً مدارياً مما ينشأ عنه أيون (شاردة) على النحو المبين أعلاه. يصبح الإلكترون المداري الذي تم إطلاقه **إلكتروناً ضوئياً** عالي الطاقة. إضافة إلى ذلك، فعندما يتم ملء الفجوة في الذرة يتم انبعاث **إشعاع مميز**.

إن الإلكترون الضوئي والأشعة المميزة كليهما من أشكال **الإشعاع الثانوي**. ولأن كل مادة (أي عظم، أنسجة طرية، الخ) تطلق إشعاعها الخاص بها فإن الأثر الكهروضوئي يساهم في تباين الصورة، وبالتالي يلعب دوراً هاماً في تشكيل الصورة النهائية.

أما في **تفاعلات كومبتون** فإن فوتون الأشعة السينية يصطدم مع إلكترون غلاف خارجي ويتم حرفه وإطلاقه في اتجاه آخر و بمستوى طاقة أقل. ويشار إلى الإلكترونات الضوئية المنحرفة ذات الطاقة الأقل على أنها **إشعاع تبعثري**. ولأن الإشعاع يتبعثر في اتجاهات لا يمكن التنبؤ بها فإن جودة الصورة تنخفض إلى حد كبير. إن النقطة التي يجب التأكيد عليها فيما يتعلق بالإشعاع التبعثري هي أن الأشعة السينية لم تعد تنتقل في اتجاه واحد فقط (أي نحو الفيلم) وإنما تنتقل الآن في اتجاهات عديدة بما في ذلك باتجاه مهندس الخدمة! ولأن الإشعاع التبعثري يعرض المريض لإشعاع أكثر من اللازم وهو خطر على مُشغِّل الجهاز ويخفض من جودة الصورة، فإن هدفاً مهمًّا في التصوير الشعاعي يكمن في الحد من كمية الاشعاع التبعثري إلى أقصى درجة ممكنة (انظر الفصل الثامن).

قياسات الإشعاع Radiation Measurements

لما كانت الحواس البشرية لا تستطيع الكشف عن الأشعة السينية فإنه يجب استخدام أساليب كشف وقياس غير مباشر. تستفيد معظم تجهيزات الاختبار المستخدمة لقياسات الإشعاع من الآثار المؤيِّنة للإشعاع. فيما يلي بعض من آثار التأيين:

١- يسبب تغيرات كيميائية كما هو الحال مع فيلم التصوير.

٢- يسبب توهجاً في بعض المواد كالفوسفور.

٣- يؤين الغازات.

إن استخدام **لوحة شرائحية (شارة فيلمية)** ***(film badge)*** هو أحد الطرق المستخدمة بشكل شائع لمراقبة كمية الإشعاع الذي يتلقاه أشخاص يعملون حول الإشعاع. يتم لبس اللوحة الشرائحية من قبل مهندس الخدمة وطبيب الأشعة وفني الأشعة السينية في منطقة محددة من الجسم لفترة معينة من الزمن (شهر واحد عادة). يتم من ثم إرسال الشارة إلى مختبر فحص حيث يتم تحليلها بخصوص التعرض للإشعاع. يتم توثيق النتائج في تقرير شهري وإعادتها إلى الشخص.

إن استخدام **حجرة التأيين** ***(ionization chamber)*** طريقة أخرى للكشف. يصبح الهواء داخل حجرة التأيين، أو **المسبار** ***(probe)***، متأيناً بشكل متناسب طرداً مع كمية الإشعاع التي يتلقاها ومن ثم يمكن قياسه كهربائياً. يستخدم معظم فيزيائيي الإشعاع هذا النوع من الأجهزة لقياس خرج مولدات الأشعة السينية ولحساب جرعات الدخول (entrance doses) التي يتلقاها المرضى. يستخدم مهندسو خدمة الأشعة السينية أيضاً كاشف حجرة الأيون لإجراءات معايرة معينة.

وحدات قياس الإشعاع Radiation Measurement Units

إن الوحدة المعيارية لقياس الخرج الإشعاعي لأجهزة الأشعة السينية هو **الرونتجن (Roentgen)** أو **R** اختصاراً. يتم تعريف الرونتجن بأنه "كمية الاشعاع اللازمة لتأيين سنتيمتر مكعب واحد من الهواء إلى وحدة كهربائية ساكنة (إلكتروستاتيكية) واحدة". وكقاعدة، يقيس مهندسو خدمة الأشعة السينية الخرج الإشعاعي باستخدام وحدات "R" عند القيام باختبار المطابقة، وبالتالي ينبغي أن يكونوا على دراية بوحدة القياس هذه.

يجب استخدام وحدات قياس أخرى عند قياس الإشعاع الذي يتم امتصاصه داخل الأنسجة الحية (أي **جرعة الدخول**). وعلى الرغم من أنه يمكن قياس جرعات الدخول بوحدات "R" إلا أنه لا بد من التأكيد على أن وحدة الرونتجن تستند إلى التأين **حراً في الهواء** ولا تأخذ في الاعتبار آثار **الإشعاع التبعثري الارتدادي** ***(backscatter radiation)***. هناك من أجل القياسات التي تتضمن إشعاعاً تبعثرياً ارتدادياً وحدتان أُخْرَيَانْ شائعتا الاستخدام هما: **الراد (RAD)**، **والغراي (Gray)** أو **Gy** اختصاراً.

إن **الراد (RAD)** هو قياس **جرعة الإشعاع الممتصَّة** ***(radiation absorbed dose)*** (التي يتم امتصاصها في الأنسجة). يساوي الراد الواحد امتصاص مئة إرغ (100 ergs) من الطاقة لكل غرام من المادة المشعَّعة. أما **الغراي (Gray)** فهو الوحدة الدولية للجرعة الممتصة ويساوي جولاً واحداً من الطاقة الإشعاعية الممتصة لكل كيلوغرام من النسيج. إن العلاقة بين الراد والغراي هي أن **الراد الواحد يساوي واحد بالمئة من الغراي** ***(1 RAD = .01 Gy)***.

يأخذ الراد والغراي في الاعتبار عامل التبعثر الارتدادي للنسيج. وبما أن التبعثر الارتدادي يضيف إلى الكمية الإجمالية للإشعاع الممتص في النسيج فإن من المهم معرفة وحدة القياس التي يتم استخدامها عند التعامل مع جرعات الدخول، فمثلاً عندما يتم إعطاء قياس جرعة الدخول بوحدة الرونتجن "R" فإنه يجب ضرب ذلك العدد بعامل تحويل قدره (١,٢١) للحصول على المكافئ بالراد.

لا تنتج جميع أنواع الإشعاع مع ذلك نفس التأثير في النسيج، فجسيمات ألفا مثلاً تنتج أذى للأنسجة أكثر بكثير من نفس الكمية من إشعاع الأشعة السينية. ولأخذ هذا الاختلاف في الحسبان فقد تم تطوير وحدتي قياس أخريين تأخذان في الاعتبار **الفعالية البيولوجية النسبية *((Relative Biological Effectiveness (RBE))*** في النسيج والعائدة لأنواع مختلفة من الإشعاع.

فيما يخص إشعاع الأشعة السينية فإن وحدتي قياس الجرعة الممتصة هما: **الرِم *(REM)***، **والسيفَرت *((Sievert (Sv))*** وهي الوحدة الدولية. يساوي الرم الواحد راداً واحداً مضروباً **في عامل جودة**. ومن أجل إشعاع الأشعة السينية التشخيصية فإن عامل الجودة يساوي الواحد ببساطة، وبالتالي فإن: **١ راد = ١ رِم *(1 RAD = 1 REM)*** (أو **١ سيفرت = ١ غراي *(1 Sv = 1 Gy)***).

من المعروف أن بعض الأنسجة أكثر قابلية للتضرر بالإشعاع من غيرها، فمثلاً يمكن للأيدي أن تتلقى إشعاعاً أكثر بكثير من العيون أو الغدد التناسلية دون زيادة عامل المخاطرة للإصابة بالسرطان، إلا أن غالبية التوجيهات المتعلقة بالتعريض للإشعاع تذكر الجرعة التراكمية **لكامل الجسم**. الحد القانوني للعاملين في مجال الإشعاع هو ٥ رِم (5 REMS) سنوياً (لكامل الجسم). إذا كانت الجرعة التراكمية سنوياً لمهندس خدمة أشعة سينية أقل من هذه القيمة فإنه يستطيع العمل بأمان في هذا المجال دون زيادة في عامل المخاطرة الخاص به للإصابة بالسرطان.

السلامة الإشعاعية Radiation Safety

يستطيع المهندس، مع فهم شامل لطبيعة إشعاع الأشعة السينية ولكيفية تفاعله مع المادة، اتخاذ احتياطات السلامة المناسبة للحد من تعرضه. هناك ثلاثة أمور يستطيع المهندس القيام بها للحد من (أو القضاء تماماً على) كمية التعريض للإشعاع التي يتلقاها:

١- استخدام **التحجيب المناسب**
٢- الحفاظ على أقصى **مسافة** ممكنة من أنبوب الأشعة السينية
٣- الحد من مقدار **الزمن** الذي يجري فيه انبعاث الأشعة السينية

ينبغي لمهندس الخدمة دائماً بدء التعريضات من وراء الحاجز الرصاصي لغرفة التحكم أثناء المعايرات والاختبارات. وإذا ما توجب على المهندس أن يكون في غرفة الأشعة السينية أثناء أخذ التعريضات (الصور) فيجب

عليه أن يرتدي التحجيب الرصاصي المناسب. وهذا يتضمن: مريول (معطف) رصاصي، وواقيات حماية الغدة الدرقية، والقفازات الرصاصية عند وضع أشياء في مسار الحزمة الأولية.

ينبغي أن تكون شفرات محدد الساحة مغلقة أثناء إجراء معايرات واختبارات الأشعة السينية وذلك للقضاء على أي فرصة لتعريض مهندس الخدمة. لاينبغي لمهندس الخدمة أبداً إجراء تعريضات عندما يكون محدد الساحة مُزالاً بالكامل من أنبوب الأشعة السينية. يوفر محدد الساحة قدراً كبيراً من التحجيب، وإذا لم يكن محدد الساحة في مكانه فستتواجد كميات خطيرة من الإشعاع. وإذا ما توجب إجراء تعرضات من دون أن يكون محدد الساحة في مكانه **فيجب وضع سدادة رصاصية على منفذ الأنبوب.**

إن العامل الثاني الذي يمكن أن يؤثر بشكل كبير على كمية التعريض للإشعاع التي يتلقاها المهندس أثناء تخديم أجهزة التصوير الشعاعي هو **المسافة**. ينبغي لمهندس الخدمة أن يضع نصب عينيه دائماً **قانون التربيع العكسي *(inverse square law)*** الذي ينص على أن "شدة الإشعاع عند مسافة معينة من مصدر نقطي تتناسب عكساً مع مربع المسافة"، هذا يعني أنه عندما يقف المهندس على مسافة معينة من أنبوب الأشعة السينية ويتلقى جرعة معروفة، فإن زيادة المسافة من الأنبوب إلى الضعف سوف تخفض جرعة الإشعاع المتلقاة فعليًّا إلى الربع!

إن هذا هو أحد العوامل الأكثر أهمية التي يمكن أن تقلل إلى حد كبير من تعرض المهندس. يستطيع مهندس الخدمة العمل بأمان في هذا المجال إذا كان واعياً لمحيطه، وعلى وجه الخصوص للقرب من مصدر أشعة سينية.

إن العامل الثالث الذي يقلل من تعرض مهندس الخدمة للإشعاع هو **الزمن**. وببساطة، إذا ما قلل المهندس مقدار الوقت الذي يتعرض فيه للإشعاع فإن التعريض الشخصي سينخفض في المقابل. ينبغي على المهندس أن يتجنب التعرض غير الضروري عند تحديد وإزالة أعطال الأشعة السينية. كثيراً ما يغفل مهندس الخدمة الذي "ينهمك" في مشكلة معقدة للأشعة السينية عن هذه النقطة الواضحة ولا يكون واعياً لكمية التعريض التي يتلقاها.

ينبغي علاوة على ذلك أن يتم القيام بتحديد وإزالة الأعطال باستخدام أقصر أزمنة تعريض ممكنة تسمح للمهندس بالتشخيص (من شأن هذه الممارسة أن تمد في عمر الأنبوب أيضاً). وبما أن للتعرض للإشعاع **أثراً تراكمياً** على الأنسجة فإن كل تعرض شخصي يتلقاه المهندس يجب أن يضاف إلى الكمية الإجمالية المتلقاة على مدى حياته. إن الشخص الذي يتلقى تعرضاً وحيداً قدره (٥) راد على سبيل المثال يعاني من نفس المخاطر التي يعاني منها شخص يتلقى (٥) تعرضات كل منها (١) راد.

ينبغي لمهندس الخدمة أن يرتدي دائماً شارة إشعاع عندما يقوم بتخديم الأجهزة وينبغي أن يراقب عن كثب تقارير التعريض الشهرية. أخيراً، ينبغي للمهندس أن لا يضع أبداً أي جزء من الجسم في مسار الحزمة الرئيسية. يجب على المهندس أن يستخدم **الفانتومات *(Phantoms)*** المناسبة للتحقق من جودة الصورة. لقد كانت ممارسة شائعة

لسنوات عديدة خلت في خدمة الأشعة السينية أن يضع المرء يده (أو جسمه!) في مجال الإشعاع ليتحقق من جودة الصورة، إلا أن هذه الممارسة خطيرة جداً وغير مقبولة على الإطلاق.

الأخطار البيولوجية
Biohazards

هناك أيضاً مخاطر على مهندس الخدمة الذي يعمل في مجال الأشعة السينية الطبية. وكما هو الحال مع جميع أصحاب مهن الرعاية الصحية، فإنه يجب على مهندس خدمة الأشعة السينية أن يكون على دراية بالمخاطر المحتملة للعدوى من أخطار بيولوجية عند تخديم أجهزة الأشعة السينية. لقد أصبحت مكافحة العدوى تحت الأضواء بشكل خاص نظراً لارتفاع عدد **مسببات الأمراض المنقولة بالدم** مثل **فيروس نقص المناعة البشرية** ***(HIV)*** **والتهاب الكبد الوبائي** ***(HBV)***.

قد يُطلب من مهندس الخدمة في بعض الأحيان أن يقوم بتخديم أجهزة ملوثة بسوائل الجسم مثل القيء أو البول أو البراز أو الدم. وفي أحيان كثيرة يكون السائل نفسه هو سبب العطل في الطاولة[١٠]. ما يهم هنا هو أن خطر العدوى على مهندس الخدمة حقيقيٌّ جدًّا وحاضر دائماً.

يمكن اتخاذ **تدابير وقائية عامة** لمنع الاتصال مع مواد معدية بشكل محتمل. يجب تنظيف الجهاز بشكل شامل، ويفضل أن يتم ذلك من قبل كادر داخلي، وذلك قبل أن يبدأ المهندس في الصيانة. يجب أن يكون سائل التنظيف مكوناً من محلول مطهر قوي إلى حد ما وعادة ما يكون موجوداً في الموقع.

يجب على المهندس إضافة إلى ذلك ارتداء **أجهزة وقاية شخصية** عند تنظيف أو تخديم أجهزة ملوثة. ينبغي ارتداء القفازات المطاطية عند تنظيف انسكابات. ينبغي ارتداء النظارات أو واقيات الوجه عندما يتعلق الأمر بانسكابات كبيرة بسبب إمكانية الرشرشة (أو التطريش). ينبغي أيضاً ارتداء معاطف وأغطية أحذية عند العمل على أجهزة ملوثة بشدة. ينبغي لمهندس الخدمة أن لا يتردد في طلب أجهزة الحماية وذلك بسبب الطبيعة الخطرة للعدوى من مسببات الأمراض المنقولة بالدم.

أخيراً، ينبغي غسل اليدين جيداً بصابون مضاد للجراثيم (وهو موجود في جميع المستشفيات) بعد العمل على أجهزة مريض. أيضاً، **لا تأخذ معك أبداً طعاماً إلى غرفة الأشعة!** إن هذه العادة المتفشية بين مهندسي الخدمة الميدانية الذين، وبسبب ضيق الوقت، ينهون تناول غذائهم أثناء قيامهم بالإصلاحات، ينبغي تجنبها بسبب المخاطر التي تنطوي عليها.

---

(١٠) إن سوائل الجسم عالية الناقلية وسوف "تقصر" ("short out") المكونات التي تأتي على تماس معها.