نشرة الوقاية الإشعاعية وأمان المصادر المشعة

السنة الثالثة عشر. العدد الأول. تموز – ٢٠٢٤

نشرة إعلامية نصف سنوية يعدّها قسم الوقاية والأمان في هيئة الطاقة الذرّية

دليل الأمان رقم 18 لعام 2023 حول تطبيق مفهوم رفع الرقابة

application of the concept of clearance general safety guide No. GSG-18 2023

ذكرت معايير الأمان الأساسية حول الوقاية من الإشعاع وأمان مصادر الإشعاع GSR Part 3 الصادرة عن الوكالة الدولية للطاقة الذرية مفاهيم الاستبعاد exclusion والإعفاء exemption ورفع الرقابة clearance لتحديد مدى الرقابة التنظيمية في حالات التعرض المخطط لها. في حين يتم استخدام الاستبعاد والإعفاء كجزء من عملية تحديد مدى تطبيق نظام الرقابة التنظيمية، فإن المقصود برفع الرقابة هو تحديد المواد التي تكون خاضعة للرقابة التنظيمية ويمكن اقصاؤها من هذه الرقابة. ولهذا، وفرت معايير الأمان الأساسية GSR Part 3 قيما من حيث تركيز النشاط (Bq/g) الذي يمكن استخدامه لرفع الرقابة عن الكميات الكبيرة من المواد الصلبة. وفرت المعايير قيما للنويدات المشعة ذات المنشأ الطبيعي والنويدات المشعة ذات المنشأ الصنعي.

تم اشتقاق القيم المقدمة للنويدات المشعة الصنعية باستخدام سلسلة من سيناريوهات التعرض المحدودة، وهي سيناريوهات متحفظة ونماذج رياضية لحساب الجرعات الفردية للنويدات المشعة. ولذلك، فإن التوصيات الواردة في دليل الأمان رقم 18 لعام 2023 تهدف إلى ضمان إجراءات آمنة وقوية للامتثال لمستويات رفع الرقابة من أجل الحفاظ على مستوى عال من الثقة لمتلقي ومستخدمي المواد التي تم رفع الرقابة عنها والحفاظ على أية جرعات إشعاعية عند مستوى منخفض أو مهمل، وتعكس التوصيات أيضاً استخدام النهج المتدرج. كما يهدف دليل الأمان إلى تقديم توصيات بشأن تطبيق مفهوم رفع الرقابة للمواد (بما في ذلك النفايات المشعة المرتبطة بالأنشطة المخطط لها) والأجسام والمباني التي سيتم رفع الرقابة التنظيمية في إطار حالات التعرض المخطط لها، كما يغطي دليل الأمان هذا الإطار التنظيمي لرفع الرقابة وعملية رفع الرقابة واشتقاق مستويات رفع الرقابة وتطبيق رفع الرقابة على المواد الصلبة والسائلة والغازات ورفع الرقابة العام ورفع الرقابة المحدد باستخدام مستويات رفع الرقابة للنشاط الإشعاعي والتلوث السطحي. ويوفر دليل الأمان هذا أيضاً تطبيق قيم الفرز screening values لإعادة التدوير أو التخلص من المواد والنفايات الناتجة من إجراءات المعالجة بعد حدوث حالة طوارئ نووية أو إشعاعية.

يمكن استخدام دليل الأمان الحالي بشكل أساسي من قبل الحكومات والهيئات التنظيمية والمشغلين لمساعدتهم في تطبيق المتطلب 8 من معايير الأمان الأساسية حول الوقاية من الإشعاع وأمان مصادر الإشعاع GSR Part 3 فيما يتعلق برفع الرقابة عن المواد والأجسام.

تنطبق التوصيات الواردة في دليل الأمان رقم 18 لعام 2023 على المنشآت التي تستخدم المواد المشعة أو تصنعها أو تعالجها أو تخزنها. وتشمل أنواع المرافق التي تم النظر فيها محطات الطاقة النووية ومفاعلات الأبحاث ومرافق دورة الوقود النووي الأخرى ومرافق إدارة النفايات المشعة والمنشآت الصناعية والمرافق الطبية والمرافق البحثية والمرافق التعليمية والمسرعات. تنطبق التوصيات الواردة أيضاً على الصناعات التي تعالج المواد التي تحتوي على النويدات المشعة ذات المنشأ الطبيعي وعلى منتجات هذه الصناعات مثل المنتجات التي تحتوي على اليورانيوم و/أو الثوريوم، ومن أمثلة العمليات الصناعية التي تستخدم أو تولد المواد المشعة التي تحدث بشكل طبيعي إنتاج النفط والغاز وتصنيع أصباغ ثاني أكسيد التيتانيوم واستخراج العناصر الترابية النادرة والسبائك وإنتاج المعادن مثل الألومنيوم والحديد والصلب. وتنطبق التوصيات أيضاً على إدارة المواد الناشئة عن أنشطة معالجة التلوث أو من حالات ما بعد الطوارئ.

يغطي دليل الأمان رقم 18 لعام 2023 ما يلي:

1. مسؤوليات جهة التشغيل؛ أي المستثمر أو المرخص له.

2. مسؤوليات الهيئة التنظيمية.

3. جميع الخطوات ذات الصلة بعملية رفع الرقابة، بما في ذلك التوصيف.

4. تحديد تكوين النويدات المشعة حيث يوجد أكثر من واحد.

5. النويدات المشعة وتقنيات أخذ العينات والقياس والرصد.

6. إدارة عملية رفع الرقابة.

7. تركيز النشاط (Bq/g) والتلوث السطحي (Bq/cm^2).

8. المستويات.

9. تطبيق مفهوم رفع الرقابة النوعي.

10. اشتقاق مستويات رفع الرقابة محددة من حيث تركيز النشاط والتلوث السطحي.

11. اتباع نهج كل حالة على حدة فيما يتعلق برفع الرقابة المحدد والذي يمكن استخدامه في الحالات التي لا تنطبق فيها مستويات رفع الرقابة العامة.

12. متوسط رفع الكتل والمساحات.

13. رفع الرقابة عن السوائل.

14. رفع الرقابة عن الغازات.

15. السيناريوهات التي يقوم عليها حساب مستويات رفع الرقابة والآثار المترتبة على تطبيقها.

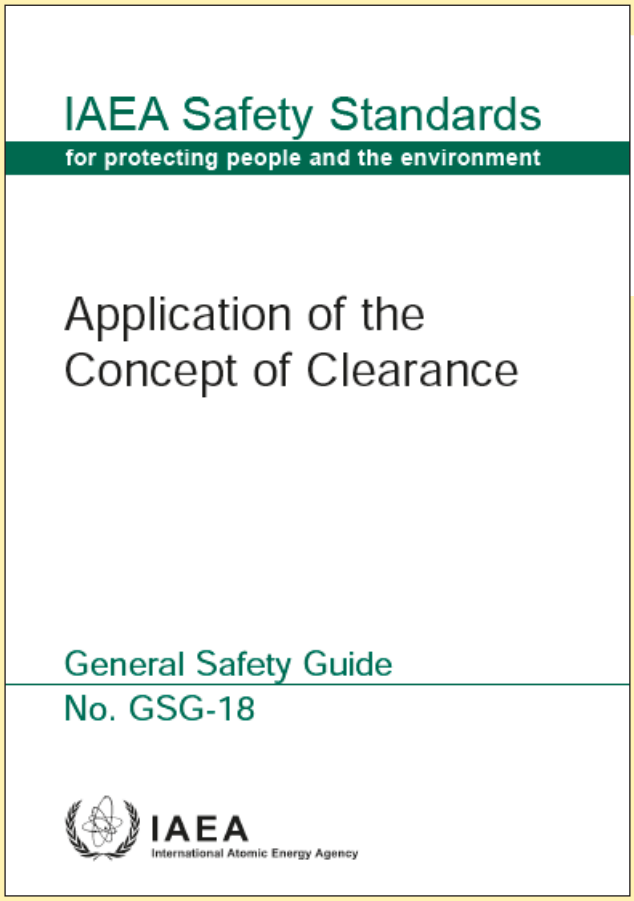
16. إشراك الأطراف المعنية.

17. رفع الرقابة عن المواد والنفايات المرتبطة بالأنشطة المخطط لها في المنطقة المتأثرة بحالة طوارئ نووية أو إشعاعية.

يتألف الدليل من ثمانية أقسام، يقدم القسم 2 نظرة عامة على الإطار التنظيمي لرفع الرقابة ومعايير رفع الرقابة العامة، ومسؤوليات الأطراف المختلفة، ويقدم القسم 3 توصيات بشأن الجوانب العامة لرفع الرقابة مثل العملية الشاملة وإدارتها، في حين يقدم القسم 4 توصيات بشأن رفع الرقابة عن المواد الصلبة، بما في ذلك مستويات تركيز النشاط والتلوث السطحي ومتوسط الكتل والمساحات وتنفيذ قياسات رفع الرقابة والنظر في حالات عدم اليقين، والخلط والتخفيف، إضافة إلى النظر في التحفظ المطبق في اشتقاق مستويات رفع الرقابة، ويقدم القسمان 5 و6 توصيات بشأن رفع الرقابة عن السوائل والغازات على الترتيب. جرى تقديم توصيات بشأن رفع الرقابة المحدد في القسم 7، في حين قدم القسم 8 توصيات بشأن مشاركة الأطراف المعنية وتعزيز الفهم العام فيما يتعلق برفع الرقابة.

قدم الملحق الأول معلومات عن نماذج قياس الجرعات لاشتقاق قيم محددة للنويدات المشعة لرفع الرقابة استناداً إلى قياسات التلوث السطحي، وقدم الملحق الثاني أمثلة على قيم التلوث السطحي لرفع الرقابة العامة، في حين قدم الملحق الثالث أمثلة على قيم تركيز النشاط لرفع الرقابة المحددة. وعرض المرفقان الرابع والخامس أمثلة على تطبيق رفع الرقابة في المرافق الطبية الصغيرة وعلى النهج الوطني لرفع الرقابة عن الخردة المعدنية، ويقدم المرفقان السادس والسابع معلومات عن اختيار النفايات للتخلص منها في مطامر النفايات. ويقدم المرفق الثامن معلومات عن طريقة الفحص المطبقة بعد الحادث الذي وقع في محطة فوكوشيما دايتشي للطاقة النووية لإعادة تدوير المواد والتخلص من النفايات، ويتناول المرفق التاسع الطريقة المحافظة المطبقة في استخلاص مستويات رفع الرقابة في تنفيذ عملية رفع الرقابة ككل.

يمكن تحميل الدليل من الرابط:
https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB2058_web.pdf.



دور الهندسة الطبية في تعزيز الوقاية الإشعاعية في التطبيقات الإشعاعية الطبية

تطورت تقنيات التصوير الإشعاعية الطبية التشخيصية بشكل متسارع خلال القرن الحالي، ولاسيما الانتقال إلى استعمال الكواشف الإشعاعية الرقمية والاعتماد على طرائق معالجة الصور والذكاء الصنعي فيها. ويقدر عدد الصور الإشعاعية الطبية المنتجة سنوياً بحوالي خمسة مليارات صورة إشعاعية مما يجعل عملية الحد من التعرضات الإشعاعية غير المبررة المرافق لها وتطبيق معايير الوقاية الإشعاعية أمراً غاية في الأهمية في المشافي والمراكز الطبية الإشعاعية. إضافة إلى الدور الأساسي لمسؤولي الوقاية الإشعاعية في المشافي في متابعة تنفيذ برامج الوقاية الإشعاعية وكذلك مهمة الفيزيائيين الطبيين السريريين في الاستثمار الأمثل لأجهزة التصوير الإشعاعية، يقوم المهندسون الطبيون بمتابعة الحالة الفنية لأجهزة التصوير الطبية التشخيصية بشكل مستمر مما ينعكس إيجاباً على جودة الصور الإشعاعية الناتجة من جهة والتأكد من مقدار الجرعة الإشعاعية المناسبة لتوليدها. وبالتالي يمكن أن يساهم المهندسون الطبيون وفقاً لطبيعة عملهم في تعزيز الوقاية الإشعاعية في التصوير الإشعاعي من خلال النقاط التالية:

تصميم ووضع الدراسات الإنشائية للمراكز الصحية والمشافي:

يجب الأخذ بالحسبان المكان المناسب للممارسة الإشعاعية في المشفى من حيث المكان والمساحة والعلاقة مع أقسام المشفى الأخرى ولاسيما أقسام الإسعاف عند تصميم أقسام التصوير الإشعاعي، ويجب أن يحقق التصميم المقترح الانسيابية في حركة المريض والعاملين وعموم الناس ويضمن تأمين الوقاية الإشعاعية لهم. كما يجب أن يوفر المساحات الملائمة لتجهيزات التصوير الإشعاعية وفقاً لتخصصها، فمثلاً تكون غرف القثطرة القلبية والتصوير المقطعي المحوسب ذات مساحة أكبر من غرف التصوير الإشعاعي البسيط، كما أنه لا بد من الأخذ بالحسبان التطورات المستقبلية الممكنة من حيث إمكانية إضافة أجهزة جديدة أو ازدياد في عدد المرضى المراجعين.

أما فيما يتعلق بالتدريع المطلوب للتطبيقات الطبية الإشعاعية فيجب أن تؤخذ الحسابات التدريعية المطلوبة لغرف أقسام الأشعة المختلفة بالحسبان أثناء تصميم الدراسة الإنشائية بما يسمح بإمكانية اختيار نوع التدريع المطلوب عبر إضافة سماكات خرسانية أو استعمال الصفائح الرصاصية الإضافية وفقاً للحاجة والكلفة.

طلب التجهيزات التكنولوجية:

يجب أن تراعي دفاتر الشروط الفنية عند طلب توريد الأجهزة الشعاعية الطبية المختلفة النقاط التالية:

- أن تكون أجهزة التصوير الإشعاعي متوافقة مع معايير الجودة العالمية المعتمدة.
- أن تتضمن إضافة لأجزاء الجهاز الأساسية جميع القطع والأدوات والوسائل المتعلقة بالوقاية الإشعاعية. ونذكر منها:

- الستائر الرصاصية الأرضية والمعلقة والسقفية في أجهزة التصوير التدخلية والتنظيرية.
- وجود مقاييس جرعة إشعاعية مدمجة بأنبوب الأشعة.
- وجود مقاييس مسح إشعاعي في الطب النووي.
- أدوات ضبط الجودة اليومي والروتيني للصورة الإشعاعية كمكافئات الجسم للمعايرة اليومية في جهاز التصوير المقطعي.

- التأكد من تطابق التدريع المنفذ مع ما هو مطلوب للجهاز الإشعاعي أثناء التركيب وفق المخططات الموضوعة لذلك.

استثمار الأجهزة الطبية الإشعاعية:

يقوم المهندسون الطبيون بعد تركيب الأجهزة الطبية الإشعاعية بالإشراف عليها ضمن خطة الصيانة الوقائية والدورية بما يضمن استمرار عمل الجهاز بالكفاءة المطلوبة وفيما يتعلق بالوقاية الإشعاعية يمكن الإشارة هنا إلى النقاط التالية:

- يجب تدريب المشغلين من الأطباء والفنيين الشعاعيين على الاستثمار الصحيح والآمن للجهاز من أجل الاستفادة من جميع الميزات الحديثة المتوافرة ومنها بروتوكولات تخفيض الجرعة الإشعاعية المقدمة ومعالجة الصور الرقمية المدمجة والذكاء الصنعي.
- مراجعة متطلبات التدريع الموجودة والمطلوبة مع مسؤول الوقاية الإشعاعية عند استبدال الجهاز الإشعاعي بآخر أو عند استبدال أو تغيير أحد مكوناته الأساسية ولاسيما أنبوب الأشعة أو حتى عند القيام بصيانة التمديدات الكهربائية أو شبكة الغازات أو المياه.
- المساهمة في الإشراف على تنفيذ برنامج ضمان جودة الوقاية الإشعاعية في أقسام الأشعة.

تحقيق الوقاية الإشعاعية الفردية للمهندسين الطبيين خلال تنفيذ عمليات الصيانة:

تجب ملاحظة أخطار التعرضات الإشعاعية المحتملة عند القيام بصيانة الأجهزة التي تتعامل مع المصادر المشعة المفتوحة أو المغلقة أو في المخابر الحارة في الطب النووي وأقسام المعالجة الإشعاعية ومناقشة ذلك مع مسؤول الوقاية الإشعاعية. وفي حال احتمالية التعرض للإشعاع بشكل مهني يمكن طلب الانضمام لبرنامج المراقبة الإشعاعية الفردية. ومن المفيد أيضاً رفع مستوى المعرفة بالوقاية الإشعاعية في التطبيقات الطبية عبر اتباع الدورات التدريبية وورشات العمل التي تجريها هيئة الطاقة الذرية دورياً.

وقد جرت الإشارة إلى دور الهندسة الطبية في تعزيز الوقاية الإشعاعية في أقسام الأشعة ضمن المحاضرة التي ألقيتها كمتحدث رئيسي في المؤتمر الدولي الثالث للهندسة الطبية والحيوية والذي عقد في جامعة دمشق في الفترة من 28 حتى 30 نيسان 2024 بعنوان: طرائق الوقاية الإشعاعية في التصوير الإشعاعي التشخيصي والهجين.

تعزيز الأمن الحاسوبي لأغراض الأمن والأمان النووي

إن للأمن والأمان النوويين الهدف نفسه والرؤية نفسها، ومما حماية الأفراد والمجتمعات والبيئة من الآثار الضارة التي يمكن أن تنجم عن الإشعاع المؤين. وصحيح أن الأنشطة التي تعالج الأمان النووي تختلف عن تلك التي تعالج الأمن النووي، ولكن لا بد من وضع نهج متسق لإدارة أوجه الترابط بين تلك الأنشطة، ومن المهم الحرص على تنفيذ التدابير المتعلقة بالأمن والأمان النوويين بطريقة تضمن الاستفادة من فرص التعزيز المتبادل التي يمكن أن تتاح من دون الإخلال بالأمن أو الأمان.

ومن المعروف أن النظم والتدابير الخاصة بالأمن المادي في المرافق النووية والإشعاعية ضرورية لحماية المعدات والنظم والأجهزة المخصصة عادةً للحفاظ على الأمان النووي وحمايتها من أي عمل تخريبي متعمد يمكن أن يؤدي إلى إطلاق انبعاثات تكون لها عواقب إشعاعية.

وفي التصاميم والتطبيقات القديمة، كان ينبغي عادة حماية نظم الأمان من خلال تدابير خاصة بالحماية المادية فقط. ولكن اتجاهات التكنولوجيا التي نشهدها اليوم والتي تنتشر على نطاق واسع وتزداد باستمرار تعزز إلى مدى بعيد دور الأنظمة الرقمية في ضمان كفاءة العمليات في المرافق النووية والإشعاعية، وخاصة عندما ترتبط بتلك المسؤولة عن وظائف المرفق المهمة مثل نظم الأجهزة والتحكم بما يشمل تلك التي تستخدم لأغراض الأمن والأمان معا .

ويتطلب ضمان أمن هذه النظم مراقبة صارمة لتحديد مواقع الضعف وردع الدخول غير المصرح به إلى أنظمة التحكم الرقمية الذي قد يؤدي إلى الإخلال بوظائف الأمن أو الأمان. وفي هذا المجال تزداد أهمية موضوع الأمن الحاسوبي على صعيد الترابط بين الأمن والأمان وتتم معالجته باعتباره جزءاً من مجالات رئيسية أخرى تشمل البنية الأساسية الرقابية وترتيبات الهندسة المتعلقة بتصميم المنشآت النووية وتشييدها ومراقبة الدخول إلى المنشآت النووية وتصنيف المصادر المشعة والتصرف في المصادر المشعة والمواد المشعة بما يشمل الوقود المستهلك ونواتج النفايات المشعة والكشف عن المصادر غير الخاضعة للرقابة واستعادتها وخطط التصدي للطوارئ وخطط الطوارئ.

وعلى المستوى الوطني يجب أن يراعي واضعو الأنظمة سياسات الأمن والأمان النوويين عند وضع اللوائح الخاصة بالأمن الحاسوبي وإسناد المسؤوليات بشكل واضح، إضافة إلى القيادة وإدارة المخاطر وهي أسس الترابط بين الأمن والأمان ولها الأهمية نفسها فيما يخص تنفيذ تدابير فعالة لضمان الأمن الحاسوبي، ولكن في الوقت نفسه يمثل الأمن الحاسوبي بطبيعته تحدياً عالمياً.

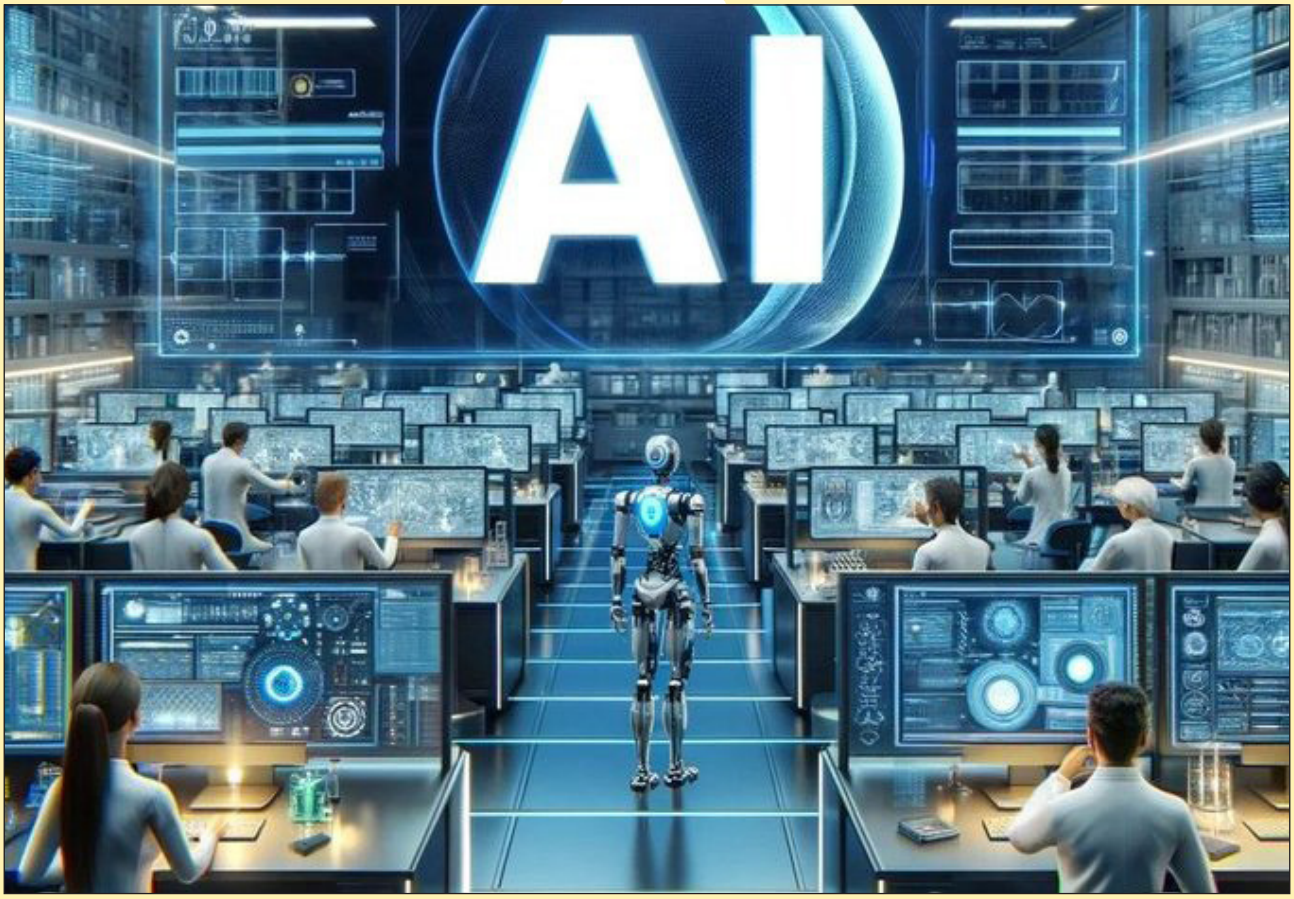
وفي هذا السياق هناك اعتراف واسع النطاق بأهمية التعاون الدولي والدور المركزي الذي تؤديه الوكالة. ويسلط الضوء على الترابط بين الأمن والأمان والأمن النووي في معايير الأمان وإرشادات الأمن النووي الصادرة عن الوكالة، وتعمل الوكالة منذ نحو عقد من الزمن على تطوير مجموعة شاملة من أدوات المساعدة في المجال التقني المتمثل في أمن المعلومات والأمن الحاسوبي وعلى توفيرها للبلدان، وذلك بهدف دعمها في اتخاذ تدابير فعالة من أجل

التصدي للهجمات السيبرانية التي يمكن ان تؤثر في الأمن النووي.

إضافة إلى ذلك تقدم الوكالة الدعم من أجل إيجاد أوجه تنسيق بين النظم والتدابير الخاصة بالأمن والأمان النوويين لكي تتكامل الخطوات المتخذة في المجالين بدلاً من أن تسبب إحداها خللاً بالأخرى.

وبنظرة للمستقبل سوف تواصل أوجه التقدم التكنولوجي تعزيز أهمية الأمن الحاسوبي المتين لأغراض الأمن والأمان النوويين على مستوى الدول وعلى مستوى المرافق، فالتكنولوجيات واعدة من حيث حل بعض المشاكل وتحسين العمليات التي يتم التحكم فيها رقمياً غير أنها تفرض في الوقت نفسه تحديات جديدة لا بد من معالجتها، وبالمثل يتم النظر حالياً في التكنولوجيات اللاسلكية وتكنولوجيات الأتمتة ويتم استخدامها اليوم في تصاميم المفاعلات النووية المتقدمة مثل المفاعلات النمطية الصغيرة والمفاعلات الصغرية، وفي ظل التطور المستمر والسريع للتهديدات السيبرانية يتطلب الدعم الذي تقدمه الوكالة إلى الدول الأعضاء لتلبية احتياجاتها في مجال الأمن الحاسوبي لأغراض الأمن والأمان النوويين قدرة على التحرك السريع بهدف مواكبة جميع الفرص والتحديات الجديدة التي تنتج من هذه التكنولوجيات الجديدة، وذلك من أجل توفير أعلى كفاءة في المعايير وأفضل الممارسات والتدريبات والمبادئ التوجيهية وهذا هو الذي تسعى إليه إدارة الأمان النووي في الوكالة على تحقيقه باستمرار.

(مقالة مترجمة للمؤلفة السيدة ليدي إيفرار نائبة المدير العام ورئيسة إدارة الأمن والأمان النوويين في الوكالة الدولية للطاقة الذرية).



الطرائق البيولوجية لقياس جرعة التعرض الإشعاعي

يكون الإنسان في جميع مراحل حياته معرضاً للإشعاع المؤين بسبب تطبيقاته المختلفة. تصنف الأشعة على أنها مؤينة بناء على طاقة الفوتون المميزة، وتشمل: أشعة-X وأشعة-γ وجسيمات-α، وجسيمات-β، والنيوترون. للأشعة المؤينة عدد من التطبيقات مثل: التشخيص الطبي وعلاج السرطان وتوليد الطاقة و... إلخ. ولا مفر من أن يتعرض البشر لكمية محددة من الإشعاع أثناء استخدام الأشعة المؤينة لتنفيذ تلك التطبيقات المفيدة. ومع ذلك، وبسبب دعم الأشعة المؤينة والآثار الجانبية المبلغ عنها، فإن استخدام تطبيق الإشعاع يتم التحكم به وقياسه ومراقبته بشكل حاسم من قبل الهيئات التنظيمية المختلفة. وهذه الهيئات هي الوكالة الدولية للطاقة الذرية IAEA واللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع ICRP ومنظمة الصحة العالمية WHO ولجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري UNSCEAR التي تقوم بتقييم مخاطر الإشعاع وتقديم التوصيات وتعزيز الاستخدام الآمن للتكنولوجيات الإشعاعية التي تتطور بسرعة وتزداد تعقيداً. إضافة إلى التعرض المهني، يمكن أن يسبب التعرض العرضي أو الإشعاعي أو النووي آثاراً صحية خطيرة، حيث يمكن أن يتعرض عدة مئات أو آلاف من الأشخاص للإشعاع. أظهرت كوارث ذرية عديدة منذ تشيرنوبل إلى فوكوشيما دايتشي بوضوح الحاجة الماسة إلى مؤشرات حيوية مناسبة لتقييم الجرعة الإشعاعية الفردية حيث لا تتوافر مقاييس الجرعات الفيزيائية، والتي يمكن أن تكون مفيدة للإدارة الطبية/السريرية المناسبة.

يطلق على تقدير الجرعة التي يتلقاها الفرد أثناء التعرض العرضي أو التعرض المفرط المشتبه به أو التعرض المجزأ أو التعرض الجزئي للجسم باستخدام مؤشر بيولوجي اسم القياس الإحيائي (البيولوجي) للجرعات. يعد قياس الجرعات بالطرائق البيولوجية طريقة معتمدة دولياً لتحديد كمية التعرض وإجراء تقييم الجرعة بعد الاشتباه بوجود تعرض مفرط للإشعاع. وعلى النقيض من الطرائق الفيزيائية، لا يتم تسجيل الجرعة نفسها ولكن تتم دراسة تأثيرات الجرعة على المستوى الخلوي أو الجزيئي. ويأخذ القياس البيولوجي للجرعات بالحسبان الاختلافات في الحساسية الإشعاعية بين الأفراد عند تقييم آثار الإشعاع على البشر.

يمكن لتقدير الجرعة بيولوجياً أن يكمل قياس الجرعات الفيزيائية. ويمكن، في حالة عدم توافر القياس الفيزيائي للجرعات، استخدامه أيضاً كطريقة مستقلة. ولهذا الغرض، يستخدم العلماء «علامات أو واسمات markers» بيولوجية معينة يمكن اكتشافها مثل بصمات الأصابع في خلايا الدم بعد التعرض للإشعاعات المؤينة. وتعد الأضرار المحرضة في صبغيات نواة الخلية، والتي تسمى العلامات الوراثية الخلوية، مناسبة بشكل خاص.

لوحظ أن تسجيل العلامات السريرية المختلفة مثل تعداد خلايا الدم ووظائف الجهاز العصبي المركزي والقيء والإسهال والثعلبة كمتلازمة إشعاعية حادة باستخدام القياس الإحيائي للجرعات. ومن شأن نتائج التقييم الأولية هذه أن تلقي الضوء على نطاق جرعة التعرض والإدارة العلاجية لتلك الحادثة. إضافة إلى ذلك، فإن القياس الإحيائي للجرعات يوجه ويوفر التقييم للفحص والإدارة العلاجية وتقييم المخاطر على المدى الطويل. ويمكن قياس التغيرات الناجمة عن الإشعاع في الجزيئات الحيوية باستخدام عدد من المؤشرات البيولوجية نذكر منها: الوراثية الخلوية، الطفرات، التعبير الجيني، تعديلات البروتين مثل γ-H2AX ، الوسائط الأيضية، الإشارات الالتهابية، الجينوميك genomics، النسخ transcriptom-ics (فحص التغييرات الكاملة في النسخ عبر مجموعة متنوعة من الظروف البيولوجية)، البروتيوميك proteom-

ics (البروتيوميك هو دراسة التفاعلات والوظيفة والتكوين وبنية البروتينات وأنشطتها الخلوية، يوفر البروتيوميك فهماً أفضل لبنية ووظيفة الكائن الحي من علم الجينوم). من بين هذه المؤشرات البيولوجية المذكورة آنفاً تعدّ المؤشرات الحيوية الوراثية الخلوية (مقايسات الصبغيات ثنائية القسيم المركزي والنوى الصغيرة) الأكثر حساسية وموثوقية بين المؤشرات البيولوجية المستخدمة لتحديد جرعة الإشعاع الممتصة أثناء حالات الطوارئ الإشعاعية. يحدث بعد تعرض الخلايا للإشعاع كسور جدائل DNA التي يتم إصلاحها بعد ذلك من خلال أنظمة إصلاح DNA. يمكن أن تؤدي الكسور التي لم يتم إصلاحها أو التي تم إصلاحها بشكل سيئ إلى تغييرات غير طبيعية في بنية الصبغيات وتشكيل صبغيات ثنائية المركز Dicentric Chromosomes (DC)، تحتوي على قسيمين مركزيين بعد اندماج اثنين من الصبغيات التالفة، وتؤدي إعادة ترتيب الصبغي المكسور إلى الانتقالات. بينما تشتمل النوى الصغيرة على صبغيات كاملة أو أجزاء صبغية لم يتم دمجها في النواة الوليدة أثناء انقسام الخلية، وتكون محاطة بغلاف نووي. أما في حالة التعرض السابق للإشعاع (قبل عدة سنوات)، فيستخدم ما يسمى بالانتقالات الصبغية المتماثلة كعلامات إشعاعية. تكون هذه الصبغيات مشابهة تماماً للصبغيات غير المتضررة، ولديها قسيم مركزي واحد فقط. ويمكن إظهار الانتقالات الصبغية المتماثلة في مجهر الفلورة على أنها صبغيات ثنائية اللون باستخدام تقنية «FISH» (التهجين المتألق على الموقع).

يكون تعداد هذه الصبغيات غير الطبيعية المختلفة مرتبطاً بالجرعة، مما يوفر علاقة قوية بين الجرعة والاستجابة. تتمثل استراتيجية زيادة إنتاجية قياس الجرعات البيولوجية في تطوير شبكات بين مختبرات القياس البيولوجي المتاحة على مستوى العالم. تم التعرف على العديد من الشبكات لتحسين إنتاجية تقدير الجرعة، مثل شبكة القياس البيولوجي للجرعات في أمريكا اللاتينية وخطة الاستجابة الوطنية للقياس البيولوجي للجرعات في كندا وشبكة الصبغيات في اليابان وشبكة الجرعة البيولوجية BioDoseNet والشبكة الأوروبية للقياس البيولوجي ومجموعة الناتو للقياس البيولوجي والمجموعة الأوروبية لقياس الجرعات الإشعاعية ومجموعة الصين ومجموعة كوريا الجنوبية للمقايسات الوراثية الخلوية.

وكما ذكر آنفاً، تم إثبات الأهمية البارزة للطرائق البيولوجية في تقدير الجرعة بعدد من الحوادث الإشعاعية (تشيرنوبل، غويانا، فوكوشيما)؛ حيث كانت الطرائق الفيزيائية في تلك الحالات غائبة أو غير فعالة عملياً في قياس الجرعات وتقييم حالة المرضى. وقد أتت المعلومات الضرورية للأطباء من المعلومات البيولوجية.

ويجب، بصورة عامة، أن يفي المقياس البيولوجي للجرعة المثالي بعدة متطلبات:

1. عتماد جيد على الجرعة في المجال 30-20 ميلي سيفرت للتعرض الحاد و50 ميلي سيفرت للتعرض المزمن.
2. يجب أن يكون الأثر البيولوجي المختار نوعياً وناتجاً عن التعرض الإشعاعي.
3. يجب أن يسمح بتسجيل البيانات الخاصة عن التعرض الإشعاعي خلال فترة قصيرة بعد التعرض.
4. يجب أن يكون الأثر ثابتاً أو أن يعرف تطوره مع الزمن.
5. يجب أن يسمح بكشف التعرض الجزئي ويحدد موضعه تماماً.
6. يجب أن يسمح بتطبيق هذا النظام عند التعرض الإشعاعي المجزأ أو المزمن.
7. يجب أن تكون نوعيات الأشعة المختلفة قابلة للكشف بهذه التقانة وبشكل خاص المصدرات الإشعاعية الداخلية.
8. يجب أن تكون المادة البيولوجية المدروسة بهذه الطريقة متوافرة بسهولة ودون اللجوء إلى تدخل راض.
9. يجب أن يكون التقييم سهلاً أو قابلاً للقراءة على الأجهزة.

لا يوجد حالياً نظام مثالي معروف يفي بكل المتطلبات المذكورة آنفاً والمشكوك فيه فيما إن كان مثل هذا النظام سيصبح متوافراً. ومهما يكن، فإن بعض النظم تكون متتامة، لذلك فإن استخدام طرائق عديدة قد يزودنا بالمعلومات المطلوبة.

أما أهم أكثر النظم استخداماً حالياً كمؤشرات بيولوجية للأذى الإشعاعي فهي:

1. نظم تتحرى التغيرات المحرضة بالإشعاع على المستوى الجزيئي: رنين الدوران الالكتروني electron spin resonance (ESR)، والمؤشرات الكيميائية الحيوية biochemical indicators.
2. نظم كشف التغيرات المحرضة بالإشعاع على المستوى الوراثي الخلوي: الزيوغ الصبغية والنوى الصغيرة والتكثف الصبغي المبكر.
3. نظم تتحرى التغيرات المحرضة بالإشعاع على المستوى الخلوي: تكوُّن الدم وتكون النطاف والشعر.
4. نظم أخرى: التخطيط الدماغي الكهربائي electroencephalography، الطفرات في موقع غليكوفورين glycophorin A والذي ينتج عنه كريات حمراء شاذة، حركية الرحلان الكهربائي للخلايا، ارتباط الليكتين lectin إلى الأغشية الخلوية، الخلايا المولدة للدم، المؤشرات المناعية، التعبير الجيني، التعديلات فوق الجينية، تعديلات البروتينات. تحتاج هذه الطرائق إلى مزيد من الأبحاث الإضافية والمركزة. أما فيما يتعلق بالمؤشرات

المناعية فمن المشكوك فيه فيما إذا كانت قابلة للتطبيق بشكل عام بسبب وجود عوامل مثبطة (جهد، أمراض، العمر، التطبيب، الاضطرابات الفيزيولوجية).

يعدّ الصبغي ثنائي المركز، في لمفاويات الدم المحيطي، حالياً المؤشر البيولوجي الأكثر موثوقية وحساسية في حالة التعرض الحاد والحديث (أسابيع - أشهر) للإشعاعات المؤينة. نادراً ما تحدث الصبغيات ثنائية المركز تلقائياً (حوالي صبغي واحد ثنائي المركز/1000 خلية)، ولذلك تعدّ الصبغيات ثنائية المركز مميزة بدرجة عالية للإشعاع المؤين. من أجل استخدامها كطريقة لتقييم الجرعة، فإن الخطوة الأولى هي تحديد تواتر الصبغيات ثنائية المركز في عينة الدم للشخص المحتمل تعرضه، ثم يتم تقدير الجرعة عن طريق منحنيات جرعة - استجابة، والتي يشار إليها أيضاً باسم المنحنيات العيارية. يمكن استخدام هذه الطريقة في نطاق الجرعة من 0.1 إلى حوالي 5 غراي. يتم في مخابر القياس البيولوجي للجرعة عادة تحليل 1000 خلية لإعادة بناء الجرعة الفردية. وتعدّ هذه الطريقة على المستوى الدولي المعيار الذهبي لقياس الجرعات البيولوجية. وبما أن حوالي نصف الخلايا ذات الصبغيات ثنائية المركز تُفقد أثناء انقسام الخلايا، فإن هذه العلامة غير مناسبة لتحديد جرعة التعرض للإشعاع في الماضي.

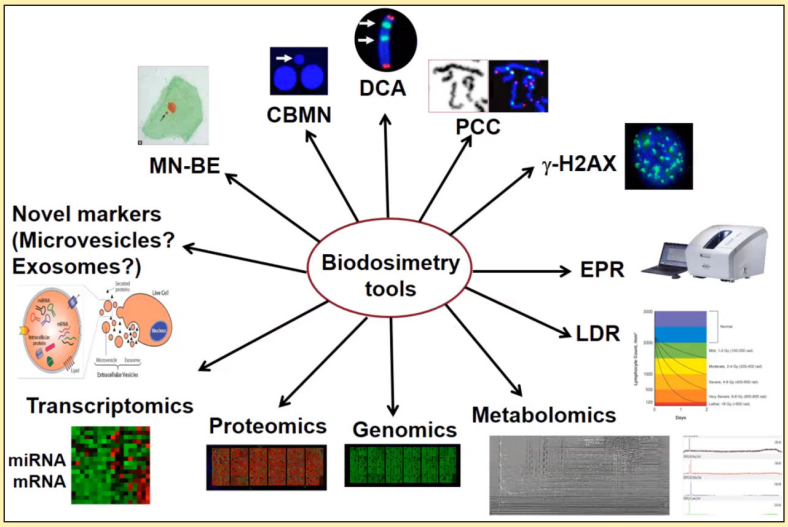
تتمتع لمفاويات الدم المحيطي بميزة كبيرة مقارنة مع أنظمة الخلايا الأخرى، فهي على عكس العديد من خلايا الأنسجة الأخرى تدور في الجسم بأكمله وتكون جميعها في المرحلة نفسها من دورة الخلية عند التعرض للإشعاع وكذلك في وقت سحب الدم؛ أي أن لديها الكمية نفسها من DNA، لذا ينتج عن ذلك النوع نفسه من الضرر في الصبغيات.

بالكاد يتغير تواتر الضرر الوراثي الخلوي خلال الأسابيع الأولى بعد التعرض للإشعاع. ستعكس الدراسة الوراثية الخلوية لخلايا الدم من البزل الوريدي المستخدمة للتحليل الصبغي بشكل عام تعرض كامل الجسم للإشعاع في يوم أخذ عينات الدم. إضافة إلى ذلك، فإن جمع عينات الدم وشحنها في ظل الظروف العادية لا يمثل مشكلة. في حالة التعرض للإشعاع في الماضي، يمكن إجراء تقدير الجرعة في ظل ظروف محددة باستخدام الزيوغ الصبغية المستقرة.

من أجل تقدير الجرعة، عندما يكون تواتر الضرر الوراثي الخلوي المرصود في الدم المحيطي أعلى إحصائياً بشكل ملحوظ من قيمة التحكم (التواتر التلقائي)، يتم استخدام منحنيات جرعة-استجابة لتقدير الجرعة بيولوجياً. يمكن عن طريق هذه المنحنيات تكميم تواتر العلامة الإشعاعية وتحويلها إلى جرعة إشعاعية. يعتمد تقدم المنحنى على جودة الإشعاع ونقطة النهاية البيولوجية المستخدمة: الصبغيات ثنائية المركز والانتقالات المتماثلة أو النوى الصغيرة، ويعتمد أيضاً على ما إذا كان الجسم كله أو جزء فقط من الجسم قد تعرض للإشعاع؛ لذلك من أجل التحديد الدقيق للجرعة من الضروري الحصول على معلومات مفصلة بشأن حالة الحادث. يجب مقارنة نتائج المؤشرات البيولوجية التي تعتمد على العمر في حالة النواة الصغيرة أو عمليات النقل المتماثلة مع نتائج الأشخاص من العمر نفسه.

تعتمد جميع النظم المذكورة آنفاً على خبرة بشرية محددة، ربما باستثناء تحديد ثنائيات الجسيم المركزي في اللمفاويات البشرية. لايعدّ هذا بالضرورة ميزة سيئة في الطرائق نفسها، فهذه المشكلة يمكن التغلب عليها على الأقل فيما يتعلق ببعض التقنيات في المستقبل، ولكنها سيئة بالنسبة لطرائق يجب استخدامها كمقياس بيولوجي للأشعة الآن؛ لذلك نحتاج إلى دراسات إضافية مركزة تسمح بتقييم أفضل للآثار عند البشر. يمكن حالياً تحديد الجرعة الإشعاعية بعد تعريض خارجي وحاد لكامل الجسم بشكل دقيق نسبياً باستخدام المؤشرات البيولوجية. ولكن تنشأ بعض الصعوبات في حالة التعرض للمنابع الداخلية مع تعرض مزمن ومجزأ، ومع توضُّع دقيق لتعرض جزئي للجسم. ويبدو حالياً، أن جمع عدة طرائق أكثر معقولية على سبيل المثال: قياس ESR للتحديد الأولي للجرعة ثم الأضرار الوراثية الخلوية في اللمفاويات من أجل تقييم جرعة أكثر دقة وكمحدد للتعرض الجزئي للجسم وقطر الشعرة من أجل التوضيح الدقيق في حالة التعرض الجزئي للجسم، هذا لا يعني أن كل النظم الأخرى المذكورة سابقاً تعدّ عديمة القيمة، ولكن تطبيقها سوف يعتمد بشكل رئيسي على حالة محددة أثناء الدراسة.

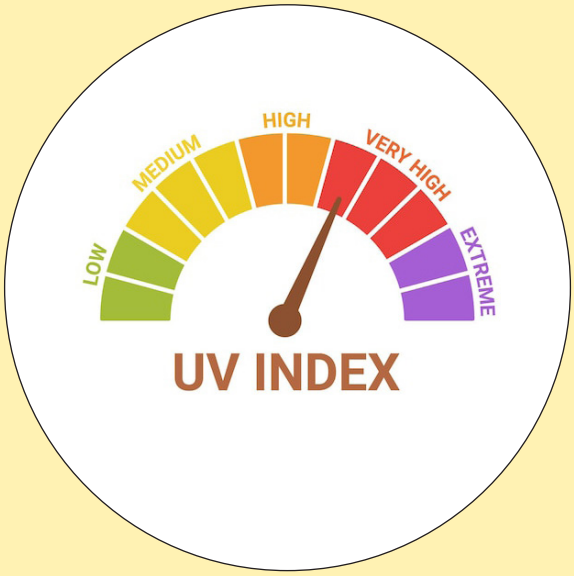
أخيراً لا بد من الإشارة إلى أن لكل طريقة من الطرائق البيولوجية المستخدمة لقياس الجرعة الإشعاعية عدداً من الحسنات وبعض المساوئ، والتي سنلقي الضوء عليها في نشرات قادمة.



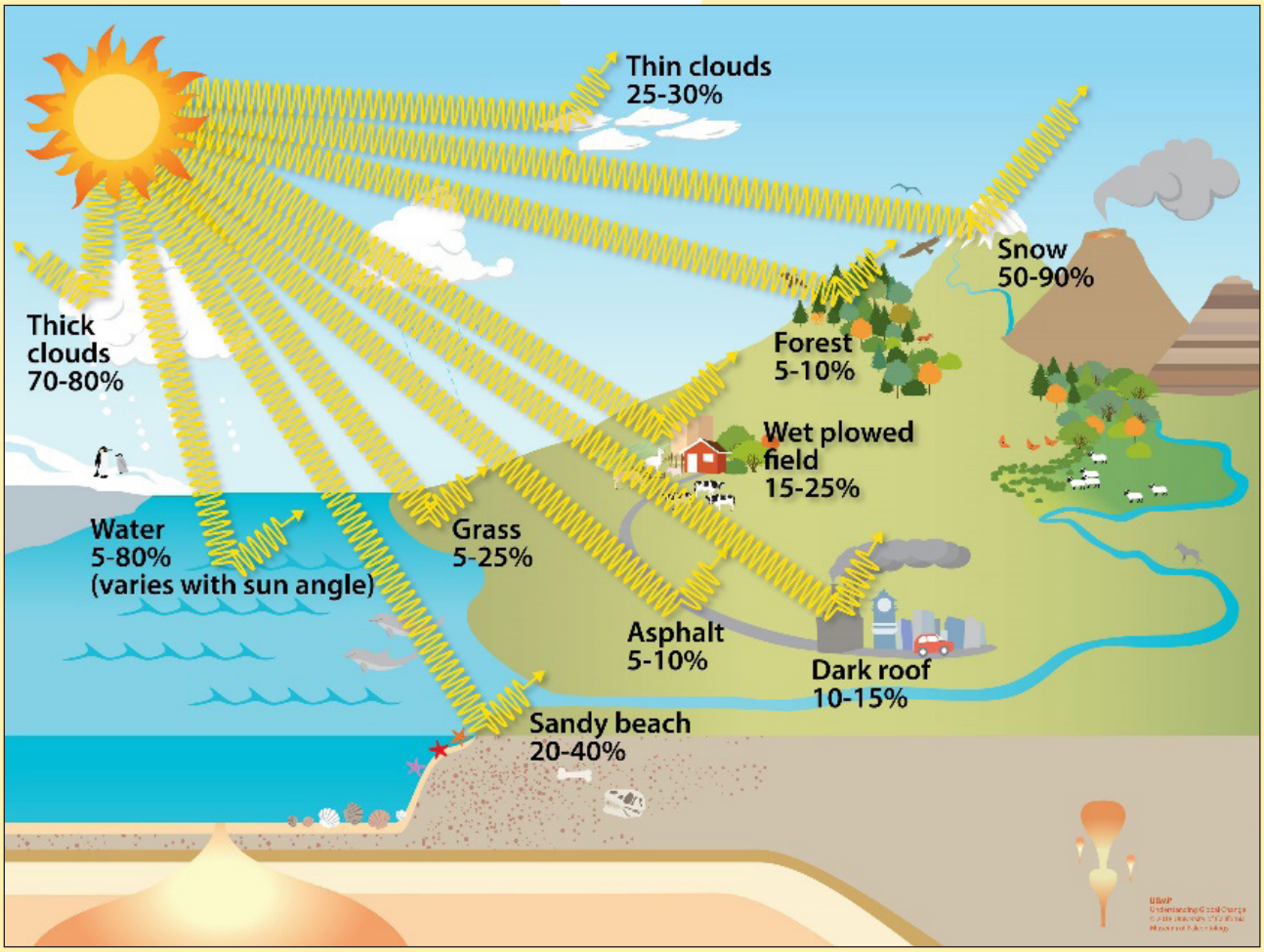
أهمية الوقاية من مخاطر الأشعة فوق البنفسجية الشمسية

من منا لم يفكر، مع قدوم فصل الصيف من كل عام، بمخاطر التعرض للأشعة الشمسية؟ فالشمس هي أهم المصادر الضوئية الطبيعية للأرض في المجالات الطيفية الأكثر أهمية في حياة البشر، وهي الأشعة تحت الحمراء الحرارية والضوء المرئي والأشعة فوق البنفسجية. يقوم الغلاف الجوي للأرض بحماية سطحها ومن يسكن عليه من مخاطر الأشعة فوق البنفسجية 280–200) UVC نانومتراً) ومخاطر الجزء الأكثر ضرراً من الأشعة 320–280) UVB نانومتراً)، وفي الوقت نفسه يسمح بمرور الجزء الأكبر من طيف الأشعة فوق البنفسجية UVB وكامل الأشعة UVA 400–320) نانومتراً). إن الأشعة فوق البنفسجية الشمسية التي يمكن أن ترد إلى سطح الأرض تقع في المجال الطيفي بين 290 و400 نانومتر بنسبه 3.5% تقريباً من الأشعة UVB وUVA مقابل 96.5% من الأشعة الضوئية المرئية وتحت الحمراء.

في الصيف، حيث تكون أشعة الشمس عمودية على القسم الشمالي من الكرة الأرضية، يكون التعرض أعظمياً خلال فترة الظهيرة بين الساعة 10:00AM والساعة 4:00PM. ومن أهم المؤشرات البسيطة ذات المدلول المهمّ هو مقدار طول خيال الجسم، فكلما كان خيال الجسم أقصر كان ورود أشعة الشمس أقرب إلى الوضع العمودي وصار من الضروري أخذ الحيطة والحذر. ولا بد هنا من الإشارة إلى أن الجو السديمي والرطوبة العالية لا تحمي من الأشعة فوق البنفسجية، فبخار الماء يمتص الأشعة تحت الحمراء ولا يمتص الأشعة فوق البنفسجية مما يرفع احتمال حدوث الحروف الشمسية وضربة الشمس دون الإحساس بالحر. وكذلك الأمر، عند السباحة في أحواض المسابح أو على شواطئ البحار والأنهار حيث تخترق الأشعة فوق البنفسجية الماء حتى عمق 50 سم، وبالتالي برودة الماء وغمر الجسم تحت سطحه مباشرة لا يقي من ضرر الأشعة فوق البنفسجية الشمسية وخطر الإصابة بالحروق الشمسية. إن حساب زمن التعرض المسموح لكل شخص أمر معقد، فهو لا يعتمد على شدة الأشعة وزمن التعرض فقط ووإنما يرتبط أيضاً بعدد من المعاملات الأخرى التي تختلف من شخص لآخر مثل لون الجلد وطبيعته، التعرض المسبق المتدرج، مستحضرات الحماية المستخدمة، الحالة الصحية والأدوية الطبية المؤقتة والدائمة إن وجدت، إضافةً إلى الموقع الجغرافي والارتفاع عن سطح البحر وحالة الطقس والانعكاسات في البيئة المحيطة ووقت التعرض وغيرها.



تعتمد بعض الجهات المهتمة عدداً من المؤشرات لتوعية عموم الناس لمخاطر التعرض الشمسي أهمها مؤشر الأشعة فوق البنفسجية الشمسية (Solar Ultraviolet Index (SUVI)) انظر إلى الشكل الذي ينشر غالباً عبر وسائط الإعلام ضمن نشرات الطقس؛ فالقيمتان 1 و2 تشيران إلى التعرض المنخفض، والقيم 3 و4 و5 تشير إلى التعرض المتوسط والقيمتان 6 و7 تشيران إلى التعرض المرتفع، والقيم 8 و9 و10 تشير إلى التعرض المرتفع جداً والقيمة 11 فما فوق تشير إلى التعرض الخطر. وبالتالي، كما يقال: «إن درهم وقاية خير من قنطار علاج»، وإن استعمال مستحضرات الوقاية الشمسية ذات معاملات حماية مناسبة، والنظارات الشمسية والقبعات أمر مهم، ولكن الأهم هو تجنب التعرض للأشعة الشمسية وقت الذروة (10:00AM4:00–PM) وبشكل أساسي خلال فصلي الربيع والصيف.



استعمال أشعة الليزر في علاج مشاكل الشعر

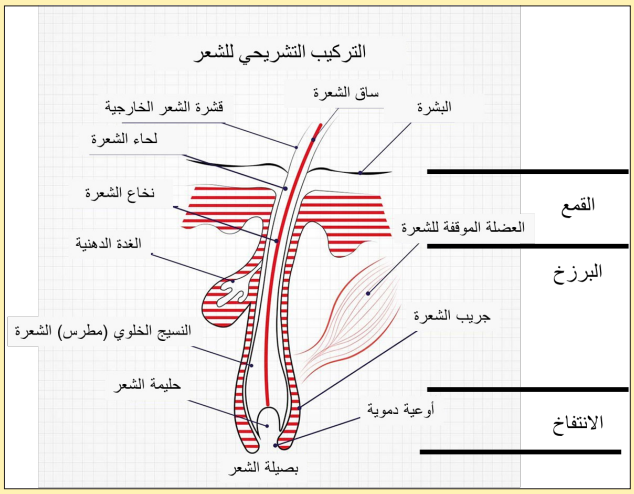
اليوم، وبعد ما يقارب من 30 عاماً من أول ظهور لتقنية إزالة الشعر بالليزر عام 1995، أصبح استعمال أشعة الليزر في علاج مشاكل الشعر، تساقط الشعر أو إزال m الشعر غير المرغوب به، أمراً شائعاً في مجتمعنا، حتى انتشرت أجهزة تجارية لإزالة الشعر بالليزر للاستعمال المنزلي. إن مجرّد التمعّن بِكِلا المشكلتين المُعالَجَتيْن يحفّز الأسئلة التالية:

كيف يمكن استعمال أشعة الليزر للوصول إلى نتيجتين متضادتين بالأثر؟ وما هي المحاذير المرافقة أثناء المعالجة؟

للإجابة على السؤالين السابقين يجب بدايةً النظر في الأساس المرتبط بأثر أشعة الليزر على الشعر.

بيولوجيا الشعر:

يتكون جريب الشعرة من ثلاث مناطق: القمع، البرزخ، وبصيلة الشعر. الجزء السفلي من بصيلات الشعر يقع أسفل موضع العضلة الموقفة (الناصبة) للشعرة، ويتضمن بصيلة الشعر والحليمة الجلدية. تعدّ هذه المنطقة ذات أهمية كبيرة في عملية إزالة الشعيرات بالليزر. في المتوسط، يبلغ عمق البصيلة حوالي 4 مم من سطح الجلد، وهو عمق اختراق كبير تتطلبه الأنظمة المعتمدة على ضوء الليزر، وتتكون بصيلة الشعر من خلايا مصفوفة إنباتية جنباً إلى جنب مع الخلايا الصباغية المتناثرة، وتتغذى الحليمة الجلدية الموجودة في قاعدة البصيلة عن طريق مجرى الدم الذي يحمل التغذية لإنتاج شعر جديد. توجد خلايا الغلاف الجلدي وخلايا الجذر الخارجية للبشرة في بصيلة الجريب. تمتد هذه الأنواع من الخلايا إلى البرزخ والقمع لبصيلات الشعر وتؤدي دوراً مهماً في نمو الشعر.



الشكل 1: البنية التشريحية لجريب الشعر

ينمو شعر الإنسان بنمط دوري. تتكون الدورة من مرحلة النمو anagen phase يليها تدهور متوسط لجزء من الجريب، المعروف باسم مرحلة التراجع catagen phase ثم مرحلة الراحة telogen phase وهي فترة لا يحدث فيها أي نمو.

تختلف مدة مرحلة النمو بشكل كبير اعتماداً على العمر والجنس (على سبيل المثال: يبلغ طور النمو في شعر الفخذ عند الرجال 54 يوماً مقابل 22 يوماً عند النساء)، والمكان والهرمونات والحساسيات الوراثية الكامنة. وتستمر مرحلة التراجع بشكل عام لمدة 3 أسابيع في حين أن مرحلة الراحة تستمر عادة حوالي 3 أشهر. في أي وقت، تكون غالبية بصيلات الشعر 85–80% في مرحلة النمو والبصيلات المتبقية إما في مرحلة التراجع 2% أو مرحلة الراحة 15–10%.

لإزالة الشعر بشكل فعّال يجب أن يؤدي الليزر إلى إتلاف واحد أو أكثر من مراكز نمو الشعر، ويجب معالجة منطقة الانتفاخ والحليمة الجلدية ومصفوفة الشعر في دورة النمو. خلال مرحلة النمو يحدث إنتاج الميلانين ويصبح جزءًا من الجريب المتنامي، كما أنه في مرحلة النمو يمكن

أن يؤثر الضرر على البنية المسؤولة نظرياً عن تكوين الشعر. خلال مرحلة الراحة، تتحرك الحليمة الجلدية للأعلى نحو منطقة الانتفاخ وتحفز بداية مرحلة النمو. في مرحلة النمو النشط هذه تتحرك الحليمة للأسفل بعيداً عن الكتلة المنتفخة وتتراجع خلايا مصفوفة الشعر خلال مرحلة التراجع. وهكذا، اعتماداً على مرحلة دورة الشعر، تختلف المسافة بين منطقة الانتفاخ والحليمة الجلدية مع اختلاف عمق الحليمة الجلدية داخل الأدمة. تمثل هذه الهياكل أهدافاً لتلف بصيلات الشعر، كما أن الحركة النسبية بين هذه الهياكل تخفف من حساسيتها للحرارة الضوئية لشعاع الليزر ذي الطول الموجي الثابت. وبالتالي، لتحقيق إزالة الشعر على المدى الطويل، من الضروري تدمير الهياكل المسؤولة عن نمو الشعر: الانتفاخ والبصيلة.

المبدأ الفيزيائي لإزالة الشعر باستعمال الليزر:

إزالة الشعر بالليزر هي عملية متعددة العوامل تتضمن تفاعلاً حرارياً ضوئياً معقداً ضمن مصفوفة البشرة والأدمة بهدف التسبب في تلف بصيلات الشعر مع الحفاظ على البشرة. وبالتالي، فإن استئصال بصيلات الشعر بواسطة مصدر ضوء الليزر هو تابع لبارامترات الليزر المختلفة (مثل الطاقة وحجم البقعة وزمن التشعيع ومعدل التكرار) والأنسجة (معاملات الامتصاص والتشتت والكثافة والسعة الحرارية والتوصيل الحراري).

الليزرات المستعملة لهذا المجال هي ذات الأطوال الموجية ما بين 700–1400nm، لأن هذا المجال يوفر أكبر امتصاص للميلانين وأقل تداخل مع الأصباغ الأخرى، مثل الهيموجلوبين.

يمتص الميلانين الطاقة الضوئية لليزر، ويحولها إلى حرارة، ومن ثم يقوم بتوزيعها، مما يسبب أضراراً جانبية للكتلة المنتفخة في الخلايا. يؤثر التدفق ومدة النبضة على كمية الحرارة الممتصة. تحدد التدفق، أو كثافة الطاقة (J/cm2)، درجة حرارة الذروة التي يتم الوصول إليها داخل الهيكل المستهدف، بينما تمثل مدة النبضة الزمن الذي يقضيه عند درجة حرارة معينة.

في ظل هذه الظروف، من الممكن استهداف الهياكل بشكل انتقائي (مثل بصيلات الشعر) مع الحفاظ على الهياكل أو الأنسجة المحيطة. الموقع المستهدف للتدمير الانتقائي لبصيلات الشعر يمكن أن يكون الميلانين الداخلي أو الصبغة الخارجية.

إن صبغة الميلانين هي ما يمنح البشرة لونها، وبعض الأشخاص لديهم كمية من الميلانين في بشرتهم أكثر من غيرهم؛ لذلك عند التفكير في العلاج بالليزر، فإن نوع البشرة يلعب دوراً مهماً، لأن الليزر المستعمل يرتبط بنوع البشرة، فليست كل أنواع الليزر مناسبة للاستعمال على جميع أنواع البشرة. حتى وقت قريب، كانت غالبية علاجات الليزر، وفوائد هذه التقنية قد اقتصرت إلى حد كبير على الأفراد ذوي الشعر الداكن والبشرة الفاتحة نسبياً، حيث تميل تكنولوجيا الليزر القديمة إلى إصابات لذوي البشرة الداكنة.

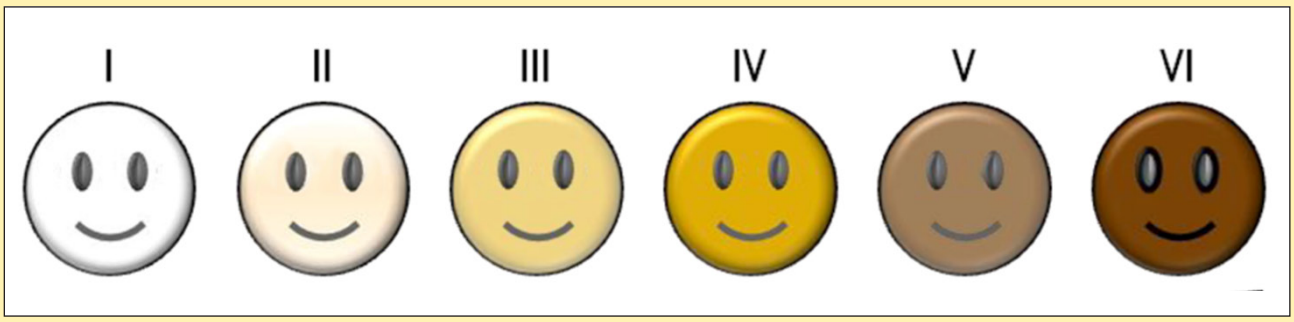
تعتمد التقنية المستخدمة لإزالة الشعر بالليزر (أو في الأنظمة المعتمدة على الضوء) على مبدأ التحلل الحراري الضوئي الانتقائي. وفقاً لهذا المبدأ، سيحدث التدمير الحراري الانتقائي للهدف إذا تم تسليم طاقة كافية بطول موجي يمتصه الهدف جيداً خلال فترة زمنية أقل من أو تساوي زمن الاسترخاء الحراري thermal relaxation time أو TRT للهدف. إن TRT هو الزمن الذي يستغرقه الهيكل الهدف ليبرد إلى نصف درجة حرارة الذروة ونقل الحرارة إلى الهياكل المحيطة. إذا كانت مدة النبضة أطول من TRT، تتبدد الحرارة من حامل اللون قبل إحداث ضرر حراري لا رجعة فيه، أما إذا كانت مدة النبضة أقصر بكثير من TRT، فقد يحدث ضرر مفرط. يحدث الضرر الحراري الأكثر انتقائية عندما تقترب مدة النبضة من TRT لحامل الصبغة المستهدف، عند ذلك لن يتمكن حامل الصبغة من تشتيت حرارته، ويقتصر الضرر الحراري على الهدف.

الضرر الأمثل للبصيلات:

إن أكثر المتغيّرات أهمية هو وجود جذع الشعرة المصطبغة داخل الجلد الذي يعمل بمثابة حامل للصبغة، لذلك تكون البصيلات في طوري النمو والراحة حساسة للعلاج بالليزر. نظراً لأن البصيلة في طور الراحة عالية في الأدمة، فإنه من المنطقي أن يكون هذا الوقت هو الأمثل للعلاج. إذا لم يكن الضرر دائماً خلال هذه الدورة، تنتقل البصيلات إلى مرحلة الراحة عند تساقطها. نظراً لأن مدة دورة الشعر تختلف باختلاف المكان من الجسم، يتم تكرار العلاجات عادةً عندما يكون هناك موجة من إعادة نمو الشعر السريع أو ما بين 4 و8 أسابيع.

السلامة ولون البشرة:

على الرغم من توافر العديد من أجهزة الليزر بأطوال موجية مختلفة لإزالة الشعر، إلا أن استعمالها لذوي البشرة الداكنة يمثل العديد من التحديات بسبب وجود الميلانين في البشرة. المرشح المثالي لإزالة الشعر هو شخص ذو بشرة فاتحة وشعر داكن اللون. إن ذوي البشرة الداكنة الذين لديهم نسبة عالية من الميلانين في البشرة معرضون لآثار جانبية ضارة تتراوح من الألم الفوري والاضطرابات الصباغية إلى التندب. على الرغم من اختيار الأطوال الموجية وعرض النبض المناسب للصبغة المستهدفة، هناك امتصاص للضوء عن طريق الميلانين الموجود في البشرة (أنواع البشرة بحسب سلّم فيتسباتريك من الرابع إلى السادس).



الشكل 2: سلّم فيتسباتريك لأصناف لون البشرة

يمكن أن تكون أجهزة الليزر لإزالة الشعر ذات الطول الموجي القصير (755–694 nm) ناجحة جداً في أنواع البشرة الفاتحة. ومع ذلك، قد تكون إزالة الشعر بالليزر لدى الآسيويين صعبة، وعادةً ما تكون هناك حاجة إلى علاجات متعددة للحصول على علاج فعّال.

إن مصطلح «إزالة الشعر» قد يحمل معاني مختلفة بالنسبة للمريض والطبيب ولسوق صناعة الأجهزة. يجب التمييز بين «إزالة الشعر بشكل دائم» و«تقليل الشعر بشكل دائم». يتم تعريف الأول على أنه انخفاض ثابت وطويل الأمد في تعداد الشعر الذي ينمو مرة أخرى بعد نظام العلاج، والذي قد يشمل عدة جلسات. يشير تساقط الشعر الكامل إلى عدم إعادة نمو الشعر؛ أي أن عدد الشعرات التي يتم إعادة نموها ينخفض إلى الصفر. قد يكون تساقط الشعر الكامل مؤقتاً أو دائماً. عادة ما يؤدي العلاج بالليزر إلى تساقط الشعر بشكل كامل ولكن مؤقت لمدة 3–1 أشهر، يليه تساقط جزئي ولكن دائم للشعر. يبدو أن تأخر النمو المؤقت يحدث بسبب التلف الذي يحدثه الليزر في مرحلة الراحة، كما يبدو أن تساقط الشعر الدائم يرتبط بتصغير بصيلات الشعر.

أجهزة الليزر المستعملة:

ليزر الياقوت (694 nm): نظرًا لامتصاص الميلانين العالي عند 694 nm، فإن ليزر الياقوت يكون مفيداً للغاية للأشخاص ذوي البشرة الفاتحة (أنواع بشرة فيتسباتريك من الأول إلى الثالث) وذوي الشعر الداكن.

ليزر ألكسندريت (755 nm): يسمح ليزر ألكسندريت بعمق أكبر للاختراق، مما يجعله آمناً نسبياً للأفراد ذوي البشرة الداكنة (أنواع بشرة فيتسباتريك من الأول إلى الرابع). ومع ذلك، فإن امتصاص الميلانين يكون أقل إلى حد ما عند الطول الموجي للألكسندريت (755 نانومتراً) مقارنة مع ليزر الياقوت.

ليزر ديود (800 nm): بسبب الطول الموجي الأطول والتبريد النشط وعرض النبض الأطول يمكن علاج الأفراد ذوي البشرة الداكنة بشكل أكثر أماناً باستخدام هذا الليزر. بشكل عام، وجد أن ذوي البشرة الداكنة (V–VI) يتحملونه بشكل أفضل مقارنة بالليزر الياقوتي.

ليزر Nd:YAG (1064 nm): إن الامتصاص الضعيف للميلانين عند هذا الطول الموجي إلى جانب جهاز تبريد البشرة يجعل من ليزر Nd:YAG ذي النبض الطويل خياراً علاجياً آمناً لذوي البشرة الداكنة (III–VI). ومع ذلك، بسبب انخفاض امتصاص الميلانين الجريبي، يجب استعمال تدفقات عالية جداً (50 100– J/cm2) لتلف بصيلات الشعر المصبوغة.

ضوء نابض مكثف (550–1200 nm)(Intense Pulsed Light (IPL: يوفر هذا النظام إشعاعاً واسع النطاق وغير مترابط بأطوال موجية تتراوح بين 550–1200 nm. يتم استعمال أحد المرشحات الأربعة (590 nm، 615 nm، 645 nm أو695 nm) لحجب الأطوال الموجية الأقصر. بشكل عام، يتم استعمال المرشحات ذات القيم الأعلى مع ذوي البشرة الداكنة. يوصى باستخدام وسائل التبريد (مثل الجل) عند استعمال نبضات ضوئية ذات طاقة أعلى (30– 65 J/cm2).

المضاعفات الجلدية:

ترتبط مضاعفات إزالة الشعر بالليزر في الغالب بنوع الجلد والمنطقة المعالجة وجهاز الليزر والبارامترات المستعملة، إضافة إلى تاريخ المريض من التعرض لأشعة الشمس مؤخراً. معظم الآثار الضارة تكون ضئيلة ومؤقتة وقابلة للعكس. إن الألم واحمرار الجلد المؤقت والوذمة المحيطة بالجريبات هي المضاعفات الجلدية الأكثر شيوعًا. ومع ذلك، تم الإبلاغ عن مضاعفات أخرى أيضًا.

1. **الألم:**

عادة ما تسبب إزالة الشعر بالليزر الدائم الألم. إن غياب الألم يجب أن يثير الشك في أن البصيلة التي تمثّل مصدر الشعر الذي ينمو حديثاً لم تتخثر أو تُدمّر بالكامل. تتخثر البصيلة عادةً بين 65 درجة مئوية و70 درجة مئوية، بل إنها تتطلب درجة حرارة أعلى لأنها تقع على مسافة 3–2 mm تحت سطح الجلد. عند درجات الحرارة المرتفعة هذه، ترسل مستقبلات الألم نبضات مسببة للألم إلى الدماغ. ولذلك يُنظر إلى هذا الألم على أنه «شر لا بد منه» للوصول إلى إزالة الشعر بشكل دائم.

الشكل 3: مستوى الألم وفقًا لجهاز الليزر/IPL المستخدم، من الأقل إلى الأكثر إيلاماً.

2. **الحروق:**

الحروق هي أحد الآثار الجانبية الشائعة جداً لإزالة الشعر بالليزر. يتطلب استهداف الميلانين الجريبي وعمود الشعرة أطوالاً موجية في الطيف الأحمر والأشعة تحت الحمراء القريبة. نظراً لأن الميلانين يمتص الأطوال الموجية الأقصر بقوة أكبر من الأطوال الموجية الأطول، فإن خطر الحروق يزداد مع الأطوال الموجية الأقصر والتدفق الأعلى. إضافة إلى ذلك، يؤدي امتصاص الميلانين إلى تراكم الحرارة أثناء التعرض لليزر، الأمر الذي يتطلب تبريد البشرة لمنع ارتفاع درجة حرارتها فوق عتبة الحرق الحراري.

يمكن لنوع بشرة فيتسباتريك التنبؤ بخطر الحروق أثناء إزالة الشعر بالليزر. خلصت مراجعة لإزالة الشعر بالليزر على الجلد الأفريقي الأمريكي إلى أنه كلما كان الجلد أغمق، زاد خطر حدوث آثار ضارة على البشرة مثل ظهور تقرحات وتقشر وذمة وتندب.

الشكل 4: a. حرق باستعمال ليزر الكسندريت بسبب عملية تسمير (برونزاج) سابقة؛ b. حرق باستعمال ليزر ديود بسبب التدفق العالي؛ c. الحرق باستعمال IPL بسبب قيام المشغل غير الماهر بتنفيذ الإجراء.

من الاضطرابات الجلدية التي قد تحدث بنسب ضئيلة:

3. التهاب الجريبات.
4. التلطّخات البيضاء leukotrichia.
5. فرط الشعر المتناقض.
6. ظهور "الشعر المتشعب.
7. ظهور التقرحات الجلدية.
8. التغيرات الصباغية والتي تظهر عند أصحاب البشرة الداكنة.
9. تغيرات سريرية ونسيجية قد تطرأ على الشامات المتعرضة.
10. فرط التعرق.
11. مرض فوكس فورديس: اضطراب جلدي نادر وحكة يؤثر على المناطق التي تحتوي على الغدد العرقية المفرزة.
12. قضمة الصقيع من أنظمة التبريد.

اعتبارات العلاج

- تختلف المعالجة المسبوقة بالتخدير الموضعي بين المرضى والمواقع التشريحية المحددة. قد تتطلب المناطق الأكثر حساسية مثل الشفة العليا والمنطقة الأربية إلى استعمال كريم مخدر موضعي لمدة 30 دقيقة إلى ساعة واحدة. قد يتطلب التخدير استعمال طرائق أخرى.
- قبل البدء في الإجراء، تعد حماية العين المناسبة أمراً بالغ الأهمية للمريض والإجرائي وأي مراقبين في غرفة العلاج. يتطلب كل جهاز ليزر استعمال نظارات واقية خاصة بالطول الموجي الخاص به، لذلك لا يمكن استبدال النظارات الواقية بين أجهزة الليزر أو في الأنظمة المعتمدة على الضوء ذات الأطوال الموجية الأخرى. إضافة إلى ذلك، بسبب خطر تلف العين، لا ينبغي إجراء العلاجات في المنطقة المحيطة بالعين.
- في بداية الإجراء، يجب إجراء اختبار على منطقة غير واضحة قبل العلاج الكامل وينبغي إجراء تعديلات على بارامترات الليزر لتحقيق علاج مناسب.
- يجب على أخصائي الإجراء تجنب علاج الآفات المصطبغة (مثل الشامات) أو الوشم، والتي يمكن أن تسبب الحروق بسهولة.
- بعد الإجراء، يجب وضع كمادات الثلج على المنطقة المعالجة لتقليل الألم والتورم.
- يمكن إعطاء الستيرويدات الموضعية وفقاً لتقدير الطبيب، ولكن إذا أصيب المريض بحروق أثناء الإجراء، فيجب تطبيق الستيرويدات الموضعية عالية الفعالية فوراً بعد ذلك وعلى مدى الأيام العديدة التالية. إذا حدث فرط تصبغ، يمكن استخدام الهيدروكينون والستيرويدات الموضعية يومياً مع التقشير الكيميائي الخفيف عند الضرورة. يجب معالجة نقص التصبغ بتجنب أشعة الشمس.
- يجب على المرضى ممارسة تجنب أشعة الشمس بشكل صارم لمدة لا تقل عن 6 أسابيع قبل كل علاج وبعده. يمكن تكرار العلاجات اللاحقة لمنطقة معينة كل 4 أسابيع.
- قد يتسبب علاج إزالة الشعر بليزر ضعيف بتحفيز نمو الشعر في المنطقة المعالجة، لذلك يجب الانتباه إلى نوع الليزر المستعمل وطاقته.

فيما يتعلق باستعمال الليزر لتحفيز نمو الشعر فسيعرض في النشرة القادمة..

شارك في هذا العدد:

- دليل الأمان رقم 18 لعام 2023 حول تطبيق مفهوم رفع الرقابة –د. محمد سعيد المصري
- دور الهندسة الطبية في تعزيز الوقاية الإشعاعية في التطبيقات الإشعاعية الطبية – د.م. يحيى لحفي
- تعزيز الأمن الحاسوبي لأغراض الأمن والأمان النووي – م. وسيم حسن و م. علي محمد
- الطرائق البيولوجية لقياس جرعة التعرض الإشعاعي –د. عدنان اختيار
- أهمية الوقاية من مخاطر الأشعة فوق البنفسجية الشمسية –د. عصام أبو قاسم
- استعمال أشعة الليزر في علاج مشاكل الشعر – د.محمد حسن عبيد

- التدقيق اللغوي : ريما سنديان
- الإخراج الفني : راما الكاج
  بشار مسعود
- مراجعة : د. فواز كرد علي

- للاستعلام والمرسلة :
  هيئة الطاقة الذرية السورية
  دمشق- سورية – ص.ب 6091
  هاتف: 00963112132580
  فاكس: 00963116112289
  البريد الالكتروني : atomic@aec.org.sy
  الموقع الإلكتروني: www.aec.org.sy