

La technique de radiologie interventionnelle et l'exposition des professionnels

EN
RÉSUMÉ

AUTEURS :

C. Gauron, C. Derock, département Études et assistance médicales, INRS, Paris
Remerciements à L. Donadille (IRSN) et D. Choudat (Université Paris Descartes)
pour leur participation active à la rédaction de cet article.

La radiologie interventionnelle consiste à effectuer des actes guidés par radioscopie. Elle s'est largement développée depuis 20 ans dans de nombreuses applications médicales et chirurgicales. Au-delà des avantages indéniables pour le patient, c'est une pratique susceptible de délivrer des doses importantes de rayonnements pour les professionnels qui la réalisent, en particulier pour leurs mains et leurs yeux. Organisation de la salle de radiologie, amélioration des techniques, port d'équipements de protection individuelle, respect des bonnes pratiques, surveillance dosimétrique des extrémités... sont autant de mesures de prévention qui sont détaillées. L'utilisation de la capillaroscopie pour étudier l'effet des rayonnements ionisants est également décrite.

MOTS CLÉS

Radioprotection / radiologie interventionnelle / rayonnement ionisant / capillaroscopie



La radiologie interventionnelle recouvre un ensemble de techniques radiologiques, encore méconnu et en pleine expansion.

Elle est source de bénéfices incontestables pour les patients mais également de risques importants et est reconnue comme une pratique susceptible d'entraîner des expositions aux rayonnements ionisants importantes pour le personnel et les patients.

Un groupe permanent d'experts de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a défini comme actes et procédures interventionnelles radioguidés « l'ensemble des actes

médicaux invasifs diagnostiques et/ou thérapeutiques ainsi que les actes chirurgicaux utilisant des rayonnements ionisants à visée de guidage per-procédure, y compris le contrôle ».

Cette définition désigne des actes, interventions ou procédures radioguidés ou encore des actes guidés par radioscopie réalisés par des radiologues ou des non radiologues. Cette pratique apparaît comme la technique médicale la plus à risque radiologique pour les opérateurs, en particulier pour la main et pour l'œil.

Cet article fait le point sur l'exposition des professionnels effectuant des actes de radiologie interventionnelle, et notamment sur l'exposition de leurs mains.

La technique de radiologie interventionnelle et l'exposition des professionnels

PROBLÉMATIQUE DE LA RADIOLOGIE INTERVENTIONNELLE

Le bilan dosimétrique effectué par l'IRSN (Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire) [1] de l'exposition externe des 214 432 travailleurs professionnellement exposés aux rayonnements ionisants dans le milieu médical est globalement satisfaisant : en 2011, l'exposition collective était de 20,51 Homme.Sv (dose efficace individuelle moyenne de 0,1 mSv) et le nombre de personnes avec une dose efficace supérieure à 20 mSv était de 8 (5 en radiologie interventionnelle et 1 en radiothérapie). Sur les 5 cas de dépassement enregistrés en radiologie interventionnelle, une valeur de dose efficace était supérieure à 50 mSv.

Ces résultats peuvent cependant masquer des niveaux d'exposition beaucoup plus importants en fonction des secteurs d'activité et pour certaines parties de l'organisme, en particulier les mains. La surveillance de l'exposition des extrémités par bague n'est pas mise en place de manière systématique en cas d'exposition inhomogène. Les données disponibles sur 7 504 travailleurs du milieu médical ayant bénéficié d'une telle surveillance retrouvent une dose collective de 73,86 Homme.Sv, avec dans 3 cas une dose supérieure à 500 mSv (dont une à 1 116 mSv) en radiologie interventionnelle.

Les techniques de radiologie interventionnelle se sont particulièrement développées depuis une vingtaine d'années dans toutes les disciplines cliniques médicales et chirurgicales, avec des opérateurs n'ayant souvent pas reçu au cours de leur formation initiale de recommandations précises de prévention lors de l'utilisation des rayonne-

ments ionisants ni de sensibilisation à la radioprotection.

Ces opérateurs en radiologie interventionnelle sont des travailleurs dont les niveaux d'exposition peuvent être élevés au niveau des mains et également des yeux, les gestes qu'ils pratiquent pouvant parfois les amener à placer leurs mains directement dans le faisceau, contrairement aux bonnes pratiques.

Divers éléments peuvent expliquer cet état de fait :

- la priorité donnée à la bonne réalisation de l'acte ;
- un manque de culture en radioprotection ;
- l'impossibilité d'avoir des équipements de protection efficaces en raison de la nécessaire perception tactile ;
- l'incompatibilité parfois de port de dosimètre sur les mains avec les contraintes de stérilisation.

Compte tenu de la diversité des procédures et du caractère opérateur et patients dépendant des actes, il est impossible d'associer à un acte donné une exposition moyenne-type. Ainsi une grande variabilité des expositions par acte est observée selon le type d'acte, la procédure, la difficulté de l'acte, l'expérience de l'opérateur, le type d'installation...

De plus, même si la culture en radioprotection semble progresser et si la recherche pour développer des dosimètres d'extrémités plus performants se poursuit, il est difficile de disposer d'une estimation rétroactive des doses déjà reçues. Le suivi dosimétrique systématique des extrémités commence à se mettre en place mais il est loin encore d'être généralisé et, pour certains actes, il est malaisé à mettre en place.

Aussi, le risque est de voir réapparaître chez ces personnels des

lésions d'irradiation chronique des mains pouvant conduire à des effets délétères (radiodermites chroniques, cancers cutanés...)

TECHNIQUES UTILISÉES, ÉTUDES DE POSTE EN RADIOLOGIE INTERVENTIONNELLE, PRINCIPES DE PRÉVENTION

La radiologie interventionnelle concerne un grand nombre d'actes, plus de 300 étaient déjà répertoriés en 1998 par Herbreteau et Brunereau [2] utilisant l'imagerie médicale dans un but thérapeutique et/ou diagnostique. Les spécialités concernées et les indications sont de plus en plus nombreuses. Les techniques utilisées permettent la visualisation des organes par injection de produit de contraste (coronarographie, cholangiographie, fistulographie), la ponction ou biopsie (prélèvement local de sang, de tissu tumoral...) pour analyser et diagnostiquer les pathologies et parfois les traiter directement (angioplastie, pose de prothèse, embolisation, pose de drain...). Elle s'est développée relativement récemment (première angioplastie en 1964) et rapidement, en parallèle avec l'explosion des techniques d'imagerie. Dans certains cas, elle représente une alternative au traitement chirurgical afin de visualiser et/ou traiter des organes internes, ou précède la chirurgie afin de faire le bilan des lésions.

Du point de vue du patient, elle procure plusieurs avantages : une réduction du risque opératoire, une limitation de la douleur, un raccourcissement du délai de récupération, un moindre recours à l'anesthésie générale. En l'état actuel des

possibilités médicales, la radiologie interventionnelle concerne plusieurs domaines comme par exemple :

- la radiologie vasculaire interventionnelle principalement coronarienne,
- la radiologie interventionnelle non vasculaire : pose d'endoprothèses urétérales ou des voies biliaires, infiltration de terminaisons nerveuses...,
- l'évacuation de collections guidée par échographie ou scanner...

D'autres techniques de traitement par voie cutanée sont en cours de développement au niveau ostéo-articulaire comme la consolidation de lésions osseuses vertébrales (vertébroplastie) ou la destruction par des agents physiques (tels que les ondes de radiofréquence ou la cryothérapie) de lésions bénignes ou cancéreuses hépatiques, rénales, pulmonaires ou osseuses, techniques qui nécessitent le plus souvent un repérage sous scopie. Les procédures de radiologie interventionnelle impliquent l'utilisation de rayons X et donc une exposition des opérateurs et du patient. Cette exposition a lieu pendant les phases de radioscopie (ou fluoroscopie) et de radiographie pendant lesquelles se réalise l'acquisition des images. La prise, en mode pulsé ou continu, d'images afin de les faire défiler comme un film permet à l'opérateur de diriger son geste en direct. Une image en radioscopie est beaucoup moins irradiante qu'une radiographie compte tenu d'une plus grande intensité dans le tube à rayons X pour les radiographies ; mais du fait de la durée parfois prolongée des radioscopies, ce sont souvent les actes qui entraînent des expositions les plus importantes.

Ces techniques originellement développées et effectuées par des

radiologues ont été très rapidement reprises par les cardiologues leur permettant les procédures guidées par radioscopie ; ce sont d'ailleurs les spécialistes réalisant le plus grand nombre de procédures actuellement. Les autres spécialités qu'elles soient médicales ou chirurgicales recourent de plus en plus à la radiologie interventionnelle.

Dans le cadre des bonnes pratiques de radiologie, seuls l'opérateur et les personnes nécessaires à l'acte restent à proximité du patient lors de l'émission de rayons X (photo 1). Le port des équipements de protection individuelle (tabliers de protection radiologique, lunettes de protection radiologique) est obligatoire pour les opérateurs en sus des équipements de protection collective ; le reste du personnel dans la salle est placé si possible derrière un paravent de protection radiologique, sinon porte un tablier de protection radiologique. L'opérateur intervient sur le patient en s'aidant (pour le repérage, l'abord, les gestes diagnostiques et/ou thérapeutiques) de l'image visualisée en scopie directe. Le générateur de

rayons X (qui dans la plupart des cas est un arceau mécanisé et motorisé permettant des incidences multiples), est constitué :

- d'un tube émetteur de rayons X, pour lequel il est recommandé qu'il soit situé sous la table d'intervention,
- et d'un récepteur situé de l'autre côté de l'arceau donc si possible au-dessus de la table [3].

Lors des procédures interventionnelles, l'opérateur, et plus particulièrement ses mains, sont dans le champ diffusé par le patient ; par contre, dans le cadre de bonnes pratiques, ses mains ne doivent pas traverser, ou bien exceptionnellement, le cône d'émission du faisceau primaire.

Le patient est allongé sur la table ; l'organisation de la salle prévoit en général l'installation de l'opérateur à sa droite. Le tube est préférentiellement positionné sous la table de façon à diminuer l'exposition de l'opérateur. Toutefois cette disposition n'est pas toujours réalisable : par exemple pour les actes d'orthopédie où le faisceau peut

↓ Photo 1

Exemple d'installation de salle de radiologie interventionnelle.



La technique de radiologie interventionnelle

et l'exposition des professionnels

être horizontal ; dans ce cas, le faisceau direct n'est alors atténué ni par la table ni par le patient et il est alors préférable pour l'opérateur de se placer plutôt du côté du détecteur radiologique que du côté du tube à rayons X (ce positionnement permet de diminuer l'exposition liée au rayonnement rétro-diffusé, à la fuite de gaine...) avec mise en place d'écrans mobiles de protection radiologique. Dans tous les cas, les opérateurs doivent porter des équipements de protection individuelle (tablier de protection radiologique couvrant son corps, lunettes) mais il n'existe pas de protection efficace pour les mains, qui peuvent se trouver exposées.

En radiologie interventionnelle, deux voies d'abord sont principalement utilisées : la voie directe percutanée et la voie indirecte vasculaire (jugulaire, humérale, radiale ou fémorale), la voie fémorale semblant la plus fréquente. La voie d'abord du patient influe sur l'exposition des mains de l'opérateur en fonction de la distance qui sépare la zone du patient visualisée et donc irradiée (la main la plus proche du champ semble être la main non dominante) [4].

Cet article est focalisé sur l'exposition des extrémités pour les travailleurs mais, de façon plus générale, les procédures de radiologie interventionnelle sont actuellement considérées comme des pratiques médicales susceptibles de délivrer des doses importantes aux opérateurs et aux patients ; l'application des principes de justification et d'optimisation constitue la base d'une radioprotection efficace avec une attention particulière portée aux trois paramètres classiques : temps, distance et écran de protection radiologique. La stratégie de maîtrise du risque est abordée de manière plus précise dans une fiche de radioprotection consa-

crée exclusivement à la radiologie interventionnelle et réalisée par un groupe de travail auquel ont participé la DGT, l'ASN, l'IRSN et l'INRS [5]. De même un rapport du groupe permanent d'experts en radioprotection de l'ASN pour les applications médicales établi en 2010 émet des recommandations concernant les équipements (particulièrement les équipements mobiles utilisés dans les blocs opératoires), la formation des opérateurs, et le renforcement de la radioprotection des opérateurs (et des patients) et de la surveillance dosimétrique [6].

Parallèlement, il convient de maintenir une grande vigilance sur l'évaluation dosimétrique de la dose au cristallin. En effet, la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) [7] a récemment abaissé le seuil de dose équivalente à l'œil susceptible d'induire une cataracte précoce de 2 à 0,5 Gray en dose cumulée. Elle a recommandé la diminution de la limite de dose annuelle professionnelle autorisée de 150 mSv à 20 mSv ; cette limite est en cours de révision au niveau des normes de base européenne et devrait donc être abaissée dans les prochaines années à 20 mSv par an.

EXPOSITION RADILOGIQUE DES MAINS DES PERSONNELS MÉDICAUX EN RADIOLOGIE INTERVENTIONNELLE

SELON LA LITTÉRATURE

La littérature concernant l'exposition du personnel en radiologie interventionnelle au niveau des extrémités est abondante. On y retrouve une disparité des doses reçues, allant de quelques μSv à quelques mSv pour une intervention, du fait de la variabilité des actes et des techniques.

En fonction du type de voie d'abord utilisé (percutané ou vasculaire), les procédures peuvent être classées en trois catégories [8] qui dépendent de la distance de la voie d'abord avec le faisceau direct. On distingue :

- les procédures proximales où existe un risque d'exposition au faisceau primaire car les mains sont très proches du faisceau direct (par exemple procédures au niveau hépatique, drainages biliaires) ;
- les procédures distales proches où le risque d'exposition n'est dû qu'au rayonnement diffusé mais les extrémités restant relativement proches (10-20 cm) du milieu diffusant (par exemple procédures cardiaques avec abord radial) ;
- les procédures distales lointaines où le risque d'exposition n'est dû qu'au rayonnement diffusé avec les extrémités relativement éloignées (50 cm et plus) du milieu diffusant (par exemple procédures cardiaques avec abord fémoral).

Ce classement permet de distinguer des procédures plus à risque qu'une autre pour l'opérateur [8, 9]. Il faut rappeler également que c'est la main non dominante (donc le plus souvent la main gauche) qui est la plus proche du faisceau et que la main dominante monte le guide. La voie radiale considérée comme distale-proche est plus irradiante que la voie fémorale (distale lointaine) et de la même manière, la voie percutanée directe est beaucoup plus irradiante que la voie distale (fémorale et jugulaire).

Les paramètres classiques en radioprotection (temps-distance-écran) doivent être optimisés. La littérature décrit des relations entre ces facteurs et la dose reçue [9, 10] :

- la durée de scopie, la difficulté du geste et l'expérience de l'opérateur,
- la distance entre l'abord et le tube à rayons X et son orientation,

- le port des équipements de protection individuelle et collective,
- l'équipement radiologique utilisé et son niveau technologique.

Alors que la littérature ne met pas en évidence de façon systématique de corrélation nette entre le temps de radioscopie et la dose reçue aux doigts, la difficulté du geste médical semble par contre influencer les doses reçues. De même, l'expérience et l'apprentissage du geste permettent de réduire l'exposition des extrémités [11], la dose reçue diminuant avec l'ancienneté de l'interne en cardiologie réalisant l'intervention.

Le positionnement du tube à rayons X sous la table permet de diminuer significativement la dose délivrée aux doigts du fait de l'atténuation par le lit et le patient.

De la même manière, l'utilisation des équipements de protection doit permettre en théorie de diminuer les doses reçues. Mais pour les mains, le choix des protections est complexe. Les gants radio-atténuateurs plombés ne semblent pas être la solution : fausse protection, réduction de la dextérité manuelle, augmentation de l'intensité du générateur par autorégulation. Une étude récente [12] publiée en 2011 a comparé les doses reçues par des dosimètres placés sur une main anthropomorphe avec ou sans gants radio-atténuateurs ; si, dans le rayonnement diffusé, le gant permet une diminution de la dose d'un facteur variable de 1 à 3, l'auteur montre au contraire dans le faisceau primaire une augmentation ou au mieux une stabilité de la dose. Ces résultats amènent donc à déconseiller le port de ces gants : ils ont une faible efficacité dans le rayonnement diffusé mais si l'opérateur passe accidentellement les mains dans le faisceau primaire, la

régulation automatique du générateur augmente la quantité de rayonnement émis.

Dans la réalité, les écrans plafonniers sont conçus de telle façon que leur utilisation est plus adaptée aux procédures distales ; mais dans ce cas, les mains restent dans le rayonnement diffusé.

Le matériel radiologique peut aussi permettre une réduction de l'exposition. Les nouvelles technologies apportent en effet des moyens de maintenir voire d'augmenter la qualité d'image tout en limitant le temps de scopie grâce notamment à la numérisation, au remplacement par des détecteurs plans dont la sensibilité s'accroît et à l'utilisation du mode continu à la place du mode pulsé lors de la fluoroscopie [13].

Le point bibliographique des doses reçues par les opérateurs en radiologie interventionnelle aux organes non protégés, par Aubert [14] en 2009, rapporte une variation très importante au sein même des procédures distales ou proximales, toutes procédures confondues : l'équivalent de dose pour la main gauche varie de 0,34 à 4 mSv par procédure pour une procédure proche et de 0,03 à 5,89 mSv par procédure pour une procédure distante.

De même, pour la même procédure, une grande variabilité des intervalles de doses d'exposition des mains est constatée en fonction des techniques : par exemple pour l'embolisation, les doses par procédure varient de 140 μ Sv à 200 μ Sv aux mains ou pour une procédure biliaire, de 800 à 1 500 μ Sv [4].

Enfin, les praticiens spécialistes d'un même service peuvent recevoir des doses équivalentes très différentes : ainsi en 2010, l'IRSN rapporte une estimation des doses annuelles pour l'index gauche variant de 45 à 185 mSv chez 6 neuroradiologues d'un même service

effectuant des actes de radiologie interventionnelle [15].

ÉVALUATION EFFECTUÉE PAR L'IRSN

En parallèle d'une étude capillaroscopique réalisée sur la période 2005-2010 qui sera rapportée ultérieurement, une étude dosimétrique des mains des médecins impliqués en imagerie interventionnelle a été effectuée par l'IRSN sous la direction de L. Donadille. Entre septembre 2008 et décembre 2009, 8 hôpitaux ont participé à des mesures des doses maximales reçues aux mains pour 346 procédures radiologiques et cardiologiques effectuées par 41 praticiens. En raison des contraintes très strictes d'asepsie en bloc opératoire, il a été choisi de restreindre l'étude au plateau technique interventionnel hors bloc.

Des dosimètres thermoluminescents ont été utilisés, fournis aux hôpitaux par l'IRSN qui a ensuite effectué les lectures. Ils étaient placés sur l'ongle du majeur de la main du praticien définie comme celle étant située la plus proche de la zone de diffusion des rayonnements (région explorée du patient) et correspondant en général à la main gauche. Le dosimètre était porté sous les gants stériles durant la totalité de l'intervention. Dans la mesure du possible, un praticien par discipline (radiologie, cardiologie) a été suivi et au moins 10 procédures (idéalement entre 15 et 20) par praticien ont été associées à une mesure. Les procédures ont été choisies de façon à refléter l'activité habituelle du praticien.

Les résultats de cette étude, en cours de publication, ont été présentés lors du 31^e congrès national de médecine et santé au travail en juin 2010 à Toulouse [16]. Ils ont montré que les doses reçues par les praticiens au niveau des extrémi-

La technique de radiologie interventionnelle et l'exposition des professionnels

tés étaient très variables et dépendaient de multiples facteurs, dont le type de procédure, la zone explorée, la voie d'abord et la proximité, confirmant les données de la littérature internationale avec une méthodologie qui a permis de vérifier, de façon rigoureuse, les relations des facteurs avec la dose reçue. Une classification des familles de procédures, par ordre croissant de niveau de dose aux mains de l'opérateur, a pu être établie : les procédures cérébrales venant en tête, suivies des cardiaques puis les autres.

Les procédures thérapeutiques sont plus irradiantes que les procédures diagnostiques. De même, la classification des actes par voie d'abord se vérifie : les procédures cardiaques utilisant la voie radiale sont plus irradiantes que celles réalisées par voie fémorale ; la voie percutanée directe est plus irradiante que les voies fémorale et jugulaire. Ces observations sont pour une grande part associées aux effets de distance à la source de rayonnements : les procédures à abord proche sont ainsi clairement associées à des doses plus élevées que celles à abord distal, multipliées par un facteur 2,3 pour la médiane. L'influence des équipements de protection collective n'a pu être analysée. Pour plus d'informations sur ce sujet, il est possible de se reporter aux résultats du contrat ORAMED [17].

UTILISATION DE LA TECHNIQUE CAPILLAROSCOPIQUE EN RADIOPATHOLOGIE [18]

Il s'agit d'une technique dont le principe est simple : permettre la visualisation de la microcirculation superficielle *in vivo* à l'aide d'un microscope optique. La médecine vasculaire (angiologie) utilise cette

technique dans certaines pathologies de la microcirculation telles que les acrosyndromes vasculaires...

RAPPEL PHYSIOLOGIQUE ET RADIOPATHOLOGIQUE DES CAPILLAIRES

RAPPEL PHYSIOLOGIQUE

Le capillaire vrai n'est formé que des cellules de l'endothélium et permet ainsi les échanges avec les cellules des tissus à nourrir. Les veinules sont le prolongement des artérioles. Il existe trois différentes structures entre ces deux réseaux (figure 1) d'après Chambers et Zweifach [19] :

- La méta-artériole située entre l'artériole et la veinule, d'où naissent les capillaires vrais responsables des échanges métaboliques. Un système de sphincters précapillaires permet de créer des dérivations, quand cela est nécessaire, pour nourrir le tissu ainsi vascularisé.
- Les anastomoses artério-veineuses court-circuitent les artérioles vers la veinule (shunts directs nommés canaux de Sucquet dont la fonction est controversée).
- Les deux structures susmentionnées coexistent dans un réseau maille dont les anastomoses entre elles permettent une adaptation la plus

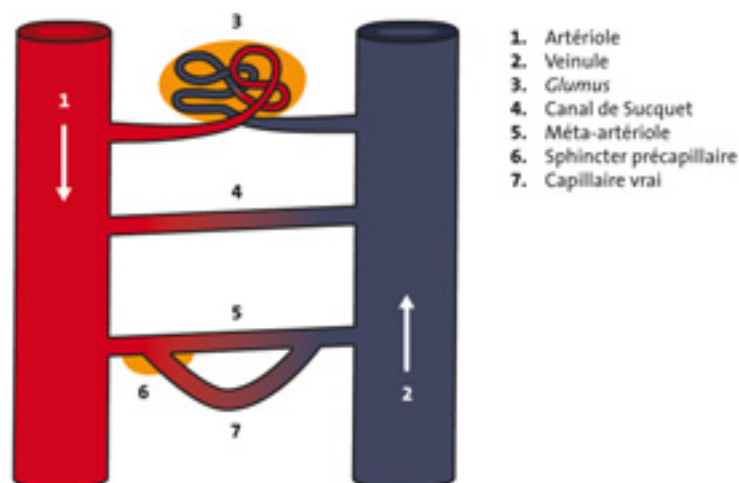
fine possible au métabolisme *in situ*.

Au niveau de la peau, la microcirculation permet la nutrition des différentes couches et l'adaptation aux échanges thermiques. Elle peut aussi servir dans la régulation de la pression artérielle et, dans des situations comme le stress, de réservoir sanguin. Elle a une importance considérable car elle représente l'ultime ramification vasculaire où s'effectuent les échanges tissulaires. Le capillaire est un tubule dont la paroi est constituée d'une couche monocellulaire d'endothélium recouvert d'une lame basale et d'un film de fibrine. On y retrouve des cellules de Rouget qui sont des péricytes sécrétant des facteurs d'inflammation lors des lésions, notamment radiologiques. Les anastomoses artério-veineuses sont situées dans le derme profond. Les capillaires sont les seuls éléments vasculaires à but purement métabolique.

Au niveau sous-unguéal, c'est essentiellement le capillaire vrai qui est observé ; il représente la seule fraction de la microvascularisation réellement observable directement *in vivo* au travers de la peau [20] et est bien visible à la capillaroscopie.

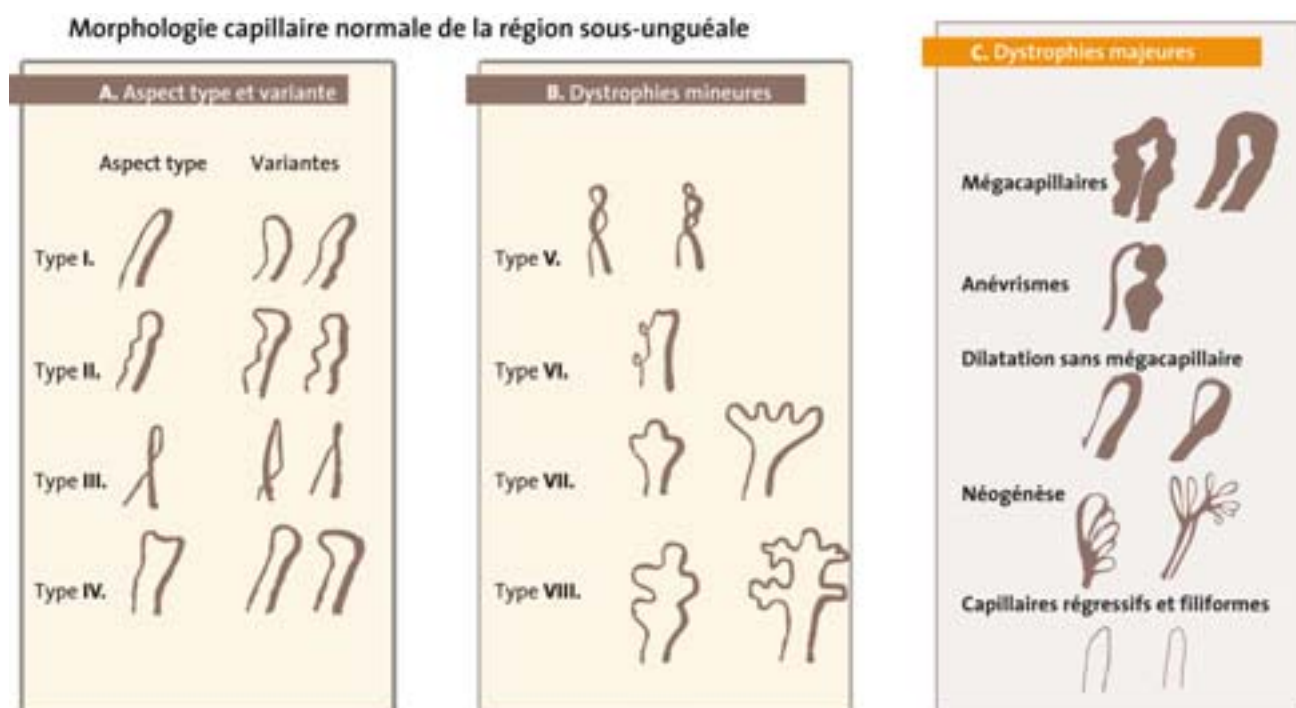
Figure 1

Organisation de l'unité capillaire fonctionnelle d'après Chambers et Zweifach [19].



↓ Figure 2

Aspects morphologiques du capillaire normal, de dystrophies mineures et majeures [18].



LA CAPILLAROSCOPIE NORMALE

Dans les conditions normales, les capillaires du lit de l'ongle se présentent sous la forme d'anses disposées en épingles à cheveux (13 à 17 anses par millimètre), parallèles ou obliques au plan d'observation du microscope (à l'encontre du reste du corps pour lequel les capillaires sont dans un plan perpendiculaire). Ils sont disposés en plusieurs rangées superposées au-dessus du réseau sous-papillaire, dont 3 ou 4 sont accessibles à l'observation microscopique chez le sujet normal. Les branches afférentes et efférentes ont respectivement 7 à 10 μm et 11 à 16 μm de diamètre avec un rapport de 1,2 à 1,3. La longueur des anses capillaires est comprise entre 200 et 400 μm selon les auteurs. Le capillaire est de couleur rosée avec une organisation des anses parallèle au plan cutané. Lors de

l'observation, certains microvaisseaux apparaissent et disparaissent en fonction du remplissage témoignant de la viscoplasticité. Il existe des variations morphologiques normales des capillaires :

- type I : « en épingle à cheveux » correspondant à 80 % des capillaires ;
- type II : branche afférente en caducée ou dilatée comme chez le sujet âgé ;
- type III : formant une boucle ;
- type IV : l'aspect de l'anse n'est pas arrondi de façon uniforme.

Il existe d'autres types correspondant à des dystrophies mineures avec quelques boucles au niveau de l'anse ou une formation torsadée. Leur présence est normale lorsqu'elles représentent moins de 10 % de l'ensemble (figure 2) [21].

ANOMALIES CAPILLAIRES

Les anomalies du capillaire sont de deux types :

- des anomalies quantitatives des capillaires visibles sur l'ensemble des doigts,
- des anomalies qualitatives avec des dystrophies mineures (non pathologiques, si inférieures à 10 %) ou des dystrophies majeures.

Les capillaires constitués exclusivement de cellules endothéliales, sont particulièrement sensibles aux rayonnements ionisants. Ils constituent des témoins privilégiés de l'exposition radique des doigts [20]. Les diverses altérations microvasculaires se traduisent par des anomalies anatomofonctionnelles incluant une extravasation (œdème) accompagnées d'une réduction de la lumière du capillaire (aspect régressif et filiforme) voire sa dispa-

La technique de radiologie interventionnelle
et l'exposition des professionnels

rition (diminution du nombre des anses et zones désertiques) et la présence paradoxale de téléangiectasies et de micro-anévrismes. Le nombre et l'importance de ces altérations sont liés à la dose totale reçue, mais aussi à son fractionnement.

Perdereau retient trois critères anatomofonctionnels caractérisant les effets des rayonnements ionisants sur les capillaires [22] :

- l'extravasation marquée par la présence d'un œdème (critère 1) ;
 - les dystrophies morphologiques et les modifications affectant la distribution du réseau capillaire local (critère 2) ;
 - et les changements de la dynamique microcirculatoire (critère 3).
- Pour faciliter l'objectivité de l'examen capillaroscopique, Perdereau a mis en place une grille d'analyse permettant d'obtenir des données qualitatives et quantitatives des observations des capillaires [22] (tableau I).

BILAN DES TRAVAUX CONCERNANT L'UTILISATION DE LA CAPILLAROSCOPIE POUR OBSERVER L'EFFET DES RAYONNEMENTS IONISANTS

Entre 1920 et 1930, Niekau [23] puis Turano [21] ont appliqué la capillaroscopie à l'observation directe *in vivo* des effets des rayonnements ionisants.

Malgré l'intérêt indéniable de ces travaux réalisés dans des conditions techniques difficiles, ils ne prendront toute leur dimension qu'à partir des années 70 avec le développement de la médecine nucléaire, la multiplication de l'imagerie radiologique et consécutivement la dissémination des procédures à risques. Ainsi, Lenz en 1978 [24], Frau en 1985 [25] et Pennarola en 1983, 1984 et 1991 [26 à 28] ont établi une véritable sémiologie capillaroscopique des effets des irradiations aiguës accidentelles.

↓ **Tableau I**

> **GRILLE D'ANALYSE D'OBSERVATION DES CAPILLAIRES [22].**

Critères	Paramètres	Valeurs normales	Codification (Code 1 à 4)
Critère 1	1. Nombre de rangées visibles	3	1=1 rangée, 2=2 rangées 4=4 ou 5 rangées
	2. Longueur des anses capillaires	2	1 < 300 µ courts 3 > 400 µ allongés
	3. Couleur de fond	3	1 : ivoire 2 : pâle 4 : rouge
	4. Présence d'un œdème	1	> 1 (en fonction de l'importance)
Critère 2	5. Nombre d'anses capillaires observé / mm	2	1 < 13 / mm 3 > 17 / mm 4 > 20 / mm
	6. Néogénèse capillaire	1=absence	2 : rare 3 : dispersé 4 : fréquent
	7. Distribution des capillaires	1	2 : irrégulière 3 : très irrégulière 4 : anarchique
	8. Dystrophies	1 < 10 %	2 : nombreuses, mineures 3 : dystrophies majeures < 25 % 4 : dystrophies majeures > 25 %
	9. Parcours	1	2 : serpigneux 3 : très serpigneux 4 : pelotonné
Critère 3	10. Circulation capillaire	2	1 : nulle 3 : augmentée 4 : stase

L'observation visuelle capillaroscopique se heurte cependant à son caractère analogique et subjectif. De plus, l'absence de signes anatomiques spécifiques des altérations microvasculaires, comme leur relative discrétion, rendent nécessaire l'analyse multiparamétrique des caractéristiques des capillaires sous-unguéaux. Celle-ci doit fiabiliser l'information et améliorer les performances de la méthode, elle peut en outre rechercher les concordances spécifiques des anomalies [20].

La bibliographie ne retrouve que peu de travaux internationaux :

- Pennarola et al. en 1986 [29] ont montré que sur 350 sujets exposés sans précision de l'activité, 5 % présentent à la capillaroscopie des

signes de radiopathologie et 7 % des altérations possiblement liées aux rayonnements ionisants.

- Brumen et al. en 1994 [30] ont comparé des résultats de 3 techniques, capillaroscopie, dermothérométrie et photopléthysmographie dans la recherche de lésions radioinduites. Les résultats montrent que d'une part la capillaroscopie est l'examen qui met en évidence le plus d'anomalies dans les deux groupes exposés ou non exposés (mais de façon significativement plus importante chez les premiers par rapport aux seconds) et d'autre part, que 40 % des personnes exposées ayant des altérations capillaroscopiques n'ont pas d'anomalies aux 2 autres examens.

- Tomei et al. en 1996 [31] ont effectué des capillaroscopies chez 145 médecins (radiologues, cardiologues, orthopédistes) vs 106 témoins (artisans, employés...); il apparaît une plus grande prévalence d'anomalies capillaroscopiques après 20 ans d'exposition.
- Perdereau et al. en 2000 [18] ont réalisé une analyse multiparamétrique par capillaroscopie de 19 sujets exposés professionnellement en milieu hospitalier : celle-ci a montré des anomalies microvasculaires évocatrices d'une origine radique chez 50 % des sujets.
- Perdereau et al. dans une étude non publiée menée de 2001 à 2003, chez des médecins exposés en radiologie interventionnelle (vs témoins également médecins) [22], ont précisé les types de lésions microvasculaires les plus fréquentes en rapport avec l'irradiation chronique chez ces sujets largement exposés, sans notion d'accident radique. Ils ont décrit comme paramètres les plus fréquents la dimi-

nution du nombre de rangées des capillaires, l'hétérogénéité de la distribution des anses, les dystrophies, l'œdème et le parcours serpiginieux. Cependant, cette étude qui n'avait pas été effectuée en aveugle, n'a pas permis d'établir de relation quantifiée entre la dose reçue et les altérations observées faute de pouvoir apprécier les doses réellement reçues au niveau des doigts

Au vu des connaissances acquises par cette dernière étude de Perdereau et al., une nouvelle étude de plus grande ampleur semblait nécessaire afin de confirmer ces résultats et d'étudier l'influence du type d'exposition. Elle a été menée de 2005 à 2010 en multipartenariat et est en cours de publication actuellement. Sa méthodologie et ses résultats feront l'objet d'une parution ultérieure dans la revue, ciblée sur des objectifs de prévention applicables sur le terrain.

POINTS À RETENIR

- La radiologie interventionnelle est la technique médicale la plus à risque pour les opérateurs.
- Les procédures proximales sont les plus exposantes.
- Le tube émetteur de rayons X doit être placé préférentiellement sous la table d'intervention.
- La surveillance dosimétrique des mains des opérateurs en radiologie interventionnelle est impérative.
- Le port de gants latex plombés est une fausse sécurité.
- Les capillaires constitués uniquement de cellules endothéliales sont particulièrement sensibles aux rayonnements ionisants.

Les auteurs tiennent à rendre hommage à B. Perdereau † qui a été à l'origine des deux études concernant l'observation des capillaires chez les professionnels en radiologie interventionnelle entre 2001 et 2005.

BIBLIOGRAPHIE

1 | La radioprotection des travailleurs. Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France : bilan 2011. PRP-HOM/2012-007. IRSN, 2012 (www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/radioprotection/IRSN_bilan_annuel_travailleurs_2011.pdf).

2 | HERBRETEAU D, BRUNEREAU L – Radiologie interventionnelle : diagnostique et thérapeutique. 1998, 1^{re} édition. Collection conduites. Vélizy-Villacoublay : Doin., 1-2 : 178 p.

3 | MÉNÉCHAL P, VALÉRO M, MEGNIBETO C, MARCHAL C ET AL. – La radioprotection des patients et des travailleurs en radiologie interventionnelle et au bloc opératoire. *Hyg Séc Trav.* 2011 ; 222 : 27-33.

4 | WHITBY M, MARTIN CJ – A study of the distribution of dose across the hands of interventional radiologists and cardiologists. *Br J Radiol.* 2005 ; 78 (927) : 219-29.

5 | Radiologie interventionnelle. Radioprotection : secteur médical

FR7. *Réf Santé Trav.* 2012 ; 130 : 151-61.

Cf. erratum p. 123 de la revue

6 | Recommandations sur l'application des principes de la radioprotection dans le domaine de la radiologie interventionnelle. ASN, 2010 (www.asn.fr/index.php/Les-actions-de-l-ASN/Les-appuis-techniques/Les-groupes-permanents-d-experts/Groupe-permanent-d-experts-radioprotection-medicales-medico-legales-GPMED).

La technique de radiologie interventionnelle et l'exposition des professionnels

- 7 | CLEMENT CH (Ed) – ICRP Statement on Tissue Reactions. ICRP Publication 118, Part 1. *Ann ICRP*. 2012 ; 41 (1-3) : 9-14.
- 8 | AUBERT B – Évaluation du risque en radiologie interventionnelle. *Arch Mal Prof Environ*. 2002 ; 63 (3-4) : 195-96.
- 9 | MARTIN CJ – A review of radiology staff doses and dose monitoring requirements. *Radiat Prot Dosimetry*. 2009 ; 136 (3) : 140-57.
- 10 | DELICHAS M, PSARRAKOS K, MOLYVDA-ATHANASSOPOULOU E, GIANNOGLOU G ET AL. – Radiation exposure to cardiologists performing interventional cardiology procedures. *Eur J Radiol*. 2003 ; 48 (3) : 268-73.
- 11 | WATSON LE, RIGGS MW, BOURLAND PD – Radiation exposure during cardiology fellowship training. *Health Phys*. 1997 ; 73 (4) : 690-93.
- 12 | GUERSEN J, DONADILLE L, REHEL JL, CHARVAIS A ET AL. – Intérêt des gants radio-atténuateurs en radiologie interventionnelle : une évaluation expérimentale. *Radioprotection*. 2011 ; 46 (3) : 387-97.
- 13 | VANO E, GEIGER B, SHREINER A, BACK C ET AL. – Dynamic flat panel detector versus image intensifier in cardiac imaging: dose and image quality. *Phys Med Biol*. 2005 ; 50 (23) : 5731-42.
- 14 | AUBERT B – Les techniques interventionnelles en médecine et radioprotection. Actes du colloque du 13 octobre 2009 (www.sfrp.fr/publications/actes_des_congrès_et_journées_techniques).
- 15 | La radioprotection des travailleurs. Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France : bilan 2010. Rapport DRPH/DIR/2011-19. IRSN, 2011 (www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/radioprotection/IRSN_bilan_annuel_travailleurs_2010.pdf).
- 16 | MÉRAT F, DONADILLE L, REHEL JL, GAURON C – Évaluations dosimétriques des extrémités chez les praticiens en imagerie interventionnelle. *Arch Mal Prof Environ*. 2010 ; 71 (3) : 495-96.
- 17 | GINJAUME M, VANHAVERE F, CARINOU E, GUALDRINI G ET AL. – International Workshop on optimization of Radiation Protection of Medical Staff, ORAMED 2011. *Radiat Meas*. 2011 ; 46 (11) : 1195-1334.
- 18 | PERDEREAU B, BRIXY F, PENNAROLA R, GAURON C ET AL. – Contrôle capillaroscopique sous-unguéal des personnels radioexposés : résultats préliminaires et incidence en radioprotection. *Radioprotection*. 2000 ; 35 (3) : 335-66.
- 19 | CHAMBERS R, ZWEIFACH BW – Blood-borne vasotropic substances in experimental chock. *Am J Physiol*. 1947 ; 150 (2) : 239-52.
- 20 | MERLEN JF – La capillaroscopie, moyen d'exploration fonctionnelle. *Ann Med Nancy*. 1980 ; 19 : 189-95.
- 21 | TURANO L – Sulle modificazioni dei capillari aile radiazioni roentgen. *Arch Radiol*. 1930 ; 8 : 349-63.
- 22 | PERDEREAU B, GAURON C, BRIXY F, ASSELAINE B ET AL. – Contrôle par capillaroscopie sous-unguéale des radioexpositions en milieu hospitalier. *Arch Mal Prof Environ*. 2004 ; 65 (2-3) : 264.
- 23 | NIEKAU B – Anatomische und Klinische Beobachtungen mit der Hautkapillarmikroskopie. *Deutsches Archi Für Klin Med*. 1920 ; 132 : 301.
- 24 | LENZ U, SCHUTTMANN W, ARNDT D, THORMANN – Late effects of ionizing radiation on the human skin after occupational exposures. In: Proceedings of the symposium on the late biological effects of ionizing radiation. Vienna : International Atomic Energy Agency. Volume 1 ; 1978 : 321-29, 564 p.
- 25 | FRAU P, MELONI M, BARIO P, USALA A ET AL. – Quadro capillaroscopico in soggetti esposti a radiazioni ionizzanti. *Riv Inf Mal Prof*. 1985 ; 52 : 67-72.
- 26 | PENNAROLA R – L'esame Capillaroscopico nella prevenzione delle manifestazioni da radiazioni ionizzanti. *Rass Intern Cl Ter*. 1983 ; 63 : 307-13.
- 27 | PENNAROLA R – Les techniques de la capillaroscopie dans le but de la prévention des sujets exposés aux radiations ionisantes. Actes du congrès international de l'IRPA, Berlin, 7- 12 mai 1984. Communication VI, (vol.II) : 860-63.
- 28 | PENNAROLA R, PERDEREAU B, GONGORA R – La capillaroscopie en radiopathologie. *Folia Med*. 1991 ; 63 (1) : 1-26.
- 29 | PENNAROLA R – Capillary microscopy as preventive medicine in subjects exposed to ionising radiation. *Br J Radiol Suppl*. 1986 ; 19 : 86-88.
- 30 | BRUMEN V, HORVAT D, BONIC I – Evaluation of serial application of capillaroscopy, photoplethysmography, and dermathermometry in diagnosis and prevention of radiolesions of peripheral microvessels. *Microvasc Res*. 1994 ; 47 (2) : 270-78.
- 31 | TOMEI F, PAPAEO B, FANTINI S, LAVICOLI S ET AL. – Vascular effects of occupational exposure to low-dose ionizing radiation. *Am J Ind Med*. 1996 ; 30 (1) : 72-77.