



Empfehlungen zur Überwachung der Augenlinsendosis

1. Einleitung

Die Augenlinse ist besonders empfindlich für ionisierende Strahlung. Um einer Linsentrübung (Katarakt) vorzubeugen, hatte die Internationale Strahlenschutzkommission (International Commission on Radiological Protection, ICRP) im Jahr 1990 einen Dosisgrenzwert für die Augenlinse von 150 mSv pro Jahr für beruflich strahlenexponierte Personen empfohlen [1]. Dieser Grenzwert wurde in die schweizerische Strahlenschutzverordnung (StSV) von 1994 (Art. 35) übernommen.

In einer aktuellen Mitteilung [2] empfiehlt die ICRP diesen Grenzwert auf 20 mSv pro Jahr, gemittelt über fünf Jahre, zu senken, mit einer jährlichen Obergrenze von 50 mSv. Die ICRP geht nun von einem Schwellenwert für eine Linsentrübung von 0.5 Gy anstatt 5 Gy aus [3]. Diese neue Einschätzung ist ein Ergebnis von Langzeitstudien betroffener Bevölkerungsgruppen (vor allem den Überlebenden von Hiroshima und Nagasaki und den Tschernobyl-Liquidatoren) und der somit vollständigeren Erfassung von Spätfolgen. Die Modalität der Exposition, akut oder chronisch, scheint das Risiko bei gegebener Dosis nicht wesentlich zu beeinflussen. Somit ist in erster Linie die kumulierte Augenlinsendosis und nicht der zugehörige Verlauf der Dosisleistung für das Auslösen der Trübung entscheidend.

Die neue Empfehlung der ICRP wird im Rahmen der Arbeit zur revidierten StSV diskutiert werden, deren Inkrafttreten im Jahr 2014 geplant ist. Die Expertengruppe für die Dosimetrie möchte gleichwohl ihre Empfehlungen vor Ablauf dieser Frist einbringen.

Die Augenlinsendosis ist in der Schweiz einem gesetzlichen Grenzwert unterworfen, eine direkte dosimetrische Überwachung hat aber bisher nicht stattgefunden. Gemäss der neuen Empfehlung der ICRP soll geprüft werden, ob eine direkte dosimetrische Überwachung der Augenlinse stattfinden muss. Gegebenenfalls sollen anschliessend die Methoden einer solchen Überwachung definiert werden. Diese Überlegungen sind umso wichtiger, als neuere Studien eine Häufung von Katarakten bei Radiologen und Kardiologen, die einer chronischen Bestrahlung der Augen ausgesetzt sind, feststellen [3].

2. Dosimetrische Größen

Die International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU) hat die Personen-Äquivalentdosis $H_p(3)$ für die Überwachung der Augenlinsendosis definiert [4]. In der Praxis wird $H_p(3)$ nur selten gemessen und es wird $H_p(0,07)$ für die Überwachung eingesetzt [5]. In vielen Situationen kann die Einhaltung des Dosisgrenzwertes für die Augenlinse durch die Einhaltung der Dosisgrenzen für $H_p(0,07)$ und $H_p(10)$ sichergestellt werden [6].

Nach Behrens et al. ist für Photonen mit Energien <200 keV die Grösse $H_p(0,07)$ angemessen, um die Augenlinsendosis abzuschätzen, bei Energien >100 keV ist die Grösse $H_p(10)$ geeignet [7,8]. Für Beta-Strahlung bietet $H_p(0,07)$ eine konservative Schätzung der Augenlinsendosis. Bei Beta-Strahlern mit Energien unter 1 MeV kann die Dosis jedoch erheblich überschätzt werden (Faktor 280 für Re-186), da die niederenergetischen Elektronen zur Grösse $H_p(0,07)$ beitragen, obwohl sie die Augenlinse nicht erreichen. In diesem Fall ermöglicht lediglich die operative Grösse $H_p(3)$ eine angemessene dosimetrische Beurteilung [7,8].

In der StSV werden nur die operativen Dosismessgrössen $H_p(10)$ und $H_p(0,07)$ definiert. Nach Anhang 5 der StSV wird die Äquivalentdosis für alle Organe und Gewebe mit Ausnahme der Haut, der Grösse $H_p(10)$ gleichgesetzt. Dies gilt somit auch für die Augenlinse.

3. Empfehlungen

Die Implementierung einer dosimetrischen Überwachung der Augenlinse hat folgende Ziele:

- Das Verhalten von strahlenexponierten Personen soll dahingehend optimiert werden, die Augenlinsendosis auf den von der ICRP empfohlenen Wert von weniger als 20 mSv pro Jahr zu reduzieren.
- Strahlenexponierte Personen müssen über die erhaltene Augenlinsendosis informiert, sowie für dosisreduzierende Massnahmen sensibilisiert werden.

3.1 Dosimetrische Grössen

Die Expertengruppe für die Dosimetrie empfiehlt für Photonen und Beta-Strahler die Personen-Äquivalentdosis $H_p(0,07)$ für die Überwachung der Augenlinsendosis zu verwenden. In vielen Fällen kann $H_p(0,07)$ anstelle von $H_p(3)$ zur Abschätzung der Augenlinsendosis verwendet werden. Was die Einführung der Grösse $H_p(3)$ für die Überwachung der Augenlinsendosis bei niederenergetischen Beta-Strahlern anbelangt, empfiehlt die Expertengruppe die internationalen Empfehlungen abzuwarten.

3.2 Überwachungsmethoden

Um die Augenlinsendosis mit Hilfe eines Personendosimeters zu bestimmen, empfiehlt die Expertengruppe das Dosimeter in Augennähe zu tragen, oder es so auf dem Körper zu positionieren, dass es in ähnlicher Weise wie das Auge dem Strahlungsfeld ausgesetzt ist.

In einem homogenen Strahlungsfeld erscheint der Expertengruppe eine Beurteilung der Augenlinsendosis basierend auf der Grösse $H_p(0,07)$, gemessen auf Höhe des Thorax, angemessen.

In einem inhomogenen Strahlenfeld empfiehlt die Expertengruppe, ein zusätzliches Dosimeter in Augennähe zu tragen, da der von einem einzelnen Dosimeter ermittelte Dosiswert hier nicht repräsentativ sein könnte (Art. 12 der Verordnung über Personendosimetrie).

Im medizinischen Bereich empfiehlt die Expertengruppe immer den Einsatz eines zusätzlichen, über der Schutzschürze getragenen Dosimeters für diejenigen Personen, die sich bei interventionellen Radiologie- und Kardiologieuntersuchungen in der Nähe des Patienten aufhalten müssen, oder die während einer Intensivdurchleuchtung im Operationssaal anwesend sind. Die über der Schutzschürze gemessene individuelle Äquivalentdosis $H_p(0,07)$ erlaubt eine angemessene Beurteilung der Augenlinsendosis. In diesem Fall muss das über der Schutzschürze getragene Dosimeter auf Höhe des Halses platziert werden [6].

Falls ein strahlenreduzierender Augenschutz zum Einsatz kommt (zum Beispiel eine Schutzbrille), wird die Augenlinsendosis durch die oben beschriebenen Überwachungsmethoden überschätzt.

3.3 Schutzmassnahmen

Die besten Mittel die Augenlinsendosis zu reduzieren, bestehen in der Anwendung der folgenden drei gängigen Prinzipien des Strahlenschutzes:

- *Aufenthaltsdauer*: die Aufenthaltsdauer in der Nähe der Strahlungsquelle beschränken.
- *Abstand*: den Kopf so weit wie möglich von der Strahlungsquelle fernhalten (auch ein um wenige Zentimeter vergrösserter Abstand vermag eine deutliche Verringerung der aufgenommenen Dosis zu bewirken, bedingt durch das Abstandsquadratgesetz).
- *Abschirmung*: absorbierendes Material zwischen Gesicht und Strahlungsquelle platzieren. Bei Einwirkung eines gestreuten Strahlungsfeldes in der Radiologie (Photonen mit Energien <150 keV) empfiehlt sich die Verwendung einer Abschirmung mit einem Bleiäquivalent von mindestens 0.5 mm: mobile Schutzwand, an der Decke aufgehängte Schutzwand und/oder Schutzbrille mit Bleigläsern [9]. Bei Beta-Strahlern kann die Verwendung von konventionellen Schutzbrillen die Augenlinsendosis erheblich vermindern.

4. Referenzen

- [1] International Commission on Radiological Protection (ICRP): *1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. ICRP Publication 60, 1991
- [2] International Commission on Radiological Protection (ICRP): *Statement on Tissue Reactions*. Approved by the Commission on April 21, 2011.
- [3] International Commission on Radiological Protection (ICRP): *Early and late effects of radiation in normal tissues and organs: threshold doses for tissue reactions and other non-cancer effects of radiation in a radiation protection context*. ICRP draft report, ref 4844-6029-7736, 2011.
- [4] International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU): *Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry*. ICRU Report No. 51, 1993.
- [5] International Commission on Radiological Protection (ICRP): *2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. ICRP Publication 103, 2008.
- [6] European Commission, Radiation Protection n°160, *Technical Recommendations for Monitoring Individuals Occupationally Exposed to External Radiation*, 2009.
- [7] Behrens, R.; Dietze, G.: *Monitoring the eye lens: Which dose quantity is adequate?* Phys. Med. Biol. 55: 4047-4062, 2010.
- [8] Strahlenschutzkommission, *Überwachung der Augenlinsendosis, Stellungnahme der Strahlenschutz-kommission mit wissenschaftlicher Begründung*, 2010.
- [9] Carinou E. et al., *Recommendations to reduce extremity and eye lens doses in interventional radiology and cardiology*, Radiat. Meas. 46:1324-1329, 2011.



Recommandations concernant la surveillance dosimétrique du cristallin de l'œil

1. Préambule

Le cristallin de l'œil est particulièrement sensible aux rayonnements ionisants. Afin de prévenir des effets d'opacification du cristallin (cataracte), la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) avait recommandé en 1990 une limite de dose pour le cristallin à 150 mSv par an pour les personnes exposées aux radiations dans l'exercice de leur profession [1]. Cette limite de dose a été reprise dans l'Ordonnance fédérale sur la radioprotection (ORaP) de 1994 (Art. 35).

Dans un récent communiqué [2], la CIPR recommande de réduire cette valeur à une limite de dose au cristallin, moyennée sur 5 ans, de 20 mSv, avec une limite annuelle de 50 mSv. La CIPR a en effet revu à la baisse le seuil de dose relatif au risque d'opacification du cristallin, passant de 5 Gy à 0.5 Gy [3]. Cette nouvelle estimation est liée à un plus long suivi des cohortes impliquées (principalement les survivants de Hiroshima et Nagasaki, et les liquidateurs de Tchernobyl), associée à une manifestation tardive des effets. La modalité d'exposition, aiguë ou chronique, ne semble toujours pas modifier sensiblement le risque à dose égale. Ainsi, c'est principalement la dose accumulée par le cristallin, et non le débit de dose, qui apparaît décisive pour l'induction de la cataracte.

Cette nouvelle recommandation de la CIPR sera certainement discutée dans le cadre de la révision de l'ORaP dont la publication est prévue en 2014. Le groupe d'experts pour la dosimétrie souhaite néanmoins faire part de ses recommandations avant cette échéance.

La dose au cristallin est certes une grandeur limitée en Suisse, mais elle n'a jamais fait l'objet d'une surveillance dosimétrique directe. La recommandation de la CIPR d'abaisser cette limite nécessite de réévaluer si une surveillance dosimétrique directe de la dose au cristallin doit avoir lieu et, le cas échéant, de définir les méthodes à utiliser. Cette réflexion est d'autant plus importante que des études récentes ont mis en évidence des fréquences élevées de cataractes chez les radiologues et les cardiologues interventionnels, qui sont exposés aux rayonnements de manière chronique, notamment au niveau des yeux [3].

2. Grandeurs dosimétriques

La Commission internationale des unités de rayonnements et des mesures (ICRU) a défini l'équivalent de dose individuel $H_p(3)$ pour la surveillance de la dose au cristallin [4]. Dans la pratique, $H_p(3)$ est rarement mesuré et $H_p(0.07)$ peut être utilisé pour cette même surveillance [5]. Dans de nombreuses situations, le respect des limites de dose au cristallin de l'œil peut être assuré par le respect des limites pour $H_p(0.07)$ et $H_p(10)$ [6].

Selon Behrens et al., $H_p(0.07)$ est approprié pour estimer la dose au cristallin pour des photons d'énergies < 200 keV alors que $H_p(10)$ l'est pour des énergies > 100 keV [7,8]. Pour le rayonnement bêta, $H_p(0.07)$ fournit une estimation conservatrice de la dose au cristallin. Pour les émetteurs bêta < 1 MeV, la dose au cristallin peut cependant être largement surestimée (facteur de 280 pour le Re-186) car les électrons de faible énergie n'atteignent pas le cristallin mais contribuent à la valeur de $H_p(0.07)$. Dans ce cas, seule la grandeur opérationnelle $H_p(3)$ permet une dosimétrie appropriée [7,8].

Dans l'ORaP, seules les grandeurs opérationnelles $H_p(10)$ et $H_p(0.07)$ sont définies. Selon l'annexe 5 de l'ORaP, la dose équivalente à tous les organes ou tissus, à l'exception de la peau, est réputée égale à $H_p(10)$. C'est donc également le cas pour le cristallin.

3. Recommandations

La mise en place d'une surveillance dosimétrique du cristallin poursuit les objectifs suivants :

- Le comportement des personnes exposées aux radiations doit être optimisé afin de diminuer la dose au cristallin à une valeur inférieure à 20 mSv par an, selon les nouvelles recommandations de la CIPR.
- Les personnes exposées aux radiations doivent être informées de la dose reçue au niveau du cristallin et doivent être sensibilisées aux mesures de réduction de dose possibles.

3.1 Grandeurs dosimétriques

Le groupe d'experts pour la dosimétrie recommande d'utiliser l'équivalent de dose individuel $H_p(0.07)$ pour la surveillance de la dose au cristallin pour les photons et les rayonnements bêtas. En effet, dans de nombreux cas, une évaluation de $H_p(0.07)$ peut être utilisée à la place de $H_p(3)$ pour estimer la dose au cristallin. Quant l'introduction de la grandeur $H_p(3)$ pour la surveillance de la dose au cristallin pour des bêtas de faible énergie, le groupe d'experts recommande d'attendre les recommandations internationales.

3.2 Méthodes de surveillance

Pour déterminer la dose au cristallin à l'aide d'un dosimètre personnel, le groupe d'experts recommande de porter le dosimètre au voisinage de l'œil ou de le positionner sur le corps de telle sorte qu'il soit exposé de manière semblable au champ de radiation de l'œil.

Dans un champ de radiation homogène, le groupe d'experts recommande d'estimer la dose au cristallin de l'œil à l'aide de la grandeur $H_p(0.07)$ mesuré au niveau du thorax.

Dans un champ de radiation inhomogène, le groupe d'expert recommande de porter un dosimètre supplémentaire au voisinage de l'œil, car la valeur de dose indiquée par un seul dosimètre ne peut pas être représentative de l'exposition du cristallin (Art. 12 de l'Ordonnance sur la dosimétrie individuelle).

Dans le secteur médical, le groupe d'experts recommande l'utilisation systématique d'un second dosimètre placé sur le tablier de protection pour les personnes se trouvant à proximité du patient pendant les actes de radiologie ou cardiologie interventionnelles, ainsi que lors de radioscopies intensives en salle d'opération. L'équivalent de dose individuel $H_p(0.07)$ mesuré sur le tablier de protection fournit une bonne estimation de la dose au cristallin de l'œil. Dans ce cas, le dosimètre placé au-dessus du tablier doit être porté au niveau du col [6].

Les méthodes de surveillance décrites ci-dessous surestiment la dose au cristallin lors du port de moyen de protection de l'œil (par exemple des lunettes de protection).

3.3 Méthodes de protection

Les meilleurs moyens de réduire la dose au cristallin consistent à appliquer les trois méthodes de protection usuelle:

- *temps*: limiter la durée passée à proximité de la source de rayonnement.
- *distance*: éloigner la tête au maximum de la source de rayonnement (même un éloignement de quelques centimètres peut avoir un effet significatif en raison de la loi de l'inverse du carré de la distance).
- *écran*: placer des matériaux absorbants adéquats entre le visage et la source de rayonnement. Pour une exposition à un champ de rayonnement diffusé en radiologie (photon d'énergie <150 keV), il est recommandé d'utiliser un blindage avec un équivalent de plomb d'au moins 0.5 mm : paravent mobile, écran avec suspension plafonnière et/ou lunettes de protection en verre au plomb [9]. Pour une exposition à un champ de rayonnement bêta, l'utilisation de lunettes de protection conventionnelle peut réduire significativement la dose au cristallin.

4. Références

- [1] International Commission on Radiological Protection (ICRP): *1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. ICRP Publication 60, 1991
- [2] International Commission on Radiological Protection (ICRP): *Statement on Tissue Reactions*. Approved by the Commission on April 21, 2011.
- [3] International Commission on Radiological Protection (ICRP): *Early and late effects of radiation in normal tissues and organs: threshold doses for tissue reactions and other non-cancer effects of radiation in a radiation protection context*. ICRP draft report, ref 4844-6029-7736, 2011.
- [4] International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU): *Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry*. ICRU Report No. 51, 1993.
- [5] International Commission on Radiological Protection (ICRP): *2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. ICRP Publication 103, 2008.
- [6] European Commission, Radiation Protection n°160, *Technical Recommendations for Monitoring Individuals Occupationally Exposed to External Radiation*, 2009.
- [7] Behrens, R.; Dietze, G.: *Monitoring the eye lens: Which dose quantity is adequate?* Phys. Med. Biol. 55: 4047-4062, 2010.
- [8] Strahlenschutzkommission, *Überwachung der Augenlinsendosis, Stellungnahme der Strahlenschutz-kommission mit wissenschaftlicher Begründung*, 2010.
- [9] Carinou E. et al., *Recommendations to reduce extremity and eye lens doses in interventional radiology and cardiology*, Radiat. Meas. 46:1324-1329, 2011.