

Medizinische Strahlenexposition in der Schweiz

Teil 1: Frequenzen, Dosen, Konsequenzen

Exposition médicale aux radiations en Suisse.

Partie 1: Fréquences, doses, conséquences

Peter Vock, Jean-François Valley

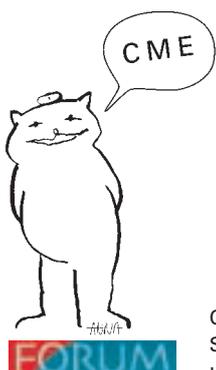
(im Auftrag der Eidgenössischen Kommission für Strahlenschutz und Überwachung der Radioaktivität, KSR)

Quintessenz

- Bei der medizinischen Strahlendiagnostik, deren biologisches Potential in Form der effektiven Dosis (Einheit «Sievert» = Sv) abgeschätzt wird, sind Langzeiteffekte vor allem in Form maligner Neoplasien zu erwarten.
- Das Lebenszeitrisiko für Krebsmortalität beträgt bei 100 mSv 0,5%; es steigt mit jüngerem Alter zum Zeitpunkt der Exposition und sinkt mit höherem Alter.
- In der Schweiz trug die medizinische Diagnostik 1998 mit im Mittel 1,34 Röntgenuntersuchungen pro Person 1 mSv oder 25% zur Bevölkerungsexposition mit ionisierender Strahlung bei.
- Die medizinische Kollektivdosis war 1998 zu 41% durch Röntgenuntersuchungen, zu je 28% durch Computertomographie (CT) und durch Durchleuchtungen, aber nur zu 1% zahnärztlich bedingt.
- Zahnmedizinische, Extremitäten- und Thoraxröntgenuntersuchungen überwogen zahlenmässig, die Röntgenuntersuchungen am übrigen Körperstamm (namentlich der Wirbelsäule und dem Becken), die Computertomographien und die Durchleuchtungen (inkl. durchleuchtungsgestützte Interventionen) trugen demgegenüber den grössten Teil zur medizinischen Bevölkerungsexposition bei.

Quintessence

- *Dans le radiodiagnostic médical, dont le potentiel biologique estimé s'exprime en dose effective (unité: le Sievert = Sv), c'est sous la forme de néoplasies malignes que des effets à long terme sont le plus à craindre.*
- *Le risque de mortalité par cancer, cumulé sur toute la vie, est de 0,5% pour une dose de 100 mSv; ce risque est plus élevé chez les individus jeunes (et diminue avec l'âge) au moment de l'exposition.*
- *Avec en moyenne 1,34 examens radiologiques par personne en Suisse, le diagnostic médical a contribué en 1998 pour 1 mSv ou 25% à l'exposition de la population à des radiations ionisantes.*
- *La dose collective d'exposition médicale en 1998 était due pour 41% à des examens radiodiagnostic, pour 28% respectivement à des examens de tomodensitométrie (CT) et à des radioscopies, mais pour 1% seulement à des examens dentaires.*
- *Les examens radiodiagnostic dentaires, des extrémités et du thorax ont été les plus nombreux; en revanche, ceux des autres parties du tronc (notamment de la colonne vertébrale et du bassin), ainsi que les tomodensitométries et les radioscopies (y compris les interventions sous radioscopie) ont contribué pour la plus grande part à l'exposition médicale de la population.*



CME zu diesem Artikel finden
Sie auf S. 859 oder im Internet
unter www.smf-cme.ch

Vous trouverez les questions à choix multiple
concernant cet article à la page 860 ou sur internet
sous www.smf-cme.ch

Einleitung

Epidemiologische Daten und Erkenntnisse der Strahlenbiologie haben in den vergangenen 15 Jahren eine Neuüberprüfung der Bedeutung einer Exposition des Körpers mit ionisierender Strahlung veranlasst [1–5], und *internationale* wie nationale Instanzen haben daraus Konsequenzen gezogen und *Empfehlungen* abgeleitet bzw. diese in Richtlinien und Gesetze umgesetzt [6–11]. Konkret hat die «International Commission on Radiological Protection» (ICRP) 1990 den ohne Schwellenwert möglichen, oft um viele Jahre verzögert manifesten biologischen Effekten in ihrer Publikation 60 Rechnung getragen [2]. Dabei wurde als für das Individuum relevantes Mass die «effektive Dosis» definiert, welche der unterschiedlichen biologischen Wirksamkeit verschiedener Strahlenarten und der unterschiedlichen Empfindlichkeit verschiedener Organe Rechnung tragen soll.

Eine grosse Bedeutung kommt dabei sowohl aus der Sicht der ICRP [2] als auch aus jener der Europäischen Kommission [6] der Ausbildung des für die medizinische Anwendung ionisierender Strahlung verantwortlichen Personals zu. Unser Beitrag soll diese Diskussion mit den aktuell für die Schweiz verfügbaren Daten bereichern und eine Bestandesaufnahme erleichtern. In einem ersten Teil sollen die Grundlagen für das Verständnis der Dosen und ihrer biologischen Bedeutung geschaffen werden. Die Resultate der 1998 durchgeführten Erhebung zur Strahlenexposition in der Schweiz [12] werden zusammengefasst, mit internationalen Daten verglichen, und die daraus resultierenden strahlenschutzrelevanten Empfehlungen werden diskutiert. In einem zweiten Teil wird die Rolle der sogenannten dosisintensiven Untersuchungen, insbesondere der Computertomographie, genauer analysiert werden.

Biologisches Potential ionisierender Strahlung

Von der Strahlendosis abhängige, erst ab einer Mindestdosis auftretende Wirkungen werden als *deterministische Effekte* bezeichnet; diese sind unterhalb einer gewebeabhängigen Schwellendosis nicht, oberhalb dieser Schwelle jedoch in einem hohen Prozentsatz zu erwarten. Dazu gehören etwa Rötung, Ulzeration, Epilation, Vernarbung, wie sie in der Malignombehandlung bei hohen Dosen einer therapeutischen Strahlenanwendung akut, subakut oder chronisch im exponierten Körperbereich vorkommen können. Deterministische Effekte werden auch in der Röntgendiagnostik ausnahmsweise bei langdauernden durchleuchtungsgesteuerten Behandlungen an der Strahleneintrittsstelle beschrieben [3, 13]. In der Röntgendiagnostik geht es indessen in er-

ster Linie um *stochastische Effekte*; diese werden als jene Wirkungen definiert, welche ohne Dosischwelle schon bei kleinsten Mengen ionisierender Strahlung mit einer bestimmten, dosisabhängigen geringen Wahrscheinlichkeit zu erwarten sind. Diese Wahrscheinlichkeit steigt mit der Dosis und korreliert akut mit der initialen Ionisierung von Atomen und Molekülen, der Radikalfreisetzung, anschliessenden chemischen Reaktionen und verschiedenartigen Veränderungen an Genen und Chromosomen. Stochastische Effekte werden äusserlich kaum je erkannt; ihre Folgen können klinisch erst nach Jahren, oft Jahrzehnten in Erscheinung treten in Form von strahleninduzierten malignen *Neoplasien* [3, 13, 14]. Die ebenso stochastischen *genetischen Veränderungen* werden an die nachfolgenden Generationen weitergegeben und können so verzögert zu Konsequenzen führen. Eine Bestrahlung im *jugendlichen Alter* weist bei gleicher Dosis ein höheres biologisches Potential auf, einerseits wegen der höheren Strahlenempfindlichkeit des jungen proliferierenden Gewebes, andererseits auch wegen der langen Lebenserwartung, welche Spätfolgen häufiger erleben lässt [1–3, 13, 15]. Demgegenüber ist das Risiko bei einer Exposition in der zweiten Lebenshälfte bei weniger aktiver Zellteilung und kürzerer Lebenserwartung bedeutend geringer [1, 2]. Während grundsätzlich über die dosisproportionale Wahrscheinlichkeit stochastischer Effekte keine Zweifel bestehen, ist im Kleinstdosisbereich die Linearität der Dosis-Wirkungs-Beziehung experimentell schwierig zu beweisen. Die Quantifizierung des Risikos wird dadurch erschwert, dass innerhalb von epidemiologischen Studien die Dosen für die untersuchten Individuen, die einer Strahlenexposition ausgesetzt waren, in der Regel nur mit relativ hoher Unsicherheit bekannt sind, dass die Dosis bei den meisten diagnostischen Anwendungen vergleichsweise gering ist und dass statistische Aussagen erst nach Jahrzehnten anhand grosser Populationen möglich sind. So beruhen die Kenntnisse über die biologischen Effekte ionisierender Strahlung am Menschen heute in erster Linie auf den Langzeitauswertungen der Überlebenden unter den japanischen Atombombenopfern. Sie lassen nach einer Dosis von 100 mSv (mSv) ein Lebenszeitrisiko von 0,5% für Krebsmortalität erwarten, differenziert nach dem Alter der Exposition in weniger als 0,5% bei Personen über 50 Jahren und in annähernd 1,2% bei solchen unter 20 Jahren [1, 2].

Die effektive Dosis als Mass für das biologische Potential

Medizinische Strahlenexpositionen verteilen sich in den meisten Fällen *nicht homogen* über den Körper, sondern betreffen einmal bevorzugt

die eine, ein anderes Mal die andere Region. Handelt es sich für die mittels Röntgenstrahlen untersuchte Körperregion um Direktstrahlung, so ist vor allem am Körperstamm auch die diagnostisch störende sekundäre Streustrahlung von grosser Bedeutung, da sie selbst nicht im Strahlengang gelegene Organe exponiert. Je nach Untersuchungstyp bedeutet dies ganz verschiedene lokale bzw. Organdosen, wobei als Grösse für die *pro Massenelement absorbierte Energie* (Energiedosis, D) die Einheit «Gray» (Gy) dient. Hinzu kommt nun, dass die biologische Wirkung nicht für jeden *Strahlungstyp* pro Dosisseinheit die gleiche ist und dass die *Gewebe* der verschiedenen Organe ganz verschieden strahlenempfindlich sind, also bei gleicher Dosis der gleichen Strahlenqualität eine unterschiedlich starke biologische Wirkung erfahren, und dass somit das stochastische Risiko ebenso variiert. Mit der Definition der *effektiven Dosis* (Einheit «Sievert», Sv) bezweckte die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP [2]) eine unabhängig von der Strahlenart, der Energiedosis und der exponierten Körperregion gültige Grobquantifizierung des biologischen Risikos. Diese kann nicht gemessen, sondern muss mathematisch mit Hilfe von Simulationsrechnungen geschätzt werden, indem für alle wichtigen Organe das Produkt von mittlerer Energiedosis mal Organwichtungsfaktor mal Strahlenwichtungsfaktor gebildet und die Produkte für den ganzen Körper integriert werden. Selbst die Organdosen können nicht am Patienten gemessen werden, sondern müssen entweder am Standardphantom durch Wiederholung des Untersuchungsanges mit zahlreichen Organdosimetern nach erfasst oder aber am mathematischen Modell errechnet werden, unter Vorgabe der Körpermorphologie und der Regeln des physikalischen Verhaltens ionisierender Strahlung im Körper (sogenannte Monte-Carlo-Methode [16]).

Im medizinischen Alltag ist somit eine direkte sofortige Erfassung der effektiven Dosis nicht praktikabel; hier arbeitet man heute meist mit dem *Dosisflächenprodukt*, einer Einheit [$\text{Gy} \times \text{cm}^2$], welche mit an der Röntgenröhre montierter Messkammer leicht und ohne Beeinträchtigung des medizinischen Untersuchungsablaufs zu erfassen ist [17]. Aus dem für den individuellen Patienten spezifischen Dosisflächenprodukt kann regions- bzw. untersuchungsspezifisch anhand von Erfahrungswerten die effektive Dosis abgeschätzt werden. Zur Risikobeurteilung ist weiter zu ergänzen, dass die Quantifizierung der biologischen Bedeutung einer Exposition stets von einer Reihe von Annahmen und Näherungen ausgeht und deshalb eine *Unsicherheit* von ca. $\pm 30\text{--}50\%$ akzeptiert werden muss. Beim Dosisvergleich verschiedener medizinischer Verfahren geht es oft um Unterschiede von 100% und mehr, so dass eine Aussage durchaus sinnvoll ist.

Gesamte Bevölkerungsexposition mit ionisierenden Strahlen

Die neuesten Daten für die Schweiz sind im Jahresbericht 2002 über Umweltradioaktivität und Strahlendosen des Bundesamtes für Gesundheit (BAG) nachzulesen [18]. Danach beträgt die mittlere Exposition in der Schweiz zur Zeit etwa *4 mSv pro Jahr*. Davon sind ca. 2,8 mSv natürlich bedingt und verteilen sich auf Radon-Exposition (1,6 mSv), Umgebungsstrahlung (inkl. kosmische Strahlung; 0,8 mSv) und Bestrahlung durch natürliche Radionuklide im Körper (0,4 mSv; vor allem durch Nahrung zugeführt). Unter den künstlichen Quellen überwiegt die medizinische Röntgendiagnostik mit im Mittel ca. 1 mSv, während die übrigen Ursachen nur ca. 0,2 mSv beitragen, darunter die berufliche Strahlenexposition ca. 0,0007 mSv; die ebenfalls in diese Kategorie zu zählenden Kernkraftwerke tragen 0,0004 mSv (0,04%) zur Strahlenbelastung der Schweizer Bevölkerung bei.

Die genannten Mittelwerte sind wertvoll, sagen allerdings nichts über die Breite der Dispersion und damit die individuell unterschiedliche Exposition aus. Sehr grosse Unterschiede gelten insbesondere für die Radon-Belastung (orts- und gebäudeabhängig), die Umgebungsstrahlung (orts- und höhenabhängig, Hin- und Rückflug Schweiz–USA–Schweiz ca. 0,1 mSv [19]), aber auch für die medizinische und die berufliche Exposition.

Medizinische Strahlenexposition in der Schweiz (Erhebung 1998)

Die medizinische Strahlenexposition setzt sich ihrerseits aus mehreren Komponenten zusammen, der quantitativ stark im Vordergrund stehenden Röntgendiagnostik (ca. 1 mSv), der bei einem viel kleineren Bevölkerungsanteil eingesetzten Nuklearmedizin (ca. 0,09 mSv [4] bis 0,14 mSv [21]) und der noch viel weniger Individuen betreffenden Radiotherapie, bei der die Diskrepanz zwischen lokal sehr hoher Organdosis und effektiver Dosis am grössten und das Risiko der Strahlenexposition in der Regel gegenüber dem Krankheitsrisiko sehr gering ist.

Aus diesen Gründen war es sicher sinnvoll, dass die schweizerische Erhebung, im Auftrag des BAG 1998 durch das *Institut de Radiophysique Appliquée* und das *Institut de Médecine Sociale et Préventive* der Universität Lausanne durchgeführt, dem Umfang und den damit verbundenen Dosen der Röntgendiagnostik galt [12]. Methodisch mit recht grossem Aufwand wurden bei repräsentativen Proben der in der Schweiz die Röntgenstrahlung anwendenden Medizinalbereiche die Frequenzen, Daten über die untersuchten Personen sowie technische Spezifikationen erhoben und daraus die resultierenden ef-

effektiven Dosen berechnet. Die erhaltenen Daten dürfen als für die gegenwärtige Situation in der Schweiz gültig angesehen und für die Standort-

Tabelle 1. Röntgenuntersuchungstypen, Häufigkeiten und Dosen (1998 Schweiz [12]).

Methode	Untersuchungen/ Jahr	% Unter- suchungen	% effektive Kollektivdosis
Röntgen	4 559 464	48	41
Kopf, Hals, Halswirbelsäule		9	
Thorax Standard/Schirmbild		34	
Thorax Rest, Brustwirbelsäule		2	
Abdomen, Lendenwirbelsäule		9	
Becken, Hüfte		8	
Obere Extremität		18	
Untere Extremität		20	
Röntgen + Durchleuchtung	155 799	2	17
Angiographie/Intervention	96 817	1	11
CT	328 484	3	28
Zahnröntgen	4 123 478	43	1
Spezielles	266 161	3	1
Total	9 530 203	100	100

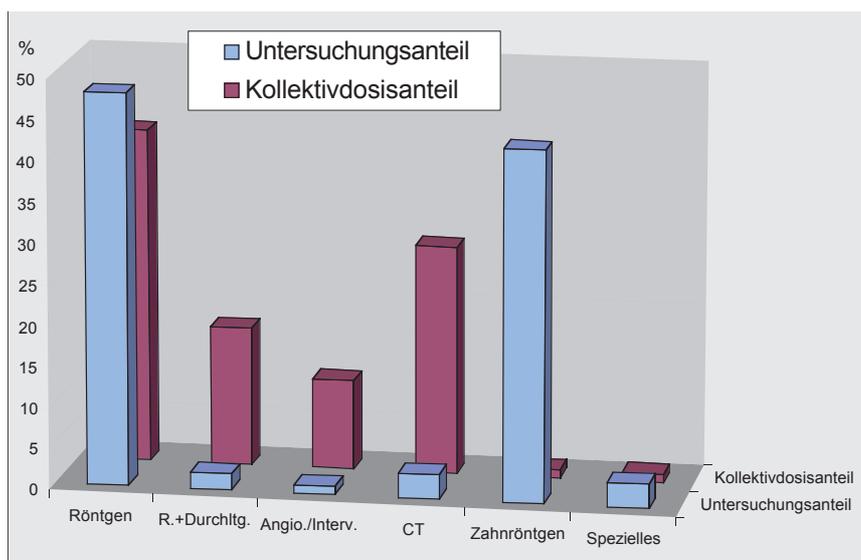


Abbildung 1.

Vergleich der relativen Frequenzen medizinischer Untersuchungen und der gekoppelten relativen Beiträge zur medizinischen Bevölkerungsexposition. Während unter den Untersuchungstypen (blaue vordere Balken) Röntgen und Zahnröntgen überwiegen, kommt die Bevölkerungsexposition (dunkelrote hintere Balken) vor allem durch Röntgen, durchleuchtungsgestützte Röntgenuntersuchungen, Angiographie-Intervention und die CT zustande.

Tabelle 2. Röntgenuntersuchungen (alle Typen) je Körperregion (1998 Schweiz [12]).

Körperregion	Untersuchungen/ Jahr	% effektive Kollektivdosis
Kopf-Hals*	4 661 249	49
Thorax*	1 940 651	20
Abdomen*	350 624	4
Becken	744 889	8
Extremitäten	1 832 616	19
Alle Regionen	9 530 029	100

* jeweils unter Einschluss des zugehörigen Wirbelsäulensegmentes

beurteilung sowie die Planung von Massnahmen des Strahlenschutzes als Basis betrachtet werden. Details können im Internet abgerufen und Originalpublikationen entnommen werden; hier soll indessen ein zusammenfassender Überblick über die Resultate der Erhebung gegeben werden:

Untersuchungshäufigkeiten: Auf das ganze Jahr 1998 umgerechnet wurden in der Schweiz 9 530 203 Untersuchungen mit der Röntgentechnik durchgeführt, davon 48% eigentliche Röntgenaufnahmeuntersuchungen, 43% zahnärztliche Untersuchungen, je 3% Computertomographie(CT)- und Spezialuntersuchungen, 2% Durchleuchtungen, und 1% Angiographien/Interventionen (Tab. 1 [↩], Abb. 1 [↪]).

Die Untersuchungen verteilen sich wie folgt auf die verschiedenen Körperregionen: in 49% auf Kopf und Hals, in 20% auf den Thorax, in 19% auf die Extremitäten, in 8% auf das Becken und in 4% auf das Abdomen (Tab. 2 [↩]).

Die geschätzte medizinische effektive *Populationsdosis* betrug für das Jahr 1998 global 7110 Sv und individuell 1,0 mSv. Ihre Anteile aus den verschiedenen Untersuchungen unterschieden sich wesentlich von den entsprechenden Untersuchungsfrequenzen. Zur durchschnittlichen medizinischen Exposition von 1,0 mSv trugen zu 41% die Röntgenuntersuchungen bei, zu 28% die CT, zu 17% die Durchleuchtungen, zu 11% Angiographien/Interventionen und zu je 1% Zahnröntgen und Spezialuntersuchungen (Abb. 1, Tab. 1). Dies bedeutet, dass der durch Röntgenuntersuchungen verursachte Dosisanteil in etwa der Untersuchungsfrequenz entspricht, dass CT, Durchleuchtung und Angiographie/Intervention eine verglichen mit der Untersuchungshäufigkeit weit überproportionale Exposition und Zahnröntgen-Untersuchungen eine weit unterproportionale Exposition mit sich brachten.

Anwenderkategorien und Häufigkeiten/Dosen (Tab. 3 [↩]): Erbringer der Leistungen waren in 43% die Zahnärzte, in 22% bzw. 10% die kleineren bzw. die grösseren Spitäler, in 15% die Grundversorger (Allgemeinmediziner/Allgemeininternisten/Pädiater), in 2% die Radiologen in freien Praxen und in 8% andere Spezialisten. Trugen die kleineren bzw. grösseren Spitäler 47% bzw. 27% zur Populationsdosis bei, so waren es die Allgemeinmediziner/Allgemeininternisten in 9%, die Radiologen in Praxen in 7%, die Zahnärzte in 1% und andere Spezialisten in 10%.

Alter und Häufigkeiten/Dosen: Die Altersverteilung der einer medizinischen Strahlenbelastung ausgesetzten Population war anders als jene der Gesamtbevölkerung, wobei mehr ältere Leute medizinisch strahlenexponiert wurden, und diese Abweichung zum höheren Alter war bei der CT-exponierten Population sogar noch etwas ausgeprägter (Abb. 2 [↪]). Waren 36% der Ge-

Tabelle 3. Röntgenuntersuchungen nach Leistungserbringer (1998 Schweiz [12]).

Erbringer	Untersuchungen/ Jahr	% Unter- suchungen	% effektive Kollektivdosis
Spitäler A (gross)	943 598	10	27
Spitäler B (kleiner)	2 054 128	22	47
Radiologen in Praxen	236 115	2	7
Zahnärzte	4 107 721	43	1
Grundversorger	1 459 749	15	9
Andere	728 892	8	10
Total	9 530 203	100	100

samtbevölkerung weniger als 30 Jahre alt, so waren es knapp 20% der medizinisch Strahlenexponierten und 11% der CT-Untersuchten; ähnlich war der Anteil der weniger als 50-Jährigen in den drei Populationen 67%, 46% bzw. 38%, was natürlich die Tatsache widerspiegelt, dass medizinische diagnostische Massnahmen und Behandlungen häufiger bei älteren Individuen erforderlich sind.

Dosisintensive und nichtdosisintensive Röntgenuntersuchungen: Betrachtet man die mit einer Untersuchung verbundene Strahlenexposition eines Individuums, so ergeben sich klare Unterschiede; liegt die Exposition für Zahn-, Extremitäten- und Thorax-Röntgenuntersuchungen in der grossen Mehrzahl der Fälle unter 200 μ Sv, so ist sie bereits für Wirbelsäulen-, Abdomen- und Becken-Röntgenuntersuchungen etwa 500 μ Sv bis 3 mSv, erreicht für Durchleuchtungen und CT ca. 3 bis 10 mSv und für Angiographien/Interventionen im Mittel gar 7–14 mSv, mit grossen individuellen Abweichungen. Angesichts dieser Fakten erscheint es zumindest sinn-

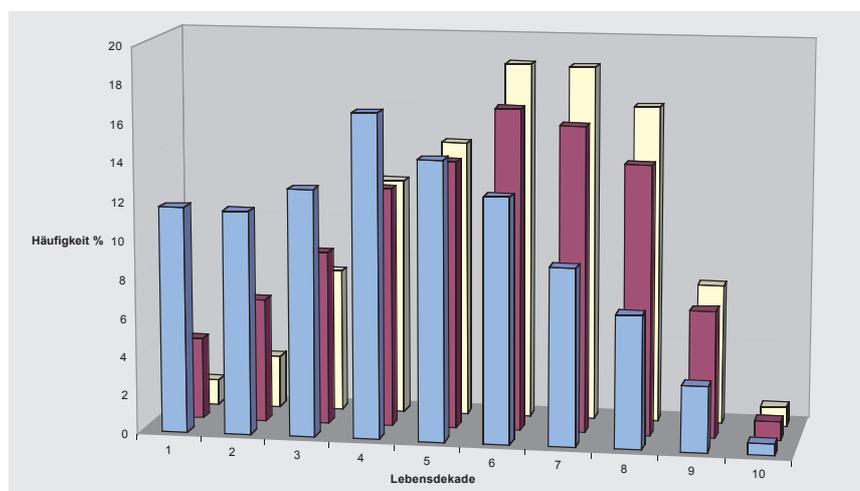
voll, zwischen einfachen, «nichtdosisintensiven» Untersuchungen mit geringer Exposition und komplizierteren, «dosisintensiven» Untersuchungen mit höherer Exposition auch bezüglich der erforderlichen beruflichen Ausbildung der sie durchführenden medizinischen Personen zu differenzieren [9].

Vergleich mit internationalen Daten

Das Mass der medizinisch-technologischen Entwicklung und die Verfügbarkeit von Bildgebungsanlagen in einem als relativ geschlossener Markt funktionierendes Land bestimmen wesentlich die Häufigkeit des Einsatzes von Röntgenverfahren im medizinischen Alltag [5]. So verwundert es keineswegs, dass die medizinische Strahlenbelastung in Entwicklungsländern minim ist. In England mit einem staatlich kontrollierten, viele Ressourcenengpässe beinhaltenden System beträgt sie 0,33 mSv pro Person und Jahr [20], und sogar in den USA liegt sie mit 0,54 mSv [21] deutlich tiefer als etwa in der Schweiz, während Deutschland seinerseits mit 2 mSv pro Person und Jahr die Schweiz übertrifft [22]. Als Beispiel sei exemplarisch erwähnt, dass pro Einwohner jährlich in Deutschland 0,266/0,099, in der Schweiz 0,207/0,049 und in Norwegen 0,146/0,059 Thorax- bzw. Becken-Hüft-Röntgenuntersuchungen durchgeführt wurden [5]. Da Erhebungen wegen möglicher methodischer Unterschiede mit Vorsicht zu vergleichen sind und der Nutzen der Bildgebung für die Gesundheit einer Bevölkerung schlecht zu quantifizieren ist, sollen auch Schlussfolgerungen über eine sinnvolle Bildgebungsfrequenz mit grosser Vorsicht gezogen werden. Die schweizerischen Daten scheinen zumindest in der Gröszenordnung ins internationale Umfeld zu passen.

Digitale Technik

Nicht unmittelbar, aber im Verlauf ca. eines Jahrzehnts wird die Bildgebung angesichts der Digitalisierung der gesamten Medizin mit elektronischen Krankengeschichten selbst in der Allgemeinpraxis zu einem wesentlichen Teil digital durchgeführt werden. Neben den vielfältigen Vorteilen einer solchen Lösung (z.B. Einsparung der Filmkosten, volumensparende Archivierung, kostengünstiger Versand) soll in diesem Zusammenhang lediglich darauf hingewiesen werden, dass die digitale Technik im optimalen Falle Dosis sparen lässt, dass aber die heute am weitesten verbreitete Technologie (Speicherfolien- bzw. Phosphorplattentechnik genannt, englisch «*Computed Radiography*», CR) auch im optimalen Anwendungsfall mindestens so hohe Dosen erfordert wie eine gute analoge Film-Folientechnik. Können dank digitaler Nachverarbeitung oft Aufnahmewiederholungen vermieden werden,

**Abbildung 2.**

Altersverteilung über die Lebensdekaden der gesamten Schweizer Bevölkerung, der medizinisch strahlenexponierten Bevölkerung und der mittels CT untersuchten Bevölkerung der Schweiz. Überwiegen in der Schweizer Bevölkerung die ersten fünf Lebensdekaden (vorderste blaue Balken), so sind in den medizinisch strahlenexponierten Bevölkerungsanteilen (mittlere dunkelrote Balken) und insbesondere den mittels CT untersuchten Anteilen unserer Bevölkerung (hinterste gelbe Balken) die höheren Lebensdekaden deutlich überrepräsentiert.

so weist die digitale gegenüber der analogen, herkömmlichen Technik den grundsätzlichen Nachteil auf, dass – wegen der linearen Empfindlichkeit über einen weiten Expositionsbereich und der automatischen Graustufenanpassung – überexponierte Aufnahmen nicht schwarz erscheinen und erkannt werden, sondern dank verbessertem Signal-Rausch-Verhältnis als gut eingestuft und unbemerkt akzeptiert werden. Sofern also nicht der Dosis besondere Beachtung geschenkt wird, können konstant und über lange Zeit zu hohe Dosen verwendet werden.

Empfehlungen zum Vorgehen

Die Erhebung hat eine gegenüber Voruntersuchungen – trotz bedeutender Umlagerungen im Spektrum der radiologischen Verfahren – annähernd konstant gebliebene Strahlenexposition der Schweizer Bevölkerung von im Mittel 1.0 mSv pro Jahr gezeigt. Was die Röntgendiagnostik be-

trifft, bleiben deshalb auch die Empfehlungen die bewährten, international anerkannten [23]: Aufbauend auf einer Strahlenschutz-bewussten *Indikationsstellung* sollen die Untersuchungen *technisch optimiert* durchgeführt werden, d.h. unter Verwendung stark verstärkender Folien, mit enger Einblendung auf den zu untersuchenden Körperbereich und unter *Verzicht auf jede* in der konkreten klinischen Situation *unnötige Projektion*; beides verlangt sowohl eine adäquate *Ausbildung* des die Untersuchung durchführenden Medizinalpersonals als auch eine direkte *ärztliche Überwachung*. Bei digitaler Technik ist – wegen der fehlenden Auswirkung für das menschliche Auge – peinlich darauf zu achten, dass die verwendete Dosis nicht über dem erforderlichen Minimum liegt. Besondere Anstrengungen, insbesondere die Festlegung und Einhaltung von *Referenzdosen* [23, 24], sind bezüglich dosisintensiver Untersuchungen gerechtfertigt; darauf wird im zweiten Beitrag eingegangen werden.

Literatur

- 1 BEIR V (Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations). Health effects of exposure to low levels of ionizing radiation. Washington DC: National Academy Press, 1990.
- 2 International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 60. 1990 recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Oxford: Pergamon, 1991.
- 3 Fritz-Niggli H. Strahlengefährdung/Strahlenschutz – Ein Leitfaden für die Praxis. 4., überarbeitete und ergänzte Auflage. Bern: Verlag Hans Huber, 1997.
- 4 United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 1993 Report to the General Assembly. New York: United Nations, 1993.
- 5 United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly. Volume I: Sources. New York: United Nations, 2000.
- 6 Europäische Kommission. Richtlinie 97/43/Euratom des Rates vom 30. Juni 1997 über den Gesundheitsschutz von Personen gegen die Gefahren ionisierender Strahlung bei medizinischer Exposition und zur Aufhebung der Richtlinie 84/466/Euratom. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 180/22, 9.07.97.
- 7 European Commission. Referral guidelines for imaging. Radiation Protection 118. Luxemburg, Directorate-General for the Environment, 2001.
- 8 Schweizerische Eidgenossenschaft. Strahlenschutzgesetz vom 22. März 1991. Bern: Bundeskanzlei, 1991.
- 9 Schweizerische Eidgenossenschaft. Strahlenschutzverordnung vom 22. Juni 1994. Bern: Bundeskanzlei, 1994.
- 10 Schweizerische Eidgenossenschaft. Verordnung über den Strahlenschutz bei medizinischen Röntgenanlagen (Röntgenverordnung) vom 20. Januar 1998. Bern: Bundeskanzlei, 1998.
- 11 Schweizerische Eidgenossenschaft. Verordnung über die Ausbildungen und die erlaubten Tätigkeiten im Strahlenschutz (Strahlenschutz-Ausbildungsverordnung) vom 15. September 1998. Bern: Bundeskanzlei, 1998.
- 12 a) Aroua A, Vader JP, Valley JF. Enquête sur l'exposition par le radiodiagnostic en Suisse. Lausanne: IRA/IMS. 2000. www.hospvd.ch/public/instituts/ira/.
- 12 b) Aroua A, Burnand B, Decka I, Vader JP, Valley JF. Nationwide survey on radiation doses in diagnostic and interventional radiology in Switzerland 1998. Health Phys 2002;83: 46–55.
- 12 c) Zusammenfassung: Aroua A, Vader JP, Valley JF. Erhebung über die Strahlenexposition der Schweizer Bevölkerung durch die Röntgendiagnostik im Jahr 1998. BAG Bulletin 2000;51:1008–11, Bundesamt für Gesundheit, Bern.
- 13 Michel C. Strahlenbiologie. In: Trueb PR (ed.). Kompendium für ärztliche Strahlenschutzsachverständige. Bern, Stuttgart, Wien: Verlag Paul Haupt, 2002. p. 103–25.
- 14 Pierce DA, Preston DL. Radiation-related cancer risks at low doses among atomic bomb survivors. Radiat Res 2000;154:178–86.
- 15 Vock P. CT-Exposition beim Kind: Geht das Erwachen der Amerikaner auch uns Europäer an? Radiologie 2002;42: 697–702.
- 16 Kalender WA, Schmidt B, Zankl M, Schmidt M. A PC program for estimating organ dose and effective dose values in computed tomography. Europ Radiol 1999;9:555–62.
- 17 Huda W, Gkanatsios NA. Effective dose and energy imparted in diagnostic radiology. Med Phys 1997;24:1311–18.
- 18 Völkle H. Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz 2002: Überblick. Sektion Überwachung der Radioaktivität, BAG, Fribourg, 2003 http://www.bag.admin.ch/strahlen/ionisant/radio_env/documentation/d/document2002.php.
- 19 Radiological Society of North America (RSNA). Radiation exposure in X-ray examinations. http://www.radiology-info.org/content/safety/xray_safety.htm, 1.05.2002.
- 20 Hart D, Wall BF. Radiation exposure of the UK population from medical and dental X-ray examinations. National Radiological Protection Board NRPB-W4, Chilton 2002. http://www.nrp.org/publications/w_series_reports/2002/nrp_w4.htm.
- 21 National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP). Exposure of the U.S. population from diagnostic medical radiation. NCRP report No. 100, <http://www.ncrp.com/http://www.ncrp.com>.
- 22 Regulla D, Griebel J, Nosske D, Bauer B, Brix G. Erfassung und Bewertung der Patientenexposition in der diagnostischen Radiologie und Nuklearmedizin. Z Med Phys 2003;13:127–35.
- 23 National Radiation Protection Board (NRPB). Guidelines on patient dose to promote the optimisation of protection for diagnostic medical exposures: report of an advisory group on ionising radiation. Documents of the NRPB, Vol. 10, No. 1, 2003. summary at http://www.nrp.org/publications/documents_of_nrp/abstracts/.
- 24 Schweizerische Eidgenossenschaft. Diagnostische Referenzwerte (DRW) für Röntgenuntersuchungen vom 7. April 2003. Merkblatt R-08-8-04. Bundesamt für Gesundheit BAG, Sektion Strahlenschutz. Bern, 2003.