الفصل الثاني

جودة الصورة
IMAGE QUALITY

ما هي جودة الصورة؟
What Is Image Quality?

يتم القيام بكل عملية محاذاة ومعايرة في مجال تخديم الأشعة السينية من أجل هدف واحد: **جودة الصورة**. إن الغرض من تعريض مريض للأشعة السينية هو في النهاية للحصول على صورة لبنية داخلية معينة يمكن فيما بعد استخدامها لتشخيصات طبية. إن هدف مهندس خدمة الأشعة السينية هو الضبط الدقيق لنظام الأشعة السينية بحيث يمكن إنتاج أفضل صورة ممكنة (لذلك النظام). إلا أننا حتى نناقش بذكاء جودة الصورة لا بد لنا من أن نحدد أولاً ما المقصود بعبارة "صورة جيدة".

بدايةً، ينبغي أن يكون لصورة جيدة **كثافة بصرية** ***(optical density)*** كافية بحيث يمكن رؤية البنى الداخلية بوضوح على وسط التصوير (أي الفيلم). تشير الكثافة البصرية إلى "التسويد" ("blackening") الإجمالي للفيلم وهو العامل الأهم في جودة صورة ما. يجب أن تكون الصورة مظلمة بما فيه الكفاية بحيث يمكن رؤية جميع هياكل المريض بوضوح عند مشاهدة الفيلم على **جهاز إضاءة** ***(illuminator)***.

تُقاس الكثافة البصرية بدقة بواسطة **مقياس كثافة** ***(densitometer)*** يستطيع أن يكشف عن تغيرات صغيرة جدًّا في كثافة الفيلم. يقيس مقياس الكثافة كثافة الفيلم عن طريق تمرير ضوء ذي كثافة معينة عبر مساحة صغيرة من الفيلم، ومن ثم مقارنتها مع شدة الضوء الذي ينبثق من الفيلم. إن كثافة الفيلم تساوي اللوغاريتم العام لنسبة الشدتين المُقاستين. وهكذا فإن الكثافة (D) تعطى بالعلاقة:

$$D = \log(I_o / I_t)$$

حيث: I_o هي شدة الضوء الأصلي المعايَر، و I_t هي شدة الضوء النافذ من خلال الفيلم.

تستطيع العين البشرية أن تميز فروقات الكثافة في مجال محدود جدًّا فقط (حتى حوالي 2.5 D). وفي الحقيقة فإنه عند كثافة بصرية فوق 2.5 D سيكون الفيلم مظلماً بحيث لا يمكن تمييز هياكل محددة في الصورة. إضافة إلى ذلك فإن

مجال التباين للفيلم عند كثافات مرتفعة (أو منخفضة) للغاية ينخفض بشكل كبير (يتم مناقشته لاحقاً). تتراوح كثافة فيلم عادي من 0.5 D إلى 1.5 D تقريباً.

ينبغي أن يكون أيضاً للصورة **تباين** كافٍ بحيث يمكن بسهولة تمييز كل نوع من أنواع الأنسجة (عظام، غضاريف، أنسجة لينة، ... إلخ). يشير تباين الصورة إلى الفرق في الكثافة البصرية بين بنيتين متجاورتين على الصورة. ينشأ عن فرق كثافة أكبر بين هذه الهياكل المتجاورة تباين صورة أعلى. تظهر الصورة ذات التباين العالي سوداء وبيضاء مع درجات قليلة جداً من الرمادي. أما الصورة ذات التباين المنخفض فتتغير تدريجياً من الأسود إلى الأبيض مع درجات كثيرة من الرمادي ما بينهما.

يتغير مستوى التباين الأمثل لصورة ما مع نوع المنطقة التشريحية التي يجري تصويرها. إذا كان طبيب الأشعة مهتماً بمشاهدة نسيج عظمي فإن الصورة ذات التباين العالي هي المفضلة. عندما تجري دراسة أنسجة لينة فإن هناك حاجة إلى صورة أقل تبايناً من أجل التمييز بين الهياكل الفردية المختلفة.

وفي النهاية فإنه ينبغي أن يكون لصورة جيدة مستوىً كافٍ من **التفصيل** بحيث تظهر الحدود لكل بنية حادة ومركّزة. يشير تفصيل الصورة إلى مدى سرعة حدوث التغير في الكثافة بين منطقتين متجاورتين. وهذا يتعلق مباشرة بمدى حدة ظهور الهياكل الفردية. إن تغيراً مفاجئاً جداً في الكثافة بين المناطق المتجاورة على الصورة يعطي صورة ذات حواف حادة واضحة المعالم. عند الحديث عن جودة الصورة فإنه يقال عن الصورة التي لها هياكل ذات حواف حادة واضحة المعالم بأن لها **تفصيلاً جيداً**. المصطلحات الأخرى المستخدمة بشكل متبادل فيما بينها عند الإشارة إلى تفصيل صورة هي: **وضوح الصورة** ***(image definition)*** **ودقة تمييز الصورة** ***(image resolution)*** **وحدة الصورة** ***(image sharpness)***.

ينبغي لصورة جيدة بالإضافة إلى الكثافة والتباين والتفصيل أن تمثل بدقة الحجم والشكل الفعليين للتفاصيل التشريحية للمريض وينبغي ألا "تشوّه" الهياكل الداخلية للمريض. يحدث **تشويه الصورة** عندما لا يكون المريض موضوعاً بشكل صحيح في حقل الأشعة السينية. وإذا ما كانت الصورة النهائية مشوّهة فإن التشخيص الخاطئ قد يكون النتيجة.

أخيراً، ينبغي أن يكون للصورة الجيدة حد أدنى من "ضجيج" الخلفية (background "noise"). إن **لضجيج التصوير الشعاعي** مظهراً "حبيبياً" أو مظهر"الملح والفلفل" على الفيلم. إن الضجيج هو نتيجة لعوامل عديدة سيتم مناقشتها لاحقاً في هذا الفصل. يقلل ضجيج التصوير الشعاعي تباين الصورة فقط ويحد بالتالي من جودة الصورة بشكل كبير.

إن لكل جهاز في نظام الأشعة السينية بعض التأثير على جودة الصورة، وسيتم مناقشة ذلك بالتفصيل في الصفحات التالية. ناقشنا في الفصلين السابقين الإجراءات المستخدمة لمحاذاة ومعايرة كل جهاز من أجهزة التصوير الشعاعي المختلفة. سيوضح هذا الفصل الآثار الفعلية لعمليات الضبط على جودة الصورة وكذلك كافة العوامل الأخرى التي تؤثر على جودة الصورة. ستساعد هذه المعلومات مهندس الخدمة على تحسين الصور التي ينتجها نظام الأشعة السينية. إلا أن هناك حاجة إلى لمحة موجزة عن عملية تشكيل الصورة قبل مناقشة الآثار التي يملكها كل جهاز على جودة الصورة.

تشكيل الصورة
Image Formation

لا بد لنا عند مناقشة تشكيل الصورة من أخذ جميع جوانب التصوير الشعاعي في الاعتبار من إنتاج الأشعة السينية إلى تحميض الفيلم. ومن بين جميع العوامل المأخوذة بالاعتبار فإنه سيتم توضيح أن العامل الأهم في عملية تشكيل الصورة هو **جودة حزمة الأشعة السينية** بحد ذاتها. ومن أجل إنتاج صورة جيدة فإن الحزمة المنبثقة عن أنبوب الأشعة السينية يجب أن تكون ذات طاقة كافية (أي جودة) للمرور عبر المريض إلى وسط التصوير. وبمجرد التوصل إلى "جودة الحزمة" المناسبة فإن كل جهاز في مسار التصوير سيعدّل حزمة الأشعة السينية بطريقة ما لإنتاج الصورة النهائية.

هناك حاجة إلى حزمة أشعة سينية ذات مستوى طاقة مرتفع بما فيه الكفاية من أجل تسجيل صورة تشخيصية لهياكل داخلية للمريض. عندما تضرب الحزمةُ المريضَ فإن فوتونات الأشعة السينية سوف تتفاعل مع الأنسجة في الجسم بثلاث طرق مختلفة. **تخترق** الفوتونات ذات الطاقة الأعلى المريض بالكامل عابرة مباشرة إلى مستقبل الصورة. يتم **تضعيف** الفوتونات المتبقية ذات مستويات الطاقة الأخفض بطريقتين. عندما تضرب الفوتونات النسيج فإنها إما أن **تُمتص** مباشرة في الأنسجة وإمَّا أن **تتبعثر** (أي تسير في اتجاه آخر غير ذاك الذي للحزمة الأولية).

إن الامتصاص المتباين لحزمة الأشعة السينية هو في الأساس ما يُنشئ الصورة. ومن ثم فإن مناقشة تشكيل الصورة ستركز على هذا المجال فقط. أما ما يقوم به الإشعاع التبعثري فإنه لا يتعدى إعاقة عملية تشكيل الصورة وسوف تتم مناقشته بالتفصيل لاحقاً في هذا الفصل.

تمتص الهياكل الداخلية للمريض فوتونات الأشعة السينية بشكل متباين وذلك حسب كثافة النسيج المعين. ينشأ عن الاختلاف في امتصاص الحزمة حزمة تخرج من المريض وتتكون من إشعاع بشدات متفاوتة. وبالتحديد فإن مستوى الطاقة لفوتونات الأشعة السينية في **حزمة الخروج** يختلف تبعاً للمساحة المقطعية للمريض. إن هذا الاختلاف

في الشدات المعروف باسم **التباين الجسمي** هو ما يشكل الصورة الفعلية على الفيلم. يحدد التباين الجسمي بدوره مقدار تباين الصورة.

تمر **حزمة الخروج** التي تنبثق من المريض عبر **شاشات التكثيف** في مستقبلات الصورة إلى الفيلم. تحوّل هذه الشاشات المصنوعة من مادة متألقة فوتونات الأشعة السينية إلى فوتونات ضوئية تكشف (تقوم بتعريض) الفيلم. يتألف الفيلم من **قاعدة** مرنة مصنوعة عادة من البلاستيك لها طلاء لاصق يلتصق به **المستحلب *(emulsion)***. يتكون المستحلب من بلورات بروميد فضة حساسة معلقة في مادة هلامية (جيلاتينية).

يتم تحويل فوتونات الأشعة السينية إلى طاقة ضوئية عندما تضرب الحزمة شاشات التكثيف. ينتج عن الطاقة الضوئية التي تضرب مستحلب الفيلم خضوع بلورات بروميد الفضة لتغير كيميائي ينشأ عنه ترسيب فضة محايدة على الفيلم. إن كمية الفضة التي تترسب في كل نقطة على الفيلم ترتبط ارتباطاً مباشراً بكمية الضوء الذي يضرب البلورات في تلك النقطة. يشكل تجمع ترسبات الفضة المحايدة في المستحلب صورة غير مرئية تسمى **الصورة الكامنة *(latent image)***. تبقى البلورات التي لا تتعرض للضوء فيزيائياً دون تغير.

يجب أن يخضع الفيلم المعرَّض بصورته الكامنة لمزيد من المعالجة لجعل الصورة الكامنة مرئية للعين البشرية. يتم "تحميض" الفيلم في محلول (أي **مُظهِر *(developer)***) يحتوي على مزيد من أيونات الفضة. تتفاعل أيونات الفضة في المظهر مع الفضة المحايدة لتشكل ترسبات من الفضة المعدنية السوداء. ليس للمُظهر أي تأثير على بلورات بروميد الفضة غير المتغيرة. تشكل حبيبات الفضة السوداء المتوضعة في هلام (جيلاتين) المستحلب الصورة المرئية.

يجب أن يوضع الفيلم بعد أن يكون قد تم تحميضه تماماً في مادة كيميائية أخرى تسمى **المثبت *(fixer)*** وهو الذي ينظف الفيلم من جميع بلورات بروميد الفضة غير المتأثرة. ذلك أنه إذا بقيت هذه البلورات غير المتغيرة على الفيلم فإنها ستستمر في التفاعل مع الضوء ومن ثم ستجعل الفيلم ضبابياً. يزيد المثبت أيضاً من صلابة الفيلم ويجعل الصورة دائمة.

بعد غسل وتجفيف الفيلم تكون عملية تشكيل الصورة قد اكتملت وأصبح الفيلم جاهزاً للمشاهدة. إن الفيلم المكتمل المعالجة (التحميض) يبقى في حالة تشخيصية لسنوات عديدة إذا ما تم تخزينه بصورة سليمة.

جودة الحزمة
Beam Quality

كما ذكر سابقاً فإن جودة حزمة الأشعة السينية أمر أساسي للحصول على جودة صورة جيدة. تصف جودة الحزمة مستوى الطاقة الإجمالية للإشعاع في حزمة الأشعة السينية والذي يشير إلى **قدرة الاختراق** للحزمة من أجل كيلو فولت (kVp) معين. إذا كانت الحزمة مكونة في غالبها من فوتونات ذات طاقة عالية فإنها تعتبر حزمة "قاسية"

("hard" beam"). إن للحزمة القاسية قدرة اختراق جيدة حيث أن فوتونات أكثر ذات طاقة عالية في الحزمة ستمر عبر المريض من دون ممانعة. علاوة على ذلك، إذا مرت فوتونات أكثر عبر المريض فإن فوتونات أقل سيتم امتصاصها من قبل المريض.

إذا كانت الحزمة مكونة من فوتونات أشعة سينية منخفضة الطاقة فإنه يُشار إليها على أنها إشعاع "ليِّن" أو "طري" ("soft" radiation"). إن للإشعاع الطري قدرة اختراق أقل ويتم امتصاص معظمه من قبل المريض. ولأنه يتم امتصاص الفوتونات ذات الطاقة المنخفضة في النسيج بسهولة أكثر فإن الحزمة الطرية ستزيد من التباين الجسمي، وهي لهذا السبب مرغوب فيها في تطبيقات خاصة للتصوير الشعاعي مثل التصوير الشعاعي للثدي حيث يكون جعل الأنسجة اللينة مرئية مرغوباً فيه.

إن العوامل الثلاثة الرئيسية التي تؤثر على جودة حزمة الأشعة السينية هي:

١- **الكيلو فولت *(kVp)*** الذي يتم اختياره (**وشكل موجة الكيلو فولت**).

٢- المادة المستخدمة في مصعد أنبوب الأشعة السينية (**أو بنية المصعد**).

٣- مقدار **الترشيح** في حزمة الأشعة السينية.

تتم مناقشة آثار الكيلو فولت وبنية المصعد في المقاطع التالية. تتركز مناقشتنا الآن على الترشيح وعلاقته بقياسات جودة الحزمة.

الترشيح
Filtration

إن الترشيح هو عملية إزالة الإشعاع ذي الطاقة المنخفضة غير المرغوب فيه من حزمة الأشعة السينية. يتم ترشيح حزمة الأشعة السينية بوضع صفائح رقيقة من معدن متجانس (في العادة ألومنيوم ١١٠٠ (AL1100)) في مسار الحزمة في أقرب نقطة ممكنة إلى أنبوب الأشعة السينية وتكون عادة عند محدد الساحة. إن وضع المرشح بهذا القرب من الأنبوب يطمس بشكل فعال أي عيوب (أي خدوش) في المرشح.

"يرشّح" ("يفلتر") الألمنيوم الحزمة عن طريق إزالة فوتونات الأشعة السينية ذات الطاقة المنخفضة من الحزمة. لا تساهم هذه الفوتونات ذات الطاقة المنخفضة في الصورة في التصوير الشعاعي العام، والأهم من ذلك أنها تزيد من الجرعة التي يتلقاها المريض. **يمكن زيادة قدرة الاختراق للحزمة باستخدام الترشيح ونتيجة لذلك فإن المريض سوف يمتص إشعاعاً أقل بكثير.**

علاوة على ذلك فإنه بإضافة مزيد من الترشيح في مسار الحزمة فإن قدرة الاختراق للحزمة ستزداد في المقابل. ينتج عن الترشيح المفرط صورة ذات تباين عالٍ للغاية وهو شيء غير مرغوب فيه لمشاهدة الأنسجة اللينة. ومرة أخرى فإن العائق الأهم في استخدام القليل جدًّا من الترشيح هو ازدياد الجرعة التي يمتصها المريض.

قياس جودة الحزمة
Measurement of Beam Quality

يتم تعريف جودة الحزمة على أنها مقدار الترشيح في حزمة أشعة سينية. يسمى قياس جودة الحزمة **طبقة نصف القيمة *(Half Value Layer)*** أو ***(HVL)***. يتم تعريف طبقة نصف القيمة بأنها **كمية الألومنيوم اللازمة لخفض ناتج الإشعاع من الأنبوب إلى نصف القيمة الأصلية عند كيلو فولت (kVp) معين**. هناك نقطة هامة لا بد من ذكرها فيما يتعلق بالـ HVL وهي أن جودة الحزمة تعتمد جداً على الـ kVp المستخدم (انظر اختيار التقنية أدناه) وتبعاً لذلك أيضاً قياس الـ HVL. لذلك يجب دائماً تسجيل إعدادات الـ kVp مع نتيجة الـ HVL.

يتم التعبير عن طبقة نصف القيمة عددياً على شكل "المقدار المكافئ من الألومنيوم" (بالملليمترات). يمكن تخفيف حزمة الأشعة السينية الطرية إلى حد كبير بكمية صغيرة من الألومنيوم، ومن ثم فإن لها HVL منخفضة. وبشكل مشابه فإن الحزمة القاسية ستتطلب كمية كبيرة من الألمنيوم لتخفيض الإشعاع إلى النصف ولها بالتالي HVL مرتفعة. ومن الناحية المثالية فإن المطلوب للحصول على صورة جيدة هو حزمة بحد أدنى من HVL لضمان سلامة المريض لكنها حزمة تحتوي على فوتونات عند مستويات طاقة عليا عديدة مختلفة بحيث إن بعض الفوتونات تخترق النسيج في حين يتم امتصاص فوتونات أخرى. تعطي الحزمة **متعددة الطاقات** التباين الأفضل لصورة.

تضع الحكومة الاتحادية التوجيهات من أجل قيم الحد الأدنى للـ HVL لكل kVp مختار. يتم وضع هذه التوجيهات لضمان سلامة المريض ويجب أن تكون جميع وحدات الأشعة السينية مطابقة لهذه المعايير (المواصفات القياسية). يمكن العثور على قائمة بمتطلبات طبقة نصف القيمة في الملحق. يجب على مهندس الخدمة استخدام قياس طبقة نصف قيمة لتحديد مقدار الحد الأدنى من الترشيح الذي يجب إضافته أو إزالته من الحزمة لتتوافق مع هذه التوجيهات.

العوامل التي تؤثر على جودة الصورة
Factors That Influence Image Quality

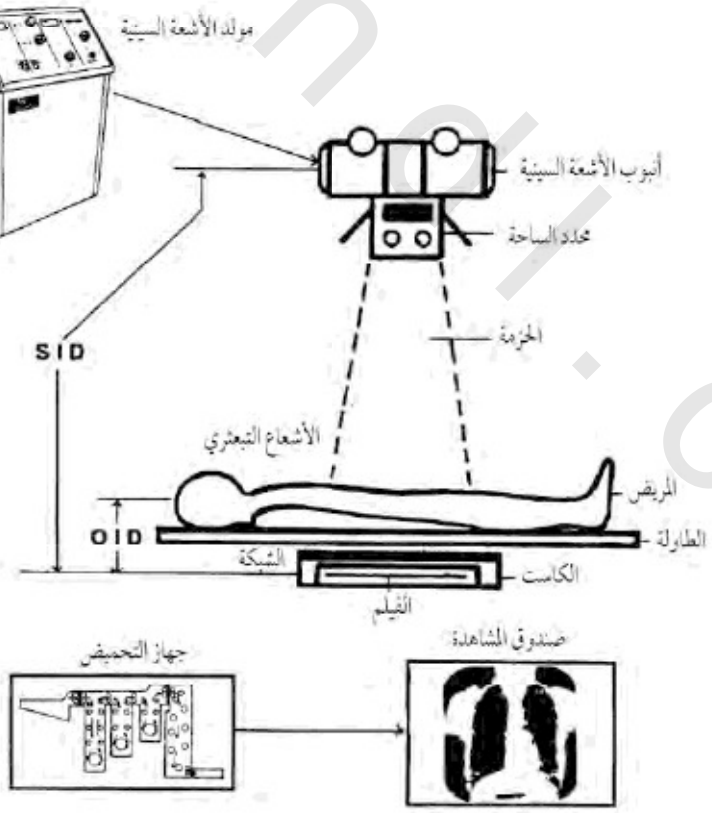
يوضح الشكل رقم (٢٨) التوجه النموذجي لسلسلة تصوير بالأشعة السينية من أجل غرفة تصوير شعاعي. إن كل واحد من البنود المبينة (وعلاقتها الهندسية مع بعضها بعضاً) يعطي تأثيراً هامًّا على الصورة النهائية. وبعد

تشكل الصورة على فيلم الأشعة السينية وتحميض الفيلم فإن العامل الأخير الذي يؤثر على جودة الصورة هو شروط المشاهدة.

مولد الأشعة السينية (اختيار التقنية) The X-ray Generator (Technique Selection)

يشير اختيار التقنية إلى العوامل التقنية للكيلو فولت والميلي أمبير والزمن والتي يتم اختيارها في وحدة التحكم بالأشعة السينية. تؤثر هذه العوامل بشكل كبير على نوعية وكمية الإشعاع الذي يتلقاه المريض في كل تعرض، وتؤثر بالتالي بشكل مباشر على جودة الصورة.

إن لاختيار الكيلو فولت أثرين على جودة الصورة: فهو يؤثر مباشرة على جودة الحزمة التي تؤثر إلى حد كبير على تباين الصورة، كما أنه يؤثر على الكثافة الإجمالية للفيلم. وكما ذكر أعلاه فإن جودة الحزمة تشير إلى مستوى الطاقة الإجمالية للإشعاع الموجود عند كيلو فولت معين. تتألف الحزمة عند إعدادات كيلو فولت منخفضة جداً في أغلبها من إشعاع طري يتم امتصاصه من قبل المريض، ولذلك لن يساهم في صورة الأشعة السينية. تتألف الحزمة عند إعدادات كيلو فولت مرتفعة من فوتونات أشعة سينية ذات طاقة عالية لها قدرة اختراق أكبر. تقلل هذه الحزمة الصلبة بشكل فعال من الجرعة التي يتلقاها المريض ولكن بثمن: **خسارة في تباين الصورة.**



الشكل رقم (٢٨). العوامل التي تؤثر على جودة الصورة. إن لكل من هذه المكونات تأثيراً كبيراً على جودة الصورة النهائية.

وكقاعدة عامة فإن **زيادة الكيلو فولت تقلل من تباين الصورة**. إن الخسارة في التباين هي نتيجة لما يلي :

١- تصل فوتونات أشعة سينية أكثر إلى مستقبل الصورة (بسبب قدرة الاختراق الأكبر) ومن ثم تسوِّد الفيلم ككل.

٢- زيادة في كمية الإشعاع التبعثري ناتجة عن الفوتونات ذات الطاقة العالية. وكما ذُكر آنفاً فإن الإشعاع التبعثري يقلِّل فقط من جودة الصورة.

إن لصورة شعاعية مأخوذة عند ٨٠ كيلو فولت يعطي كثافة فيلم عادية تبايناً أكبر بشكل ملحوظ من أخرى مأخوذة عند ١٠٠ كيلو فولت من أجل كثافة الفيلم تلك مع المحافظة على جميع العوامل الأخرى ثابتة. إن هذا التأثير على تباين الصورة ينطبق بشكل رئيسي على تغييرات كبيرة في إعدادات الـ kVp. لا تستطيع العين البشرية أن تكتشف تغيراً في التباين عند إجراء تغييرات صغيرة في إعدادات الـ kVp. وعلى وجه التحديد فإنه إذا تمت المحافظة على معدل التعريض (كثافة الفيلم) ثابتاً (كما هو الحال عند استخدام الـ AEC) فإن تغييراً في الكيلو فولت بمقدار ٥ كيلو فولت سلباً أو إيجاباً (± ٥ كيلو فولت) غير قابل للتمييز بالنسبة للعين المجردة.

ثانياً، تتسبب الزيادة في الـ kVp في أن يصل المزيد من الفوتونات إلى الفيلم، ومن ثم تتسبب هذه الزيادة في **زيادة كثافة الفيلم**. إلا أن الزيادة في **كمية** الإشعاع لا تتناسب طرداً مع الزيادة في الـ kVp. فمثلاً إن مضاعفة الـ kVp من ٥٠ إلى ١٠٠ سوف لن يضاعف كثافة الفيلم إذا ما تمت المحافظة على جميع العوامل الأخرى ثابتة.

أخيراً، تتأثر جودة حزمة الأشعة السينية بنوع **شكل موجة الـ kV_P**. وكما جاء في الفصل الأول، فإن شكل موجة الـ kVp عند مشاهدتها من الداخل تختلف اختلافاً جذرياً بين المولدات وحيدة الطور والمولدات ثلاثية الطور والمولدات ذات التردد العالي (انظر الأشكال رقم ٤ و ٥ و ٦). إن حزمة الأشعة السينية عند ٨٠ كيلو فولت ستكون "أكثر قساوة" بكثير بالنسبة لمولد ثلاثي الطور منها لمولد أحادي الطور بسبب انخفاض عامل التموج والكفاءة الأعلى للطاقة الثلاثية الطور. وبناء على ذلك فإن مولداً أحادي الطور سيعطي تباين صورة أكبر من المولد ثلاثي الطور أو المولد ذي التردد العالي عند الـ kVp نفسه وكثافة الفيلم نفسها.

يؤثر اختيار التقنية **للميلي أمبير *(mA)*** **والزمن** أيضاً على جودة الصورة ولكن بطريقة لا علاقة لها بتباين الصورة. عند الإشارة إلى جودة الصورة فإن الميلي أمبير والزمن أو حاصل ضربهما **(ميلي أمبير ثانية(ماس))** يؤثر بشكل مباشر على **كثافة الفيلم وحدة الصورة**. إذا ما تمت المحافظة على الـ kVp، ثابتاً فإن زيادة إعدادات الميلي أمبير أو الزمن ستزيد من الكثافة الإجمالية للصورة بشكل متناسب طرداً.

يؤثر عاملا الميلي أمبير والزمن بشكل غير مباشر على مدى حدة الصورة. يمكن أن تتأثر حدة الصورة بثلاثة أنواع من الحركة : **حركة أنبوب الأشعة السينية** وحركة **مستقبل الصورة** وحركة **المريض**. يجب الإبقاء على أنبوب الأشعة السينية ومستقبل الصورة والمريض من دون حركة أثناء التعريض للحصول على صورة حادة.

ونظراً للجودة العالية لأنابيب الأشعة السينية ومستقبلات الصورة التي يجري تصنيعها اليوم فإن آثارها على حدة الصورة تكاد لا تذكر. ومن بين جميع العوامل **فإن لحركة المريض التأثير الأكبر على عدم وضوح الصورة.** وعندما يتم استخدام أزمنة تعريض طويلة فإن حركة المريض هي العامل الأكبر الذي سوف يؤثر على حدة صورة ما.

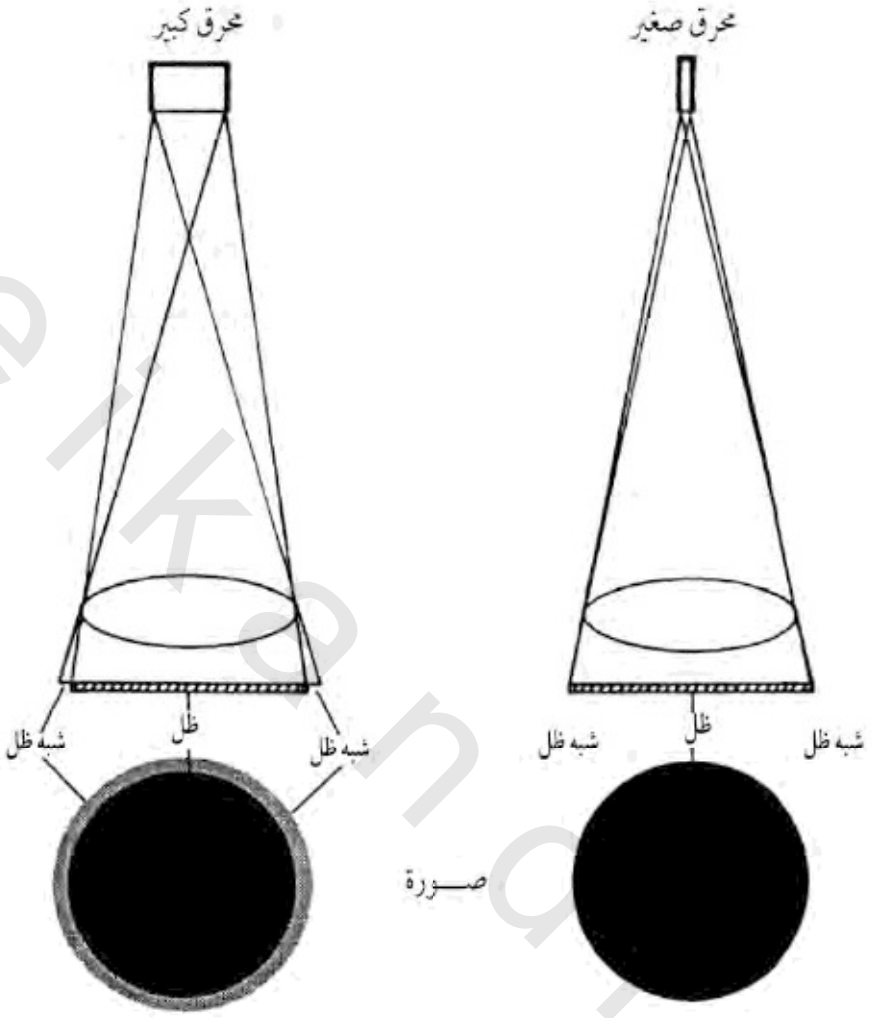
وللأسف فإنه من الصعب للغاية في كثير من الأحيان أن يتم الإبقاء على المريض ثابتاً تماماً أثناء تعريضات طويلة وذلك لعدة أسباب. أولاً وقبل كل شيء يجب على المريض أن يتنفس! والعملية الميكانيكية للتنفس قد تسبب قدراً كبيراً من حركة المريض التي سوف تنتج صورة غير واضحة. تتضمن الحركات غير الإرادية الأخرى للمريض ما يلي: حركة القلب، والبلع، والحركة ذات الصلة بالحالة الجسمية للمريض. إن مقيدات المريض (أي الأحزمة التي تمسك المريض في مكانه) لا تكون فعالة إلا إلى درجة صغيرة. **من خلال زيادة إعدادات الميلي أمبير فإنه يمكن استخدام أزمنة تعريض أقصر مما يقلل من الآثار الناجمة عن حركة المريض.**

يتعلق عيب استخدام إعدادات أعلى للميلي أمبير بالزيادة المرافقة في حجم البقعة المحرقية التي تسببها ظاهرة تسمى **الإزهار *(blooming)***. إن الإزهار حالة تنشأ عن الشحنة الفراغية الكبيرة في محيط الفتيل خلال تعرض بميلي أمبير مرتفع. تسبب الشحنة الفراغية الكبيرة زيادة في الحجم الفعال للبقعة المحرقية. إن آثار الإزهار حرجة في دراسات تكون فيها التفاصيل الحادة للغاية (مثل تصوير الأوعية) مطلوبة، و لهذا السبب فإنه غالبا ما تُستخدم أنابيب أشعة سينية بأحجام بقعة محرقية صغيرة جداً.

أنبوب الأشعة السينية The X-Ray Tube

هناك أربع خصائص لأنابيب الأشعة السينية لها تأثير كبير على جودة الصورة. هذه الخصائص هي: **حجم البقعة المحرقية للأنبوب *(the focal spot size)***، **ومقدار الترشيح المتأصل *(inherent filtration)*** في الأنبوب، **وتركيب (بنية) المصعد *(anode construction)*** **والأثر الكعبي (أثر الميلان) *(heel effect)*** الناتج عن المصعد. يجب أخذ كل عامل من هذه العوامل الأربعة بالاعتبار عند تقييم الصور الناتجة عن نظام أشعة سينية.

يؤثر حجم البقعة المحرقية (أو المحرق) للأنبوب بشكل مباشر على مقدار التفاصيل (أو الحدَّة) التي يمكن مشاهدتها في الصورة. عندما نتكلم عن المحرق فإننا نعني في الواقع **حجم البقعة المحرقية الفعال** لأنبوب الأشعة السينية. وكما جاء في الفصل الأول فإن حجم البقعة المحرقية الفعال يعتمد على حجم الفتائل وزاوية الهدف. يوضح الرسم في الشكل رقم (٢٩) تأثير حجم البقعة المحرقية على حدة الصورة. إن "للظل" الذي ينشأ عن جسم مُعرَّض إلى مصدر نقطي مكوِّنين اثنين: ١– **الظل *(umbra)*** **(أو الظل المظلم)** الذي هو الظل الرئيسي الناشئ عن الجسم، و ٢– **شبه الظل *(penumbra)*** **(أو الغبش)** والذي هو منطقة ضبابية أخف ظلمة محيطة بالظل المظلم.



الشكل رقم (٢٩). تأثير حجم البقعة المحرقية. يُنتج المحرق الصغير شبه ظل أقل وبالتالي صورة أكثر حدة.

ينتج حجم البقعة المحرقية الفعال الأصغر غبشاً (شبه ظل) أقل، ومن ثم حدة أكبر. إلا أنه ليس من العملي دائماً استخدام محرق صغير وذلك بسبب قدرات معدل التعريض المنخفضة، ويتم نتيجة لذلك استخدام أنابيب مزدوجة المحارق على نطاق واسع. يتم في أنابيب الأشعة السينية مزدوجة المحارق استخدام المحرق الصغير فقط للدراسات التي تتطلب صوراً دقيقة التفاصيل (أو في معظم دراسات طب الأطفال) واستخدام المحرق الكبير لمعظم الدراسات الأخرى.

يتم قياس محرق أنبوب الأشعة السينية بدقة في منشأة تحميل الأنبوب قبل أن يتم شحنه إلى المستخدم النهائي. أما ميدانياً فإنه يتم قياس محرق أنبوب الأشعة السينية على الغالب من قبل مهندسي الخدمة بواسطة فانتوم اختبار وضوحية يُدعى **نجمة الاختبار الرصاصية *(lead test star)*** في وقت التركيب (انظر الفصل السادس).

ينبغي لحجم البقعة المحرقية لأنبوب الأشعة السينية مع المعايير الحالية العالية المستخدمة في تصنيع أنابيب الأشعة السينية أن يبقى ثابتاً نسبيًّا على مدى العمر المتوقع للأنبوب. إذا كان محرق الأنبوب مع ذلك موضع شك فينبغي التحقق منه بنجمة الاختبار الرصاصية. **ومن الناحية المثالية فإنه ينبغي قياس حجم البقعة المحرقية في أنبوب الأشعة السينية عندما يتم تركيب أنبوب جديد أو عندما يُلاحظ وجود فقدان تفاصيل على الفيلم.**

إن الخاصية الثانية لأنابيب الأشعة السينية التي تؤثر على جودة الصورة هي الترشيح المتأصل للأنبوب. يشير الترشيح المتأصل إلى مقدار الترشيح الموجود داخل مجموعة أنبوب الأشعة السينية لوحدها. إن لجميع الأنابيب بسبب بنيتها حداً أدنى من **الترشيح المتأصل**. وعلى وجه التحديد فإن هذا الترشيح ناتج عن اجتماع عدة أشياء: الغلاف الزجاجي والزيت العازل ومنفذ بيت الأنبوب والتي تقع جميعها في مسار حزمة الأشعة السينية.

يتم قياس وتسجيل مقدار الترشيح الناشئ عن هذه المواد بميليمترات الألومنيوم المكافئة في المصنع. يمكن الاطلاع على هذه القيم العددية في صحيفة بيانات أنبوب الأشعة السينية التي يتم توريدها مع الأنبوب.

ولما كان مقدار الترشيح ذاك يؤثر على جودة حزمة الأشعة السينية ومن ثم على تباين الصورة، فإن من المهم معرفة مقدار الترشيح المتأصل في أنبوب الأشعة السينية المعني. يجب في الواقع أخذ الترشيح المتأصل بالاعتبار في القياس الإجمالي للترشيح في حزمة الأشعة السينية.

يزداد الترشيح المتأصل في أنابيب الأشعة السينية بتقادم هذه الأنابيب. ويرجع ذلك إلى تراكم التنغستن الذي يتموضع على الجدار الداخلي للغلاف الزجاجي كنتيجة لتبخر الفتيلة. يمكن تعويض الزيادة في الترشيح بإزالة المقدار المناسب من الترشيح االواقع في محدد الساحة (انظر فيما يلي). عندما يصبح الترشيح المتأصل في أنبوب الأشعة السينية زائداً عن الحد فيجب استبداله. وفي العادة فإن الأنبوب سيتعطل بطريقة أخرى قبل أن يصل الترشيح إلى هذه النقطة.

إن **تركيب (بنية) المصعد** هي الخاصية الثالثة لأنابيب الأشعة السينية التي تؤثر بشكل مباشر على جودة الصورة. تحدد المادة المستخدمة في الهدف نوع الإشعاع التي سيتم إنتاجه. إن التنغستن هو الأكثر شيوعاً للاستخدام في أنابيب الأشعة السينية للتصوير الشعاعي العام؛ لأنه ينتج في الغالب فوتونات أشعة سينية عالية الطاقة. يُستخدم الموليبدينوم في التصوير الشعاعي للثدي؛ لأنه يعطي إشعاعاً ذا طاقة أقل بكثير ضرورياً لتصوير الأنسجة اللينة (الرخوة). تستخدم معظم الشركات الصانعة لأنابيب الأشعة السينية اليوم مزيجاً من عدة مواد مختلفة لتحقيق الجودة المرغوب فيها للحزمة.

الخاصية الأخيرة لأنابيب الأشعة السينية التي تؤثر على جودة الصورة لها علاقة **بأثر الميلان (الأثر الكعبي)** الناجم عن المصعد. وكما جاء في الفصل الأول فإن الأشعة السينية تتبعثر انطلاقاً من الهدف في جميع الاتجاهات.

يتم امتصاص الأشعة السينية التي تسير في اتجاه المصعد جزئياً لدى مرورها عبر سماكة الهدف. يتسبب هذا الامتصاص في انخفاض تدريجي في كمية الإشعاع في الحزمة عندما يتم القياس من مركز الحزمة باتجاه الطرف المصعدي لأنبوب الأشعة السينية. ينشأ عن الانخفاض التدريجي في الإشعاع تغير تدريجي في الكثافة يكون واضحاً للعيان على الصورة الشعاعية. يزداد أثر الميلان (الأثر الكعبي) أيضاً مع زوايا الهدف الصغيرة.

يقوم مهندس الخدمة من أجل التعويض عن الأثر الكعبي (أثر الميلان) بتوجيه أنبوب الأشعة السينية مع المصعد باتجاه المنطقة التشريحية الأقل سماكة للمريض، وفي العادة عند النهاية الرأسية للطاولة (والمريض). إن الأثر الكعبي (أثر الميلان) في هذا التوجيه لا يكاد يُذكر من أجل الدراسات الأكثر شيوعاً، ومن ثم لن يحط من جودة الصورة.

محدد الساحة The Collimator

يساهم محدد الساحة في جودة الصورة بطرق عديدة هامة. تكمن المهمة الرئيسية لمحدد الساحة في **الحد من حجم حقل الإشعاعات** بحيث إنه يتم تعريض المنطقة ذات الاهتمام فقط. لن ينتج عن هذا الإجراء انخفاض كبير في الجرعة الإجمالية التي يتلقاها المريض فقط وإنما **يخفض هذا الإجراء بشكل كبير أيضاً من مقدار الإشعاع التبعثري الناشئ عن تفاعل الأشعة السينية مع المريض**. يتسبب الإشعاع التبعثري بزيادة في **الضبابية** على الفيلم وهو المساهم الأكبر في ضعف جودة الصورة.

إضافة إلى ذلك، فإن استخدام محددات الساحة (أيضا المخاريط والأحجبة الحاجزة) سيقلل بشكل فعال من كثافة الفيلم الإجمالية وسيزيد أيضاً من تباين الصورة. كما يزيل محدد الساحة الإشعاع خارج الهدف (off-target) المسمى **بالإشعاع الجذعي *(stem radiation)***. يحدث الإشعاع الجذعي عندما تصيب الإلكترونات من الفتيل الهدف في مناطق غير المسار المحرقي. ينتج هذا إشعاعاً غير مُركّز من شأنه أن يؤثر بشدة على حدة الصورة. وتُستخدم المجموعة العلوية من الشفرات و"الأصابع" في مجموعة محدد الساحة للتخلص من الإشعاع الجذعي.

الميزة الأخرى لاستخدام محدد الساحة هي أنه يعمل بفعالية للحد من **الإشعاع التبعثري الارتدادي** الناتج عما وراء مستوي الصورة. ينشأ الإشعاع التبعثري الارتدادي عادة عندما تتفاعل حزمة الأشعة السينية مع طاولة التصوير الشعاعي. إذا ما كانت شفرات محدد الساحة مغلقة حتى حدود المنطقة ذات الاهتمام فقط (أي المنطقة التشريحية المحددة للمريض) فسيكون هناك إشعاع متاح أقل للتفاعل مع هياكل المريض المحيطة ومع الطاولة، وهذا يخفض بالتالي إلى حد كبير كمية الإشعاع التبعثري الارتدادي.

أخيراً، فإن وظيفة هامة لمحدد الساحة فيما يتعلق بجودة الصورة تكمن في أنه يوفر **الترشيح** للحزمة. يتواجد ضمن جميع محددات الساحة شق (فتحة) يسمح بوضع المرشحات الإضافية اللازمة للتوصل للجودة الصحيحة

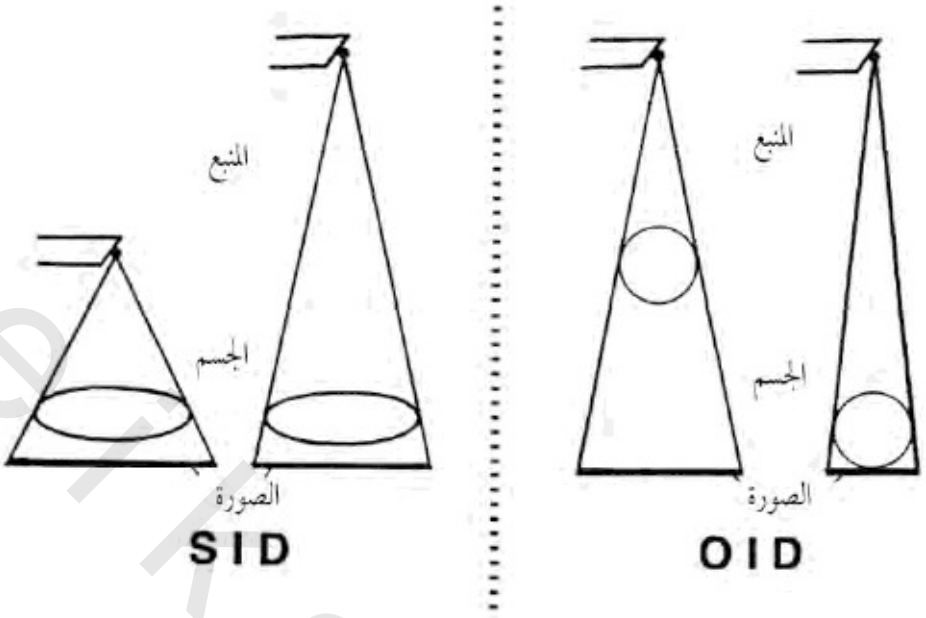
للحزمة كما هو محدد في التوجيهات الاتحادية. قد يكون محدد الساحة مجهزاً بمرشحات من الألومنيوم قابلة للاختيار، أو يكون هناك فتحة يمكن أن يوضع بداخلها كميات متنوعة من صفائح الألومنيوم. إضافة إلى ذلك، يجب أن تمر حزمة الأشعة السينية أيضاً مباشرة عبر المرآة الموجودة في جميع محددات الساحة والتي توفر أيضاً قدراً صغيراً من الترشيح.

يتم تحديد الكمية المناسبة من الترشيح اللازم عن طريق القيام بقياسات طبقة نصف القيمة (الـ HVL)، ومن ثم يتم إدخال السماكة الصحيحة من الألمنيوم في محدد الساحة. إن السبب في إضافة الترشيح عند هذه النقطة في مسار الحزمة هو أن أي عيوب في الألومنيوم سيتم "مسحها" وستكون غير مرئية على الصورة النهائية. وبناء على ذلك فإنه يجب وضع جميع المرشحات أقرب ما يمكن إلى الأنبوب.

الـ SID والـ OID SID and OID

عندما تتم موضعة مريض لتصوير شعاعي فإن هناك متغيرين مكانيين لهما تأثير كبير على جودة الصورة: **المسافة بين الصورة والمنبع *(source to image distance)*** أو اختصاراً ***SID***، **والمسافة بين الصورة والجسم *(object to image distance)*** أو اختصاراً ***OID***. يجب على مهندس الخدمة أن يفهم تماماً الآثار الناجمة عن هذين المتغيرين الهندسيين.

يؤثر الـ SID والذي يُشار إليه أيضاً بـ FFD (المسافة بين المحرق والفيلم (Focus-Film Distance)) بشكل كبير في حدة الصورة. يشير الـ SID إلى المسافة من البقعة المحرقية لأنبوب الأشعة السينية إلى مستوى الفيلم. يوضح الرسم البياني في الشكل رقم (٣٠) آثار تغير الـ SID، فمع تزايد الـ SID تبدو البقعة المحرقية وكأنها أصغر منظوراً إليها من مستوى الفيلم. إن تأثير البقعة المحرقية الأصغر هو التقليل من شبه الظل (الغبش) وتحسين حدة الصورة. وعلى وجه التحديد، إذا كان الاختيار بين مسافتي الـ SID الأكثر شيوعاً اللتين هما ٤٠ إنش (١٠٠ سم) أو ٧٢ إنش (١٨٠ سم) فإن الـ ٧٢ إنش سوف تعطي صورة أكثر حدة.



الشكل رقم (٣٠). تأثيرات الـ SID والـ OID :

– (إلى اليسار): تزايد الـ SID سيحسن حدة الصورة ويقلل من تكبير الصورة.

– (إلى اليمين): تناقص الـ OID سيحسن حدة الصورة ويقلل من تكبير الصورة.

تؤثر التغيرات في الـ SID أيضاً على كثافة الفيلم، فمع زيادة الـ SID يتوجب على الأشعة السينية قطع مسافة أكبر للوصول إلى الفيلم. وبما أن إشعاع الأشعة السينية يجب أن يخضع **لقانون التربيع العكسي** فسيحدث انخفاض كبير في الإشعاع عند مسافات SIDs أكبر. يجب تعويض هذا الانخفاض عن طريق زيادة تقنية التصوير الشعاعي. وبالمثل فإن إنقاص الـ SID يسبب زيادة في كثافة الفيلم مع كون جميع العوامل الأخرى ثابتة. إن تقنية تعطي كثافة صورة جيدة عند SID مقدارها ٧٢ بوصة ستعطي صورة أكثر قتامة بكثير عند SID مقدارها ٤٠ إنش. وباستخدام قانون التربيع العكسي لهذا المثال :

$$I/i = d^2/D^2$$

حيث : I هو معدل التعريض الجديد

i هو معدل التعريض الأصلي

d هو الـ SID الأصلي

D هو الـ SID الجديد

فإن :

$$I = (72^2/40^2)X(i) = 3.24X(i)$$

نرى من المعادلة أنه بإنقاص الـ SID إلى ٤٠ إنش فإن معدل التعريض هو بالضبط (٣,٢٤) مرة أكبر من معدل التعريض الأصلي عند SID قدرها ٧٢ إنش.

أخيراً، يتسبب إنقاص الـ SID أيضاً في **تشويه الصورة**. يتم تعريف تشويه الصورة على أنه **التمثيل الخاطئ للحجم والشكل الحقيقيين لجسم ما**. يُشار إلى تشويه الحجم **بالتكبير**. عندما يتناقص الـ SID فإن تكبير الصورة يزداد. إن **تشويه الشكل** هو النوع الثاني من تشويه الصورة ويحدث كنتيجة للمحاذاة غير الصحيحة للأنبوب أو المريض أو الفيلم.

إن الـ OID (المسافة بين الصورة والجسم) هي العامل الحيزي الثاني الذي يؤثر على جودة الصورة، ويُشار إليه أيضاً كـ OFD (المسافة بين الفيلم والجسم (object-film distance)). يشير الـ OID إلى المسافة بين المريض والفيلم. إن من الواضح من الرسم البياني في الشكل رقم (٣٠) أن الزيادة في الـ OID تؤدي إلى تناقص في حدة الفيلم. علاوة على ذلك، تتسبب زيادة في الـ OID في تكبير واضح للصورة وهذا شيء غير مرغوب فيه بالنسبة لمعظم الدراسات. وللأسباب المذكورة آنفاً فإن وضع المريض أقرب ما يمكن إلى الفيلم هي الممارسة التي يوصى بها.

يشيع في التصوير الشعاعي العام استخدام SIDs قياسيتين اثنتين في معظم فحوص الأشعة السينية. الـ SID التي مقدارها ٧٢ إنش هي المفضلة عندما يكون المرغوب فيه صورة حادة مع حد أدنى من التكبير والتشويه. تؤخذ صورة الصدر على سبيل المثال عادة عند SID مقدارها ٧٢ إنش. لو تم تعريض فيلم الصدر عند SID مقدارها ٤٠ إنش فإن صورة مكبرة كثيراً للقلب قد تغطي على آفة في الرئة. تُستخدم الـ SID التي مقدارها ٤٠ إنش مع ذلك لمعظم الدراسات الأخرى في التصوير الشعاعي العام. لقد وجد أن هذه المسافة تعطي تصويراً جيداً بالأخص في التصوير الشعاعي للجمجمة و الأطراف.

المريض The Patient

هناك بالإضافة إلى الآثار الناجمة عن أجهزة التصوير الشعاعي ثمة عامل آخر يؤثر مباشرة على جودة الصورة وهو **المريض** الذي يجري تصويره. نعلم من المقاطع السابقة أن حركة المريض تتسبب في ضياع في التفاصيل بسبب عدم وضوح الصورة وأنه يتم تخفيض آثار حركة المريض عن طريق تقليل مدة التعريض. إلا أن البنية الداخلية للمريض هي التي ستحدد في النهاية كيف ستبدو الصورة النهائية. إن عواملَ مثل الحجم والعمر والتشريح المرضي للمريض هي من يغير إلى حد كبير مظهر الصورة النهائية. ولهذا السبب فإن على المهندس أن يكون على دراية بمورفولوجيا المريض وبتقنيات التصوير القياسية وببعض الاضطرابات الشائعة التي يساعد التصوير الشعاعي على تشخيصها.

تمتص الأنسجةُ الإشعاعَ بكميات مختلفة تعتمد على العدد الذري للمادة وكثافة الأنسجة. فالعظام على سبيل المثال تمتص الأشعة أكثر بكثير مما تفعل الأنسجة اللينة (الرخوة). إنه هذا الاختلاف النوعي للأنسجة في الإضعاف هو بالضبط ما يصنع حزمة خروج تنتج صورة تتكون من مجموعة واسعة من الكثافات على الفيلم (أي تباين فيلم جيد)[٢٣].

يختلف التباين الجسمي اختلافاً كبيراً حسب نوع المريض وعمره وحالته الجسمية وتشريح المريض المرضي ويجب أخذ ذلك بالاعتبار عند تقييم جودة صورة. وإذا ما تم الإبقاء على العوامل التقنية والإعدادات الهندسية ثابتة فإن التباين الجسمي سيختلف اختلافاً كبيراً بين مريض ضخم وآخر نحيل، فالمريض الضخم سيمتص إشعاعاً أكثر بكثير من المريض النحيل. إضافة إلى ذلك، سيكون هناك أيضاً تكبير أكبر للهياكل الداخلية للمريض الضخم لأن الأعضاء تكون أبعد عن الفيلم. أخيراً، فإن المريض الضخم سينتج إشعاعاً تبعثرياً أكثر يقلل بدوره من جودة الصورة.

إن لعمر المريض أيضاً تأثيراً على الصورة. يعطي النسيج العضلي لمريض مسن صورة تختلف جذريا عن تلك التي لمريض شاب مفعم بالصحة. تتغير كثافة العظام أيضاً مع التقدم في السن ويجب أخذها بالاعتبار عند تقييم صورة ما. يتطلب مريض مصاب بهشاشة (ترقق) العظام تقنية تعرض أقل بكثير من مريض بأنسجة عظمية عادية.

تؤثر الحالة الجسمية للمريض أيضاً على تباين وكثافة الصورة، ومن ثم يجب أخذها في الاعتبار عند تقييم الصور. فمثلاً، يعطي مريض مصاب بمرض رئوي صورة تختلف اختلافاً كبيراً في المظهر تبعاً لنوع المرض. تختلف صورة من شخص مصاب بتليف أميانتي (الإسبستية (asbestosis)) اختلافاً كبيراً عن صورة شخص لديه انتفاخ رئة. أخيراً، تتأثر جودة الصورة بشكل كبير بارتداء مريض لجبيرة جبسية أو لنوع من الأجهزة التعويضية.

طاولة التصوير الشعاعي The Radiographic Table

إن لطاولة التصوير الشعاعي أيضاً تأثيراً كبيراً على الصورة النهائية. إن **سطح الطاولة** هنا الذي يحمل المريض في الواقع موضوع مباشرة بين المريض ومستقبل الصورة (مباشرة في مسار الصورة). وعليه يجب أن يكون سطح الطاولة مكوَّناً من مواد لن تضعف حزمة الأشعة السينية ومن ثم لن تؤدي إلى انخفاض في جودة الصورة. ينبغي من الناحية التقنية أن يكون لسطح الطاولة خصائص نقل عالٍ وامتصاص منخفض.

إضافة إلى ذلك، يجب أن يكون سطح الطاولة متجانساً وخالياً من العيوب التي يمكن أن تنتج تشوهات في الصورة. كانت سطوح الطاولات في الماضي مصنوعة في الغالب من الخشب. ولسوء الحظ فإن أية عيوب في الخشب

---

(٢٣) إذا كان يتوجب على طبيب أشعة أن يشاهد بنية محاطة بنسيج من نفس الكثافة فإنه يتم استخدام مادة ظليلة مثل كبريتات الباريوم أو الأيودين لاصطناع منطقة ذات تباين عالٍ على الفيلم.

أو حبيبات الخشب نفسها سوف تظهر على الصورة. إن معظم سطوح الطاولات التي يتم تصنيعها اليوم مصنوعة من مواد ليفية كربونية وتلبي، مع استثناءات نادرة، جميع المتطلبات المذكورة آنفاً.

مستقبل الصورة The Image Receptor

إن مستقبل الصورة مُعرَّفاً ببساطة عبارة عن كاشف يحوّل الصورة غير المرئية إلى واحدة مرئية. عند مناقشة مستقبل الصورة في غرفة التصوير الشعاعي، فإننا نشير تحديداً إلى **الفيلم وكاسيتات الأفلام**. سنضمِّن أيضاً مناقشة **لشبكة الأشعة السينية** سوية مع مستقبل الصورة؛ لأنها تقع عادة داخل كبينة مستقبل الصورة. وكقاعدة عامة، يتم استخدام شبكة الأشعة السينية لمعظم فحوص الأشعة السينية مع استثناءات قليلة كما هو الحال مع صور سطح الطاولة على سبيل المثال. إن لكل مكوّن من مكونات مستقبل الصورة تأثيراً واضحاً على جودة الصورة.

يمكن العثور على مستقبل الصورة في غرفة تصوير شعاعي عام في مكانين. يُستخدم المستقبل الموضوع على جدار للدراسات في حالات الوقوف. يتم مع المستقبل الجداري وضع المريض بحيث يقف مباشرة أمام مستقبل الصورة وبشكل مباشر في مسار حزمة الأشعة السينية. المكان الآخر لمستقبل الصورة هو في طاولة التصوير الشعاعي تحت سطح الطاولة مباشرة.

الشبكة

بمجرد خروج حزمة الأشعة السينية من المريض، فإن عليها أولاً أن تنتقل عبر شبكة الأشعة السينية قبل أن تصل إلى كاسيت الفيلم. تتمثل الوظيفة الوحيدة للشبكة في الحد من كمية الإشعاع التبعثري الناجم عن التفاعل التبادلي لحزمة الأشعة السينية مع المريض. يتحسن تباين الصورة إلى حد كبير بتخفيض كمية الإشعاع التبعثري.

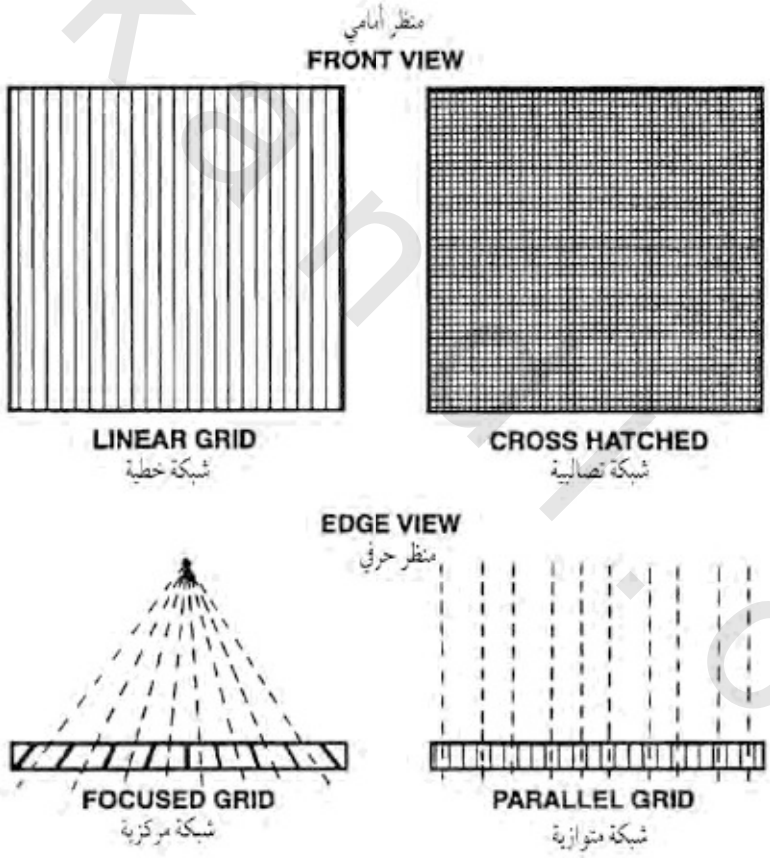
يتم في التصوير الشعاعي العام استخدام شبكات **ثابتة** ***(stationary)*** ومهتزة **(ترددية)** ***(reciprocating)*** على حد سواء. تبقى الشبكة الثابتة بلا حراك أثناء التعريض وتكون موجودة في العادة داخل **كبينة الشبكة**. يشيع استخدام الشبكات الثابتة في التصوير الشعاعي العام، لكنها محدودة نوعاً ما في قدرتها على الحد من الإشعاع التبعثري. أما الشبكات المهتزة التي تقع في أجهزة البوكي فتتذبذب جيئة وذهابا أثناء التعريض. إن الشبكة المهتزة أكثر فعالية في الحد من الإشعاع التبعثري من الشبكة الثابتة، إلا أنها تتطلب دارات إضافية لإنشاء حركة الشبكة. تزيد الدارات الإضافية من التكلفة الإجمالية للمستقبل كما أن لها احتمال تعطل زائد.

وبغض النظر عن نوع الشبكة فإنها يمكن أن تكون مكلفة للغاية في الغالب بسبب بنيتها الخاصة. يُصنع كلا نوعي الشبكات الثابتة والترددية من **شرائط رصاصية** رقيقة مفصولة **بمادة فاصلة**. يجب أن يكون لهذه المادة الفاصلة جودة امتصاص منخفضة لتسمح لفوتونات الأشعة السينية بالعبور من دون إضعاف. مواد الفصل البيني الشائعة هي الألياف والألمنيوم والهواء.

يمكن للشرائط الرصاصية أن تكون موجهة بشكل تكون فيه موازية لبعضها كما هو الحال في **الشبكة الخطية** ***(linear grid)*** أو يمكن أن تشكل نمط فتحة تصالبية كما هو الحال في **الشبكة التصالبية** ***(cross grid)*** (الشكل

رقم ٣١). الشبكات التصالبية أكثر فعالية في الحد من التبعثر من الشبكات الخطية إلا أنها حساسة للغاية لتوضُّع أنبوب الأشعة السينية.

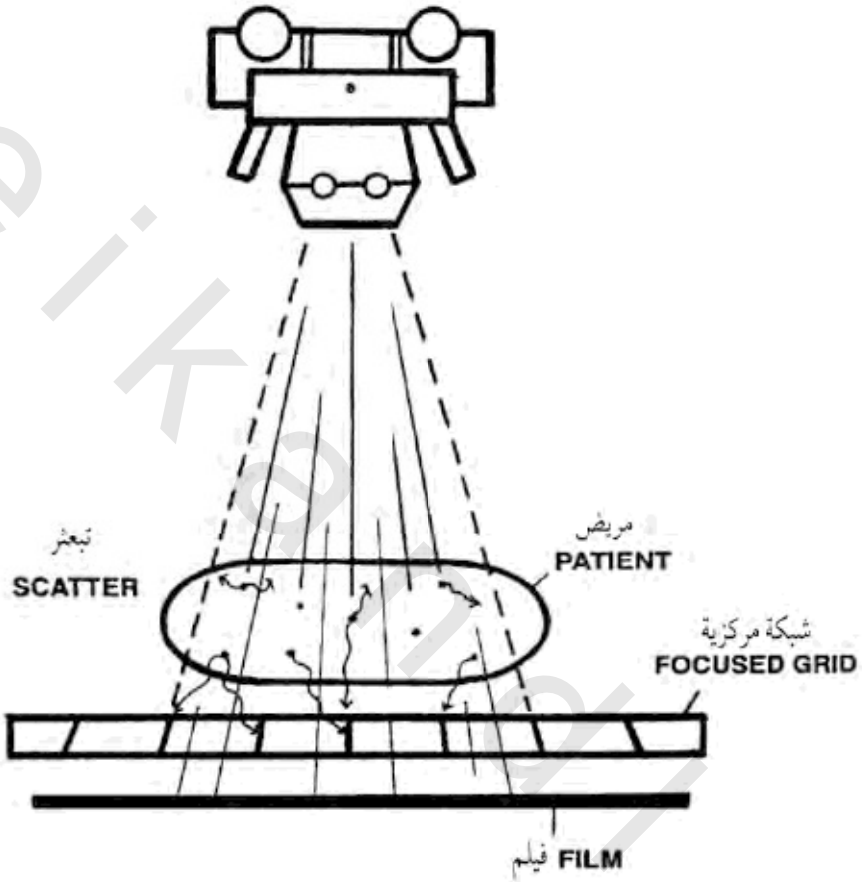
إن النوع الأكثر شيوعاً من الشبكات المستخدمة اليوم هو الشبكة الخطية ؛ لأنها تسمح بوضع الأنبوب بزاوية معينة من أجل مناظر تصوير شعاعي خاصة من دون التسبب في **قطع الشبكة *(grid cut-off)*** (انظر فيما يلي). يمكن استخدام الشبكات الخطية بفعالية إذا تم إعطاء أنبوب الأشعة السينية زاوية باتجاه ممر مواز للشرائط الرصاصية. ولهذا السبب فإن محور الشبكة المشار إليه على الوجه الأمامي للشبكة (الوجه الجانبي للأنبوب) يجب دائماً أن يكون موجهاً باتجاه الزاوية التي تم إعطائها للأنبوب (الاتجاه من رأس إلى قدم المريض).



الشكل رقم (٣١). أنواع شبكات الأشعة السينية.

يتم في كلا نوعي الشبكات فصل (مباعدة) الشرائط الرصاصية للسماح لمعظم الحزمة الأولية بالعبور مباشرة إلى الفيلم في حين يتم منع أي إشعاع تبعثري ينتقل صانعاً زاوية مع مستوى الفيلم (الشكل رقم ٣٢). ومع ذلك

فإنه يتم ممانعة (عرقلة) بعض الحزمة الأولية من قبل الشرائط الرصاصية مما يخفض الكمية الإجمالية للإشعاع الذي يضرب الفيلم. ولذلك لا بد من زيادة تقنية الأشعة السينية عندما تُستخدم الشبكات.



الشكل رقم (٣٢). كيفية إزالة شبكة الأشعة السينية للإشعاع التبعثري. إن الإشعاع الذي ينتقل بخط مستقيم فقط هو الذي يصل إلى الفيلم.

وفي الواقع فإنه يتم تصميم جميع الشبكات للعمل في نطاق محدد من الكيلو فولت. وإذا ما استُخدمت خارج هذا النطاق فستحدث تغييرات في الكثافة على الفيلم. يعتمد الكيلو فولت المحدد مباشرة على كمية الرصاص في الشبكة. ولذلك فإن شبكات الأشعة السينية بنسبة شبكة وتردد شبكة (انظر فيما يلي) مرتفعين تتطلب جهداً عالياً (كيلو فولت) أعلى.

إن العاملَيْن الرئيسَيْن اللذَيْن يحددان مدى فعالية شبكة في التقليل من الإشعاع التبعثري هما: **نسبة الشبكة وتردد الشبكة**. إن نسبة الشبكة هي **نسبة ارتفاع الشرائط الرصاصية إلى المسافة بين كل منها والآخر**. إن لشبكة ارتفاع

شرائطها الرصاصية (٠,٠٨) إنش ومفصولة عن بعضها بـ (٠,٠١) إنش نسبة شبكة قدرها ٨ إلى١ ، إن نسبة الشبكة الأعلى أكثر فعالية في الحد من الإشعاع التبعثري.

إن هناك مع نسب شبكة أعلى رصاصاً أكثر ليعبره الإشعاع ومن ثم لا بد من تقنية تعرض أعلى لتحقيق كثافة فيلم كافية. إن الشبكات التي لها نسب شبكة عالية تكون أيضاً أكثر حساسية للتموضع من الشبكات ذات النسب الأخفض. إذا لم تتم محاذاة الأنبوب تماماً مع المستقبل فسينجم عن ذلك **قطع للشبكة**. وهذا هو السبب في استخدام شبكات ثابتة بنسب شبكة منخفضة (مثل ٥ إلى ١) في أجهزة الأشعة السينية المحمولة.

يشير تردد الشبكة إلى عدد الشرائط الرصاصية في الشبكة وتقاس بخطوط الشبكة في الإنش (أو الخطوط في كل سنتيمتر). بازدياد تردد الشبكة يتناقص عرض الشرائط الرصاصية لاستيعاب الشرائط الإضافية (مع الحفاظ على نسبة الشبكة نفسها). إن الشرائط الرصاصية الرفيعة في شبكة ذات تردد شبكة مرتفع لن تكون مرئية على الصورة الشعاعية. إن شبكة بشرائط رصاصية سميكة (أو ذات تردد شبكة منخفض) ستقلل إلى حد كبير من الإشعاع التبعثري لكن صورة الشرائط الرصاصية سوف تظهر على الفيلم **كخطوط شبكة**.

يجب دائماً عند اختيار شبكة ما التوصل إلى حل وسط بين تردد الشبكة ومقدار تخفيض التبعثر المرغوب فيه. تقع ترددات الشبكة الشائعة المستخدمة في غرف التصوير الشعاعي في المجال ٨٠ إلى ١٠٠ خط لكل إنش. تستطيع شبكة الأشعة السينية عند ترددات الشبكة هذه أن تحد بشكل فعال من الإشعاع التبعثري من دون التسبب بخطوط شبكة مرئية على الصورة.

يمكن لشبكات الأشعة السينية أن تكون ذات بنية إما **مركزية** ***(focused)*** وإما **متوازية** ***(parallel)*** وذلك حسبما تكون الشرائط الرصاصية موجهة بالنسبة لمحور حزمة الأشعة السينية. إن للشبكة المركزية شرائط رصاصية تصنع زاوية لدى ابتعادها عن مركز حزمة الأشعة السينية. إذا رُسمت خطوط عبر الشرائط المتزاوية فإنها تلتقي في نقطة فوق مستوي الفيلم (الشكل رقم ٣١). النقطة التي تلتقي عندها هذه الخطوط هي النقطة المركزية (المحرقية) للشبكة. يمكن مركزة الشبكات المركزية من أجل SID محددة مثل ٤٠ إنش على سبيل المثال ، أو من أجل مجال للـ SID مثل ٤٠ إلى ٧٢ إنش. يجب موضعة أنبوب الأشعة السينية عند النقطة المركزية (المحرقية) وإلا فإنه سينتج **قطع للشبكة**. هذه الموضعة حرجة للغاية مع نسب شبكة مرتفعة.

أما في الشبكات المتوازية فإن الشرائط الرصاصية لا تصنع زاوية وإنما تسير بشكل موازٍ للشعاع المركزي لأنبوب الأشعة السينية. يجب استخدام الشبكات المتوازية مع SID كبيرة وأحجام أفلام صغيرة وإلا فإنه سينتج قطعاً للشبكة. غالباً ما تُستخدم شبكات متوازية للتصوير البقعي في أجنحة التصوير التألقي.

ينتج **قطع الشبكة** عندما يتم إيقاف جزء كبير من الحزمة الأولية للأشعة السينية من قبل الشرائط الرصاصية. وبإعاقة جزء من الحزمة الأولية فإن إشعاعاً أقل سيصل إلى الفيلم وبالتالي يمكن ملاحظة انخفاض في كثافة الفيلم على كامل (أو جزء من) الصورة الشعاعية. هناك أربعة أنواع من قطع الشبكة وكل نوع ينتج تأثيراً على الصورة النهائية. يجب على مهندس الخدمة فهم الأسباب لكل نوع من أنواع قطع الشبكة والآثار التي ينتجها على الفيلم.

١- **القطع خارج المركز** ***(Off-center cutoff)*** : ينتج عن حزمة أشعة سينية غير متمركزة مع الشبكة. يسبب هذا النوع من القطع انخفاضا عامًّا في الكثافة على كامل الفيلم.

٢- **القطع خارج المحرق** ***(Off-focus cutoff)*** : ينتج عن موضعة أنبوب الأشعة السينية خارج المجال المحرقي (المركزي) للشبكة المركزية. يسبب هذا النوع من القطع كثافات أخف على الحدود الجانبية للفيلم في حين يبقى المركز غير متأثر.

٣- **القطع خارج المستوي** ***(Off-level cutoff)*** : يحدث عندما تكون الشبكة مائلة بالنسبة لمستوي الفيلم ويُرى كإنخفاض عام في الكثافة الإجمالية للفيلم.

٤- **القطع العكسي** ***(Reverse cutoff)*** : ينتج عن شبكة تم وضعها رأسا على عقب في المسار. ينشأ عن هذا النوع من القطع انخفاض في الكثافة حول جميع حدود الفيلم.

البوكي المهتز (الترددي) ***(The Reciprocating Bucky)*** :

يمكن أن يكون للشبكة المستخدَمة في بوكي مهتز تردد شبكة منخفض جدًّا (مثل شرائط رصاصية سميكة) دون التسبب في خطوط شبكة. والسبب في ذلك هو أن البوكي يحتوي على دارات إضافية من شأنها أن "تؤرجح" الشبكة. "تتأرجح" الشبكة (أو تهتز) في الاتجاه المستعرض للبوكي (crossbucky) (الجانبي (lateral)) عند زوايا قائمة مع الشرائط الرصاصية. وبالقيام بذلك فإن هذه الحركة المستعرضة تطمس بشكل فعال الشرائط الرصاصية السميكة بحيث لا تُرى على الفيلم. وكما ذكر آنفاً في هذا الفصل ، فإن الشبكات ذات تردد الشبكة المنخفض أكثر فعالية في الحد من التبعثر.

تتطلب أجهزة البوكي المهتز محركاً ومجموعة قيادة لتحمل الشبكة على التأرجح. يجب أيضاً أن تتحرك الشبكة **بالسرعة الصحيحة** ويجب أن تكون متزامنة مع مولد النبضات وإلا فستنتج خطوط شبكة. يتم التحكم في سرعة وتزامن محرك البوكي من قبل مولد الأشعة السينية. إن الآثار المترتبة على مشاكل قيادة المحرك ملحوظة بشكل خاص في التعريضات القصيرة جداً.

obeikandi.com

كاسيت الفيلم

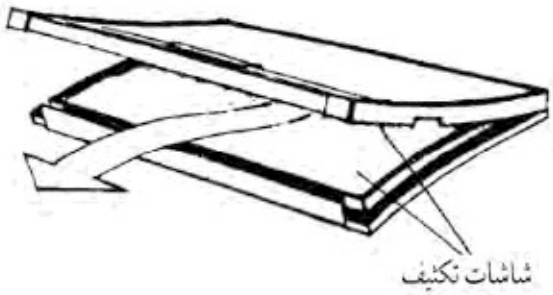
لقد مثَّل إدخال كاسيت الفيلم تقدماً كبيراً في التصوير الشعاعي العام ويُعتبر اليوم جزءاً أساسياً في عملية تشكيل الصورة. إلا أنه وبسبب كون كاسيت الفيلم يقع مباشرة في مسار حزمة الأشعة السينية فإنه يؤثر بشكل كبير على جودة الصورة.

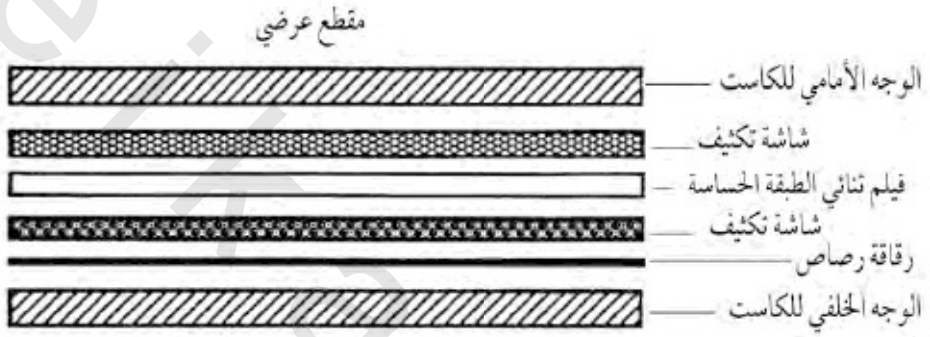
إن كاسيت الفيلم (الشكل رقم ٣٣) في الأساس عبارة عن **حافظة كاتمة للضوء** تمسك بفيلم الأشعة السينية غير المعرَّض أثناء التعريض. يتم إدراج الكاسيت في صينية كاسيت أو حامل كاسيت أو يمكن وضعه مباشرة وراء المريض عند التصوير. تتوافر كاسيتات الأفلام من أجل كل حجم فيلم قياسي مستخدم في التصوير الشعاعي العام وهي متوافقة مع جميع أنواع أجهزة الأشعة السينية.

تكمن الميزة الأكثر أهمية لكاسيت الفيلم في أنه يتضمن **شاشات تكثيف**. تكمن الوظيفة الوحيدة لشاشة التكثيف في تحويل طاقة الأشعة السينية إلى طاقة ضوئية يتعرض لها الفيلم بعد ذلك. وفي الواقع فإن ٩٨٪ من الطاقة التي يتعرض لها الفيلم طاقة ضوئية. تسهم الأشعة السينية بحوالي ٢٪ فقط من إجمالي التعريض. وبتحويل إشعاع الأشعة السينية إلى طاقة ضوئية فإنه يتم تعريض الفيلم الحساس للضوء بسرعة أكبر بكثير مما لو تم تعريضه لإشعاع أشعة سينية مباشر. إن تخفيض زمن التعريض لا يقلل فقط من تعرض المريض للإشعاع وإنما يطيل أيضاً في عمر أنبوب الأشعة السينية.

ولسوء الحظ فإن أفضل الشاشات المتوفرة لا يمكن أبداً أن تضاهي وضوح صورة شعاعية تم إنتاجها من دون شاشات تكثيف. ومع ذلك فإن فوائد استخدام شاشات التكثيف تفوق بكثير هذا العيب الوحيد، وجميع الصور الشعاعية التشخيصية يتم أخذها اليوم بشاشات تكثيف.

تتألف شاشة التكثيف من طبقة من بلورات الفوسفور مدعَّمة بورق مقوى أو قاعدة بلاستيكية. وبما أنه يتم استخدام **فيلم ثنائي الطبقة الحساسة *(double-emulsion film)*** (أي طبقة حساسة على كلا جانبي الفيلم) في التصوير الشعاعي العام فإنه يتم استخدام شاشتي تكثيف داخل كاسيت الفيلم. الفيلم يكون "**محصوراً**" ("sandwiched") بين شاشتين علوية وسفلية يتم المحافظة عليه بشكل ثابت مقابل كل شاشة تكثيف بواسطة نوابض تقع أيضاً داخل الكاسيت. ومن دون شد النابض فإن **الاتصال بين الفيلم / الشاشة *(film/screen contact)*** غير الكافي قد يتسبب في صورة غير واضحة. هناك حاجة إلى اتصال فيلم / شاشة جيد لإنتاج صور حادة.





الشكل رقم (٣٣). كاسيت الفيلم. يتم استخدام الرقاقة الرصاصية للتقليل من الإشعاع التبعثري الارتدادي.

تنبعث من بلورات الفوسفور طاقة ضوئية عند تعرضها لفوتونات الأشعة السينية، ومن ثم يتعرض الفيلم لهذه الطاقة الضوئية. إن بلورة الفوسفور الأكثر شيوعاً والمستخدمة في شاشات التكثيف هي **تنغستات الكالسيوم** التي ينبعث منها ضوء في المنطقة الزرقاء وفوق البنفسجية من الطيف الكهرومغناطيسي. تُستخدم تنغستات الكالسيوم؛ لأن هناك القليل جدًّا من التأخير (أي لديها زمن استجابة سريع) ولأنها متينة جدًّا كمادة شاشة. يتم اليوم أيضاً استخدام فوسفورات الأرض النادرة نظراً لكفاءتها العالية في تحويل الإشعاع إلى طاقة ضوئية. تقوم فوسفورات الأرض النادرة مثل **الجادولينيوم** ***(gadolinium)*** **واللانثانوم** ***(lanthanum)*** بإصدار ضوء في المنطقة الخضراء من الطيف المرئي ويجب أن تكون متوافقة بشكل مناسب مع الفيلم الحساس للون الأخضر.

عند مناقشة شاشات التكثيف فإن الخاصية الأكثر أهمية هي **حساسية الشاشة**. إن حجم بلورات الفوسفور وسماكة طبقة الفوسفور هما ما يحدد حساسية شاشات التكثيف. فالشاشة التي تحتوي على بلورات أكبر أو التي لها طبقة سميكة من الفوسفور ستعطي طاقة ضوئية استجابة لكمية معينة من الإشعاع أكثر بكثير من شاشات ببلورات أصغر (أو طبقة فوسفور رقيقة).

ينتج عن زيادة الخرج الضوئي للبلورات الأكبر أزمنة تعريض أقصر بكثير. ويطلق على هذه الشاشات اسم الشاشات **السريعة** أو الشاشات ذات **الحساسية العالية**. إلا أن البلورات الكبيرة لن توضح التفاصيل الدقيقة لبنى تشريحية معينة بسبب زيادة كمية الخرج الضوئي. **إن للشاشة السريعة بلورات كبيرة وتنتج تفاصيل أقل.**

وحيثما تكون هناك حاجة إلى تفاصيل دقيقة تكون هناك حاجة إلى شاشة "أبطأ" وأقل حساسية (أي واحدة ببلورات صغيرة وطبقة فوسفور رقيقة). يُطلق على هذه الشاشات اسم شاشات **التفصيل** وهي تتطلب معدل تعريض أكبر لإنتاج كثافة مساوية لتلك التي للشاشات السريعة. **إن لشاشات التفصيل بلورات صغيرة توفر تفصيلاً أفضل**. تُستخدم شاشات التفصيل في الغالب من أجل العمل مع الأطراف وتصوير الأوعية الدموية.

فيلم الأشعة السينية X-Ray Film

إن الوسط الذي يتم فيه تشكيل الصورة النهائية وتخزينها بشكل دائم في التصوير الشعاعي العام هو فيلم الأشعة السينية. هناك نوعان من أفلام الأشعة السينية المستخدمة بشكل شائع اليوم. يتم استخدام **فيلم ثنائي الطبقة الحساسة** لمعظم دراسات التصوير الشعاعي ويتكون من مادة قاعدة مصنوعة من البلاستيك مع طبقة حساسة على كلا جانبي القاعدة. أما **الفيلم أحادي الطبقة الحساسة** فله طبقة حساسة على جانب واحد فقط ويُستخدم لتطبيقات خاصة مثل التصوير الشعاعي للثدي. تحتوي الطبقة الحساسة على بلورات بروميد الفضة المعلقة في مزيج هلامي (جيلاتيني). عندما تتعرض البلورات للضوء ؛ فإنها تخضع لتغيير كيميائي يتسبب بترسيب الفضة المحايدة على الفيلم في مكان بروميد الفضة المعرَّضة. تشكّل عملية ترسيب حبيبات الفضة ما يُطلق عليه اسم **الصورة الكامنة**.

يحدد حجم بلورات بروميد الفضة **سرعة الفيلم** أو الحساسية. يتكون فيلم سريع من بلورات أكبر بكثير من الفيلم البطيء. وحيث أنه يلزم بلورات قليلة (كبيرة) لإنتاج الصورة فإن للفيلم السريع حبيبات أكثر ويبدو "ضوضائياً". أما فيلم التفصيل فله بلورات صغيرة أكثر بكثير تنتج حبيبات أقل بكثير على الفيلم.

وكما ذكر في المقاطع السابقة فإنه يجب استخدام نوع الفيلم الصحيح مع مجموعة معينة من شاشات التكثيف لتحقيق جودة الصورة المثلى. يُطلق على ملاءمة فيلم إلى شاشة معينة اسم **تركيب (مزاوجة) الفيلم/الشاشة *(film/screen combination)***. وبما أن فيلم الأشعة السينية يمكن أن يكون حساساً لأطوال موجات مختلفة من الضوء (أي ضوء أخضر أو أزرق) فإن عدم التلاؤم في تركيب الفيلم/الشاشة يمكن أن يُنتج فيلماً بلا تعرُّض أو مشاكل كثافة أخرى. وهذا غالباً ما يكون مصدراً للمشاكل في المستشفيات حيث يتم استخدام أنواع مختلفة عديدة من الأفلام. يجب على مهندس الخدمة مراقبة وملاحظة نوع الفيلم والشاشة المستخدمين عند تشخيص مشاكل التصوير.

يؤثر تركيب الفيلم/الشاشة أيضاً على مقدار **التشويش النقطي على التصوير الشعاعي** أو "الضوضاء" التي من شأنها أن تكون مرئية في الصورة النهائية. إن التشويش النقطي على التصوير الشعاعي هو تغيرات الكثافة غير المرغوب فيها على الفيلم والتي يمكن أن تحجب رؤية الصورة الحقيقية. إضافة إلى ذلك، يتم توليد ضوضاء التصوير الشعاعي أيضا من أربعة مصادر أخرى: **حبيبات الفيلم *(film graininess)*** و **التشويش النقطي على الشاشة *(screen mottle)*** **والتشويش الصنعي للفيلم *(film artifact)*** **والتشويش النقطي الكمي (الكوانتي) *(quantum mottle)***.

إن حبيبات الفيلم هي نتيجة لتراكم بلورات بروميد الفضة. أما التشويش النقطي على الشاشة فسببه تغيرات في خرج بلورات الفوسفور التي تتكون منها شاشات التكثيف. ومع الأفلام والشاشات ذات الجودة العالية اليوم فإن هذين المصدرين لا يسهمان بشكل كبير في ضوضاء التصوير الشعاعي. وعلاوة على ذلك فإنه يتم التعرف بسهولة على التشويش الصنعي للفيلم الذي يسببه سوء التعامل مع الفيلم أو مشاكل في جهاز تحميض الفيلم وهو ليس مساهماً رئيسياً في مشاكل الضوضاء.

إن التشويش النقطي الكمي (الكوانتي) هو المساهم الأكبر من بين جميع مصادر ضوضاء التصوير الشعاعي. يتم تعريف التشويش النقطي الكمي (الكوانتي) على أنه تغيرات الكثافة على الفيلم التي تسببها "رزم" ("packets") طاقة الأشعة السينية. من المعروف أن الأشعة السينية تنتقل عبر الهواء بطريقتين: في موجات طاقة كما هو موضح في نظرية الأمواج (wave theory)، وفي "رزم" طاقة كما هو موضح في النظرية الجزيئية (particle theory).

تكون رزم الطاقة التي يُطلق عليها اسم **الكوانتومات *(quanta)*** موزعة مكانيًّا في نمط عشوائي عندما تنتقل عبر الهواء. وباصطدام الرزم بشاشات التكثيف فإن عشوائية الإشعاع تتسبب في تذبذبات طفيفة في شدة الضوء المنبعث من الشاشات. ينتج تذبذب الضوء بدوره تذبذباً مقابلاً في الكثافة على الفيلم، وبالتالي فإن التشويش النقطي الكمي الكوانتي يُرى على الفيلم.

يكون التشويش النقطي الكمي (الكوانتي) في التصوير الشعاعي مرئياً أكثر في تركيبات الفيلم/الشاشة السريعة لأنه يلزم إشعاع أقل (أي فوتونات أقل) لإنشاء الصورة. إن الفوتونات الأقل تنتج سواداً على الفيلم هو أقل من أن يكون مرئياً على الصورة. إن استخدام تركيب فيلم/شاشة سريع هو في الواقع بمثابة إنشاء نظام تصوير عالي الربح. إن الربح العالي هو كلمة أخرى **للتضخيم العالي**. إن العدد القليل من الفوتونات (رزم الطاقة) المستخدمة لتعريض الصورة الشعاعية سيتم تضخيمه وسيصبح مرئيًّا بشكل واضح على الفيلم.

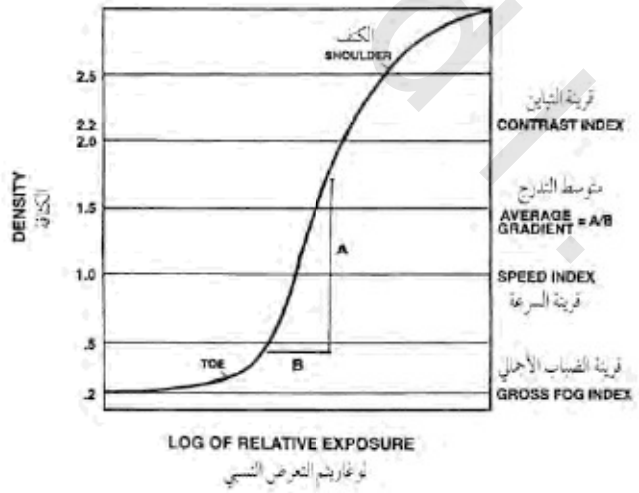
يمكن بسهولة توضيح مثال جيد لهذه الظاهرة بطابعة مصفوفية نقطية. ينتج رأس طباعة بتسعة دبابيس أحرفاً تبدو باهتة عموماً وغير حادة على الورق. يمكن بسهولة بناء على فحص دقيق تمييز النقاط الفردية. من ناحية أخرى، تنتج طابعة بـ ٢٤ دبوس حرفاً حاداً وأكثر قتامة بكثير مع نقاط فردية ليست واضحة بهذه السهولة.

يمكن توضيح المواصفات الدقيقة لكل نوع من أنواع أفلام الأشعة السينية بيانيًّا بواسطة **المنحني المميز *(characteristic curve)*** أو **منحني *H & D*** المسمى على اسمي Hurter و Driffield اللذين استخدما المنحنيات لأول مرة. يتم إنشاء المنحنى المميز عن طريق الرسم البياني لكثافة الفيلم في مقابل لوغاريتم التعريض النسبي للفيلم والتحميض المستخدم. ويمكن أن يتم من المنحني تحديد **سرعة الفيلم**، **والضباب الإجمالي**، **وتباين الفيلم** (انظر الشكل رقم ٣٤).

يتألف منحنى الفيلم من إصبع قدم (toe) وجزء مستقيم وكتف (shoulder). ويتم الحصول على الجودة الأفضل للفيلم بتعريضات تقع في الجزء المستقيم من المنحنى. يحدد ميل الجزء المستقيم، والذي يُسمى **متوسط التدرج** ***(average gradient)***، التباين الإجمالي للفيلم. سيكون للتعريضات التي تقع خارج نطاق الجزء المستقيم تباين أقل. وهذا هو السبب في أنه من الصعب رؤية اختلافات كثافة على الفيلم بكثافة فوق 2.5 D أو تحت 0.5 D.

ومن وجهة نظر الخدمة فإنه يجب تدوين نوع الفيلم عند تقييم جودة الصورة. إضافة إلى ذلك، ينبغي للمهندس التحقق من أن الفيلم ملائم بشكل صحيح لشاشات التكثيف (كاسيتات الفيلم) المستخدمة بحيث يمكن الحصول على الكثافة الصحيحة للفيلم والجودةالمثلى للصورة. وبما أن سرعة الفيلم موسَّمة بوضوح على رزم الأفلام وتُدوَّن سرعة شاشة التكثيف عادة على الكاسيت، فإن مهندس الخدمة لا يحتاج إلا إلى أن يتحقق ببساطة من أنهما متلائمتان بشكل صحيح.

إضافة إلى ذلك، يجب أن يتم تخزين الفيلم في درجة حرارة مناسبة (٦٠ - ٨٠ درجة فهرنهايت) ورطوبة صحيحة (٣٠ ٪ - ٥٠ ٪ رطوبة نسبية) لضمان بقائه "جديداً" (أي في حالة جيدة). كما أن لجميع الأفلام تاريخ انتهاء صلاحية موسَّماً (مطبوعاً) بشكل واضح على علبة الفيلم وهو يشير إلى العمر المفيد للفيلم. ومرة أخرى، ينبغي للمهندس أن يتحقق من هذه الأمور أولاً عند تشخيص مشاكل التصوير.



الشكل رقم (٣٤). المنحنى المميز أو منحنى *H & D*.

تحميض الفيلم Film Processing

ثمة عامل رئيسي آخر يمكن أن يؤثر على جودة الصورة وهو تحميض الفيلم. إذا لم يكن جهاز التحميض يعمل بشكل صحيح فإن معايرة جهاز الأشعة السينية بشكل دقيق لن تكون ذات فائدة تذكر. **إن الحصول على**

صورة شعاعية جيدة مستحيل من دون جهاز تحميض أفلام يعمل بشكل صحيح. وبهذا المعنى فإن جهاز تحميض الأفلام هو "الحلقة الأضعف" في سلسلة التصوير وهو بالتالي سبب مشاكل تصوير كثيرة.

بالرغم من أن مهندس خدمة الأشعة السينية ليس بحاجة لأن يكون خبيراً في تخديم أجهزة تحميض الأفلام إلا أنه يجب أن يكون لديه فهم متين لعملية تحميض الفيلم وللآثار التي يملكها التحميض غير المناسب للفيلم على جودة الصورة. وهذا أمر مهم ؛ لأن العديد من طلبات الخدمة تحدث بعد ساعات العمل العادية حينما لا يكون هناك أحد لتأكيد صحة عمل جهاز التحميض. وعليه ينبغي لمهندس الخدمة أن يشعر بالراحة في القيام بفحوص طفيفة لجهاز تحميض الفيلم من أجل استبعاد "التحميض" كسبب لمشاكل التصوير. وبما أن جهاز التحميض واضح إلى حد ما في تصميمه فينبغي أن يكون واحدة من المناطق الأولى التي يتم فحصها عند تحديد وإزالة مشاكل التصوير.

يتم أخذ الفيلم بعد أن يكون قد تم تعريضه إلى داخل **غرفة مظلمة** حيث تتم إزالته من كاسيت الفيلم وإدخاله إلى جهاز تحميض فيلم آلي (أوتوماتيكي)[٢٤]. تلعب الغرفة المظلمة دوراً هامًّا في جودة الصورة، حيث إن أي **تسريبات ضوئية** في الغرفة المظلمة ستؤدي إلى جعل الفيلم ضبابيًّا مما يحط بشدة من جودة الصورة. إضافة إلى ذلك، يجب أن يحتوي **الضوء الآمن** الموجود في جميع الغرف المظلمة على المرشح الضوئي الصحيح بالنسبة لنوع الفيلم الذي يتم استخدامه. يجب أيضاً أن يكون للمصباح (اللمبة) داخل ضوء الأمان الاستطاعة الكهربائية الصحيحة، ويجب أن يكون الضوء على مسافة مناسبة من منطقة تلقيم الفيلم وإلا فإن ذلك قد يجعل الفيلم ضبابياً.

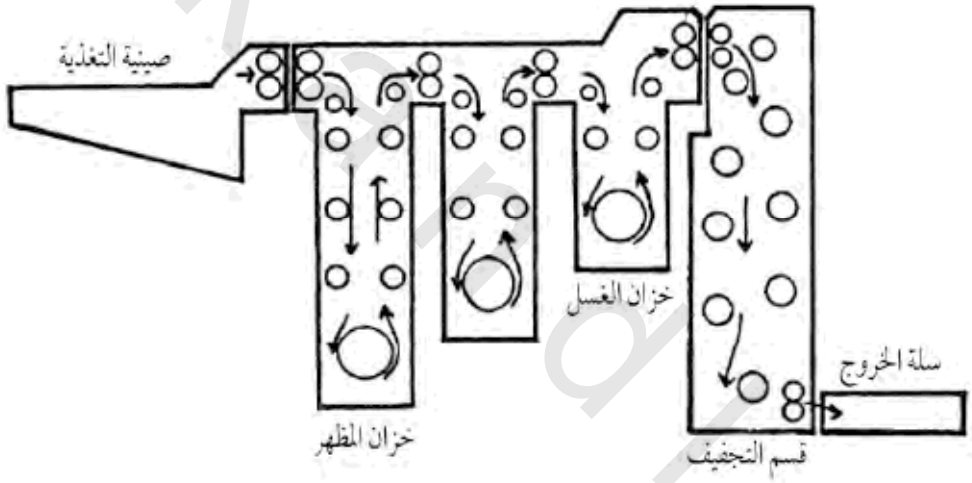
يستخدم كثير من أقسام الأشعة اليوم **وحدة تفريغ/إعادة تلقيم فيلم أوتوماتيكية تعمل في ضوء النهار** سوية مع جهاز تحميض الأفلام. تلغي هذه الوحدة الحاجة إلى غرفة مظلمة وبالتالي تقضي على جميع المشاكل ذات الصلة بالغرفة المظلمة. يتم في هذه الوحدات الآلية إدخال كاسيت الفيلم إلى قسم تلقيم الكاسيت حيث يتم سحبه أوتوماتيكياً إلى الجهاز ومن ثم يتم فتحه في منطقة لا يصلها الضوء (محكمة الإغلاق ضد الضوء) داخل هذه الوحدة. تتم إزالة الفيلم من الكاسيت ومن ثم تلقيمه أوتوماتيكياً في قسم جهاز التحميض. أخيراً، تتم إعادة تلقيم الكاسيت بفيلم جديد وقذفه بعد ذلك رجوعاً إلى فتحة التلقيم.

بمجرد دخول الفيلم جهاز تحميض الأفلام الآلي فإنه ينتقل من خلال سلسلة من البكرات إلى خزان الإظهار فخزان المثبت فخزان الماء فالمجفف على التوالي (انظر الشكل رقم ٣٥). يشكّل المُظهِر الصورة على الفيلم عن طريق إرجاع ترسبات الفضة المحايدة على الفيلم إلى فضة معدنية سوداء. عند مغادرة الفيلم خزان المظهر فإن الصورة بكاملها تكون مرئية على الفيلم. إن المراحل المتبقية من تحميض الفيلم تقوم فقط بجعل هذه الصورة دائمة. ولهذا

(٢٤) تستخدم أغلبية المرافق اليوم أجهزة تحميض أوتوماتيكية بسبب الوقت الذي توفره (٩٠ ثانية للتحميض الآلي مقابل ٢٠ دقيقة للتحميض اليدوي).

السبب فإن مرحلة الإظهار هي المرحلة الأكثر أهمية من مراحل تحميض الفيلم. إن أي مشاكل تحدث عند هذه النقطة ستظل غير قابلة للتغيير.

يجب أن يكون المُظهِر نشطاً (أي "جديداً") وأن يتم المحافظة عليه عند درجة الحرارة المحددة وإلا فإن جودة الصورة ستتأثر تأثراً شديداً. وفي الواقع ربما كانت درجة حرارة المُظهِر هي العامل الأكثر أهمية في تحميض الفيلم. إن تغيراً من بضع درجات في أي من الاتجاهين سيتسبب في تغيرات كبيرة في تباين الفيلم. إضافة إلى ذلك، يجب أن يبقى الفيلم في المظهر لفترة محددة من الزمن تسمى **زمن الغمر *(immersion time)*** وإلا فسيحدث إظهار غير صحيح. أخيراً، يجب أن يتم استبدال المظهر (أي **تجديده *(replenished)***) بمعدل ثابت (**معدل التجديد *(replenishment rate)***) للحفاظ على الكمية المناسبة من محلول الإرجاع.



الشكل رقم (٣٥). جهاز تحميض الأفلام الآلي.

تحدث أشياء عديدة عندما ينتقل الفيلم إلى خزان المثبت. يقوم المثبت المصنوع عادة من ثيوسلفات الأمونيوم (كبريت النشادر) بإيقاف عمل المظهر كيميائياً وبتثبيت الصورة على الفيلم بشكل دائم. وهو يقوم بذلك عن طريق إزالة جميع بلورات بروميد الفضة غير المتغيرة التي لم تتعرض للضوء، وفي المحصلة ينظف الفيلم. ولو تُركت هذه البلورات غير المتغيرة على الفيلم لتفاعلت مع الضوء المحيط وتسببت في خسارة فادحة في جودة الصورة على مر الزمن. يجب أن يبقى المثبت دائماً جديداً، وإلا فإنه لن يكبت المُظهِر بشكل كامل. يحتوي المثبت أيضاً على مواد مقسِّية (مصلِّبات) تحمي الفيلم من الخدوش التي قد تحدث من التعامل الروتيني.

يتم غسل (شطف) الفيلم بشكل شامل في خزان الغسيل بعد أن يكون قد انتهى من الانتقال خلال خزان المثبت. يتم الآن إزالة جميع المواد الكيميائية غير المستخدمة من الفيلم بحيث لا تحدث تفاعلات أخرى قد تؤثر على استقرار الصورة. إضافة إلى ذلك، يتم غسل الفيلم لإزالة **التشويشات الصنعية للفيلم** مثل التبقُّع. وعادة ما يتم إدخال مرشحات ماء في خط إمداد الماء للقضاء على التشويشات الصنعية للفيلم الناجمة عن الصدأ أو الأملاح في الماء.

يقوم المجفف بوظيفة تجفيف الفيلم بشكل تام بعد أن يكون قد تم غسله (شطفه). إذا لم تكن الأفلام جافة تماماً عند خروجها من جهاز التحميض فسوف تلتصق هذه الأفلام ببعضها بعضاً في الصينية الحاملة عند جانب الإخراج من جهاز التحميض وتكون بالنتيجة غير ذات جدوى للتشخيص.

إن للوقت الذي يبقى فيه الفيلم في كل خزان (أي زمن الغمر) علاقة بشكل مباشر بسرعة جهاز التحميض الآلي. يرتبط زمن الغمر بشكل مباشر بسرعة المحرك الذي يقود بكرات جهاز التحميض. يتم ضبط المحرك وفقاً لقوة ودرجة حرارة المظهر والمثبت. يتم في أجهزة التحميض الآلية الحالية مزج هذه المواد الكيميائية إلى محاليل قوية للغاية. يتم إضافة إلى ذلك في العادة الإبقاء على درجة الحرارة عند إعدادات مرتفعة للغاية (٩٤ درجة فهرنهايت على سبيل المثال). وهذا يسمح بتحميض سريع للغاية في ٩٠ ثانية مما يعد تحسيناً كبيراً مقارنة بالتحميض اليدوي.

ينبغي دائما مراقبة تحميض الأفلام عن طريق **برنامج لضبط الجودة *(quality control program)***. يضمن هذا البرنامج جودة صورة مثلى عن طريق مراقبة مدى الثبات في تحميض الفيلم. لا يستغرق القيام بضبط جودة جهاز تحميض أفلام سوى بضع دقائق وينبغي أن يتم على أساس أسبوعي. يتطلب هذا الإجراء أن يتم تعريض فيلم اختبار بواسطة "إسفين خطوة" ("step wedge") ذي كثافات متزايدة. يعطي الجهاز المستخدم لتوليد إسفين الخطوة (يسمى مقياس الحساسية (sensitometer)) سلسلة من التعريضات على الفيلم لها نسب معروفة فيما بينها . إن لمقياس الحساسية مصباحاً (لمبة) مُعايَراً ودارة مؤقت تعرِّض الفيلم بدقة. يتم من ثم "قراءة" الفيلم بواسطة **مقياس كثافة** يُظهر القيمة اللوغاريتمية التي تدعى كثافة الفيلم.

يتم استخدام نصف مدى خطوة على الشريط (أي عند 1.2 D) **كمؤشر للسرعة**. يتم رسم هذه الخطوة بيانيًّا وتُستخدم لتتبع سرعة جهاز التحميض. إن القيام بذلك يمكّن من ملاحظة أي اختلافات كبيرة على الرسم ومن ثم يمكن اتخاذ الإجراءات التصحيحية الملائمة. يتم أيضاً إضافة إلى ذلك أخذ قراءة مقياس الكثافة فوق خطوة السرعة ببضع خطوات (بالقرب من 2.2 D). يتم رسم نسبة هذه القراءة (**مؤشر التباين**) إلى مؤشر السرعة على الرسم البياني وتُستخدم للدلالة على تباين الفيلم. تتم مراقبة أحوال جهاز التحميض باستمرار عن طريق مشاهدة قراءة التباين على الرسم البياني.

هناك قراءة ثالثة شديدة الأهمية أيضاً من أجل ضبط الجودة تسمى **الضباب الإجمالي** (أو **القاعدة زائد الضباب**). وتحديداً فإن فيلماً صافياً (أي فيلماً غير معرَّض تم تمريره عبر جهاز التحميض) سيعطي قراءة على مقياس الكثافة لها قيمة ما فوق الصفر. تعود هذه القراءة إلى المواد المستخدمة في الفيلم نفسه. وفي العادة فإن أول خطوة على شريط مقياس الحساسية تكون غير معرَّضة وبالتالي فإن قياس الضباب الإجمالي يتم هنا. إذا ما تم تسجيل قيمة الضباب الإجمالي ومراقبتها بشكل منتظم فإن أي زيادة في ضبابية الفيلم ستكون ملحوظة على الفور ويمكن تصحيحها قبل أن يتم فحص المريض. وفي العادة فإن تسرباً ضوئيًّا ضمن الغرفة المظلمة أو ضمن الكاسيت في حد ذاته هو السبب في زيادة ضبابية الفيلم.

مشاهدة الصورة Viewing the Image

عندما ينبثق فيلم الأشعة السينية المكتمل التحميض من جهاز التحميض فإنه يكون جاهزاً للمشاهدة. إنها المرة الوحيدة هنا في مناقشتنا لجودة الصورة التي يجب أن نُدخِل فيها **عنصراً ذاتياً (غير موضوعي)**. والحقيقة هي أن من يقوم بتفسير الصورة الذي هو في العادة طبيب الأشعة هو من يقرر في نهاية المطاف ما إذا كانت الصورة جيدة أم لا. إن صورة تُعتبر جيدة في نظر مهندس خدمة قد لا تكون مقبولة على الإطلاق في نظر طبيب الأشعة. وبما أن إدراك كل شخص هو فريد من نوعه وخاص بذلك الشخص فإن العامل الذاتي (غير الموضوعي) يمكن أن يكون مصدراً للإزعاج عند التعامل مع مشاكل جودة الصورة.

ولهذا السبب فإنه ينبغي القضاء على أي متغيرات يمكن أن تغيّر من إدراك الصورة. وتحديداً فإنه يجب الحفاظ على شروط المشاهدة عند مستوى مقبول حتى يتم ضمان أنه يمكن رؤية جميع جوانب الصورة بوضوح من دون ارتباك (distraction). ينبغي علاوة على ذلك أن يتم توحيد شروط المشاهدة هذه قياسيًّا بحيث يبدو الفيلم الذي تتم مشاهدته في مستشفى ما نفسه عند مشاهدته في منشأة مختلفة.

يقوم طبيب الأشعة بمشاهدة أو "قراءة الفيلم" على **صندوق مشاهدة** (أو **جهاز الإضاءة *(illuminator)***). إن جهاز الإضاءة في الأساس عبارة عن صندوق بشاشة غير شفافة على الجانب الأمامي. توفر الأضواء الفلورسنتية الواقعة داخل صندوق المشاهدة الإضاءة الخلفية للشاشة. تتم إضاءة الفيلم بأضواء الفلورسنت عند وضع الفيلم على الشاشة غير الشفافة.

إن الغرض الرئيسي من صندوق المشاهدة هو توفير إضاءة (محيطية) منتظمة بشدة ولون محددين عبر كامل منطقة المشاهدة. إن صندوق مشاهدة يوفر إضاءة غير منتظمة أو منخفضة سيؤثر بشكل مباشر على إدراك طبيب الأشعة للصورة. وهذا صحيح بشكل خاص فيما يخص التصوير الشعاعي للثدي حيث تصبح الإضاءة المناسبة

حاسمة للغاية. إن التوجيهات الخاصة بإنارة صندوق المشاهدة محددة بمتوسط الإنارة هي ٤٠ قدم- لامبرتس أو ١٤٠٠شمعة لكل متر مربع.

يجب أيضاً أن تكون إضاءة الغرفة قابلة للتحكم بها في منطقة المشاهدة بحيث أنه يمكن خفت الأضواء فوق الرأسية إلى مستوى مقبول أو إغلاقها تماماً. إضافة إلى ذلك، ينبغي التخلص من أية مصادر للإضاءة التناثرية؛ لأنها يمكن أن تؤثر على مَظهَر الصورة. ينبغي من الناحية التقنية أن تكون الغرفة مظلمة بما فيه الكفاية بحيث تصبح عيون طبيب الأشعة **مكيَّفة ظلامياً**. يمكن للعين البشرية في ظل هذه الظروف أن تميز الاختلافات الطفيفة في شدة الضوء على الفيلم بشكل أفضل.

يبقى العنصر الذاتي (أي الإدراك البشري) عاملاً هاماً حتى مع شروط المشاهدة المحافَظ عليها عند مستوى قياسي (معياري). يجب على مهندس الخدمة معرفة المعايير التي يستخدمها طبيب الأشعة في تحديد ما يصنع صورة جيدة. ينبغي في الواقع استثمار الكثير من الوقت في هذا المجال؛ لأن الحكم النهائي على أجهزة التصوير الشعاعي (وخدمة الأجهزة) يكمن في الكيفية التي يدرك بها طبيب الأشعة الصور الناتجة في غرفة الأشعة السينية ويحبها. إن الغرض من تركيب ومعايرة أجهزة التصوير الشعاعي في النهاية هو إنتاج صورة جيدة. إن رأي طبيب الأشعة في جودة الصور الناتجة هو ما يحدد في نهاية المطاف نجاح أو فشل غرفة التصوير الشعاعي.

obeikandl.com