

Therapeutische Umschau

Umwelt und Medizin



Gastherausgeberin
Prof. C. Braun-Fahrländer

Asthma, Luftschadstoffe
und mikrobielles Umfeld

www.TherapeutischeUmschau.ch

Lärm, elektromagnetische Felder und Gesundheit

Umweltbelastungen –
Optionen für die Beratung in der Praxis

Ionisierende Strahlen in der medizinischen
Diagnostik – neue Erkenntnisse

HUBER



Umwelt und Medizin

Gastherausgeberin
Frau Professor Dr. med. Charlotte Braun-Fahrländer,
Schweiz. Tropen- und Public Health-Institut, Basel

Editorial

707 Umwelt und Medizin
Charlotte Braun-Fahrländer

Übersichtsarbeiten

- 708 Luftschadstoffe und Asthma im Kindesalter
Philipp Latzin
- 714 Mikrobielles Umfeld und allergische Erkrankungen im Kindesalter
Charlotte Braun-Fahrländer
- 720 Auswirkungen von Lärm auf die Gesundheit
Martin Rössli
- 725 Luftverschmutzung und Gesundheit –
Optionen in der klinischen Beratung
Nino Künzli, Meltem Kutlar
- 733 Auswirkung von elektromagnetischen Feldern auf die Gesundheit
Martin Rössli
- 739 Erfahrungen des Pilotprojektes „Umweltmedizinisches Beratungsnetz“
des Vereins Ärztinnen und Ärzte für Umweltschutz (AefU)
*Edith Steiner, Bernhard Aufderreggen, Hansjörg Bhend, Yvonne Gilli,
Peter Kälin, Cornelia Semadeni*
- 746 Update – Gesundheitsrisiken durch ionisierende Strahlung
in der medizinischen Diagnostik
Claudio Knüsli, Martin Walter

Impressum

752

Therapeutische Umschau

Ihr Artikel wurde in einer Zeitschrift des Verlags Hans Huber veröffentlicht. Dieser e-Sonderdruck wird ausschließlich für den persönlichen Gebrauch der Autoren zur Verfügung gestellt. Eine Hinterlegung auf einer persönlichen oder institutionellen Webseite oder einem sog. „Dokumentenserver“ bzw. institutionellen oder disziplinären Repositorium ist nicht gestattet.

Falls Sie den Artikel auf einer persönlichen oder institutionellen Webseite oder einem sog. Dokumentenserver bzw. institutionellen oder disziplinären Repositorium hinterlegen wollen, verwenden Sie bitte dazu ein „pre-print“ oder ein „post-print“ der Manuskriptfassung nach den Richtlinien der Publikationsfreigabe für Ihren Artikel bzw. den „Online-Rechte für Zeitschriftenbeiträge“ (<http://www.verlag-hanshuber.com/informationen>).

HUBER



Physicians for Social Responsibility/International Physicians for the Prevention of Nuclear War Schweiz
 Claudio Knüsli, Martin Walter

Update – Gesundheitsrisiken durch ionisierende Strahlung in der medizinischen Diagnostik

Ionisierende Strahlung gehört zu den am besten untersuchten exogenen Noxen. Seit Beginn des 20. Jahrhunderts ist bekannt, dass ihre Anwendung in der Röntgendiagnostik Krebs verursachen kann – in den Anfängen der Radiologie waren oft Ärztinnen und Ärzte selber betroffen. Deshalb kommt dem Strahlenschutz in der medizinischen Radiologie eine zentrale Bedeutung zu. Im Bereich niedriger Strahlendosen unter 100 Millisievert (mSv) besteht großer Forschungsbedarf, da nebst Malignomen eine Zunahme von kardiovaskulären Erkrankungen, Missbildungen und genetischen Folgen beobachtet wurde. Besonders Ungeborene, Kinder und Jugendliche sind strahlensensibel. Bisherige Berechnungsmodelle zu den Gesundheitsrisiken, die sich in erster Linie auf Untersuchungen der japanischen Atombombenopfer abstützen, weisen Unsicherheiten auf. Neue umfangreiche Studien aus England und Australien zur Krebsinzidenz nach Computertomographie – heute Hauptquelle ionisierender Strahlung in der medizinischen Diagnostik – bestätigen, dass bereits kleinste Strahlendosen im Bereich unter 5 mSv kanzerogen sind. In der bildgebenden Diagnostik sollen deshalb wo immer möglich nichtionisierende Methoden wie Ultraschall oder Magnetresonanztomographie bevorzugt werden.

raströntgen nach Holzknecht und die iv-Pyelographie verursachen die höchsten Strahlendosen (Tab. 2). Die Computertomographie (CT) hat die radiologische Diagnostik in den letzten 40 Jahren revolutioniert. Ihre großen Vorteile – Verfügbarkeit hochspezifischer radiologischer Informationen, Schnelligkeit, Kosten – aber auch die zunehmende Absicherungsmentalität der Ärzte unter dem Aspekt von potentiellen Haftpflichtverfahren und der Wunsch der Patienten nach bildgebenden Untersuchungen haben in den letzten Jahren zu einer rasanten Zunahme der CT-Untersuchungen geführt [8]. Die immer breitere Indikationsstellung ist angesichts der zunehmenden Kenntnisse zu den Strahlenfolgen sehr kritisch zu sehen. Denn die CT ist für über 50 % der in der Medizin eingesetzten Strahlendosis verantwortlich. Man schätzt, dass 2006 in den USA ca. 29'000 Krebsfälle auf ionisierende Strahlung durch CT zurückzuführen waren, wovon zwei Drittel auf Frauen und ein Drittel auf Männer entfallen [3]. Sehr beunruhigend ist die Tatsache, dass in den USA von 2'500 Krebserkrankungen pro Jahr infolge von pädiatrischen CT ausgegangen werden muss.

Ionisierende Strahlung

Ionisierende Strahlen sind in erster Linie Alpha-, Beta- und Gammastahlen, Röntgenstrahlen, ferner Neutronen und Protonen. Die Ionisation von Molekülen ist die kritische Einwirkung auf lebende Materie. Sie löst Mutationen an der DNA im Zellkern und im mitochondrialen Genom, das ausschließlich mütterlich vererbt wird, aus. Als Folgen ionisierender Strahlung sind unter anderem Malignome, kardiovaskuläre Erkrankungen, teratogenetische Missbildungen bei Föten, Veränderungen des Genoms (z. B. Trisomie 21), Veränderung der Sex Odds Ratio bei Lebendgeburten [1], vererbare genetische Defekte und als komplexes Geschehen Genominstabilität, die auch transgenerational weitergereicht wird, beschrieben. Bereits 1956 publizierte Alice Stewart ihre Beobachtung, dass in utero Strahlenexponierte eine erhöhte Leukämieinzidenz nach ihrer Geburt aufwiesen [2].

Strahlenbelastung in der medizinischen Diagnostik

Seit Beginn des Einsatzes von Röntgenstrahlen in der medizinischen Diagnostik ist deren Karzinogenität bekannt. Insbesondere Ärzte waren die ersten offensichtlich Leidtragenden und gaben auch die wesentlichen Anstöße für den radiologischen Strahlenschutz (Tab. 1). Verschiedene bildgebende Verfahren führen zu unterschiedlicher Strahlenbelastung des Organismus. CT und PET, aber auch eine konventionelle Magendarmpassage, das Colonkont-

Berechnung des Krebsrisikos durch ionisierende Strahlung

Die Krebsinduktion durch ionisierende Strahlen ist stochastischer, d. h. zufälliger Natur. Die Abschätzung der strah-

Tabelle 1 Ionisierende Strahlung: Natürliche Hintergrundstrahlung und Strahlenschutzgrenzwerte

Natürliche Hintergrundstrahlung	ca. 3 – 5 mSv/Jahr
Grenzwert für Allgemeinbevölkerung aus künstliche Quellen	1 mSv/Jahr
Grenzwert für beruflich Strahlenexponierte	20 mSv/Jahr
Radiologisch-diagnostische Indikationen	keine Grenzwerte

Tabelle 2 Exposition durch ionisierenden Strahlen in der medizinischen Diagnostik Medizin (adaptiert nach Brenner [7])

Untersuchungsmethode, Altersklasse	Millisievert (mSv)
CT Abdomen	
– Erwachsener	10
– Neugeborenes	25
CT Schädel	
– Erwachsener	13
– Neugeborenes	65
Thoraxröntgen pa./lat	0.01/0.15
Magendarmpassage	15
Screening Mammographie	3
Colonkontrastaufnahme	9
iv Pyelogramm	4.6
LWS	2.4
Becken	1
Abdomen leer	1.5
MRI	0
Ultraschall	0

lenbedingten Risikoerhöhung von Krebserkrankungen basiert aktuell auf BEIR VII, dem Bericht des National Research Council, USA von 2006 [4]. Er geht im Mittel von einer zusätzlichen Krebserkrankung bei einer Exposition von 100 Personen mit je 100 mSv aus. Dies entspricht einem zusätzlichen Krebserkrankungsrisiko [ERR, Excessive Relative Risk] von 24 % pro Sievert (Abb. 1.). Verschiedene Studien der letzten Jahre ergeben jedoch zum Teil erhebliche Abweichungen von diesen Angaben (Tab. 3). Auf die größten Studien soll näher eingegangen werden.

Life Span Studie

Derzeit gilt in der Strahlenepidemiologie die sogenannte *Life Span Study* (LSS) [14, 5], eine rollende Aufarbeitung der Krebsmortalität von Überlebenden der Atombombenabwürfe in

Hiroshima und Nagasaki als Goldstandard zur Errechnung des Strahlenrisikos. Die studierte Kohorte beinhaltet um die 120'000 Überlebende. Die Daten wurden früher von der Atomic Bomb Casualty Commission (ABCC), später

von der Radiation Effects Research Foundation (RERF) erhoben und interpretiert. Die Studien dieser beiden Organisationen sind die wichtigste Basis zur Festlegung von Grenzwerten im Strahlenschutz. Das Datenmaterial dieser Studie ist enorm groß und mit diesen Daten können fundierte epidemiologische Aussagen gemacht werden. Der für die medizinische Diagnostik relevante Bereich der kleinen Strahlendosen ist mit den japanischen Daten nicht abgedeckt und für das Risiko kleiner Dosen muss die Dosisrelationskurve in den tiefen Dosisbereich extrapoliert werden. Das Vorgehen bei der Extrapolation gibt immer wieder zu Diskussionen und Kontroversen Anlass.

Die Registrierung der Todesursachen der von den Hiroshima- und Nagasaki-Bombenabwürfen betroffenen Bevölkerung hat erst 1950, also 5 Jahre nach den Bombardierungen der beiden Städte, begonnen. Die Todesursachen in den Jahren 1945 bis 1950 sind nicht registriert. Daraus ergibt sich ein erster Kritikpunkt an der Tragfähigkeit dieser so wichtigen epidemiologischen Daten und deren Interpretation. Die vor 1950 nach den Abwürfen Verstorbenen können die schwächeren gewesen sein und

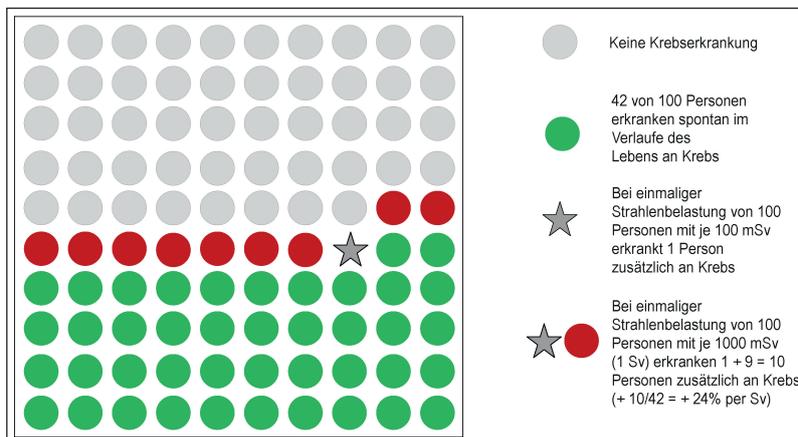


Abbildung 1 Krebsrisiko und ionisierende Strahlung: Spontanes Erkrankungsrisiko und zusätzliches, strahlungsinduziertes Risiko (modifiziert nach BEIR VII [4])

Tabelle 3 Krebsrisiko (Inzidenz; Mortalität) durch ionisierende Strahlung – Vergleich der Angaben verschiedener Quellen (ERR = Exzessives Relatives Risiko pro Sv)

Thema, Publikationsdatum, [Lit.]	ERR Krebsmortalität	ERR Krebsinzidenz
Thyroid Cancer Study (1995) [9]		770 %/Sv
U.S. Scoliosis Cohort, Breast cancer (2000) [10]	540 %/Sv	
UNSCEAR 2000 [11]	11 %/Sv	
Nuclear Workers (2005) [12]	97 %/Sv	
BEIR VII (2006) [4]	11.5 %/Sv	24 %/Sv
ICRP Publication 103 (2007) [13]	5.5 %/Sv	
Japan Life Span (2007) [14]		75 %/Sv
Japan Life Span (2012) [5]		42 %/Sv
Cardiac Imaging (2011) [15]		300 %/Sv
Hodentumor Nachsorge (2012) [16]	–	–
UK Studie (2012) [17]		
– Leukämien		3600 %/Sv
– Hirntumore		2300 %/Sv
Australische Studie (2013) [18]		3500 %/Sv

ein Teil der Todesfälle waren sicher leukämiebedingt, gehen aber nicht in die Risikoberechnungen ein. Die nach 1950 noch am Leben Verbliebenen stellen eine Selektion der Stärkeren (*survival of the fittest*) dar.

Ein weiterer kritischer Punkt in Sachen LSS ist derjenige der Dosimetrie. Strahlendosen waren 1945 keine gemessen worden, man musste also Modelle entwerfen, die auf Atombombentests in Nevada basierten, wo man hatte messen können. Bis 1986 war man von einer ersten Modellierung ausgegangen, der TD65 (TD65 (*tentative dosimetry 1965*)). In der *dose revision 1986* (DS86) wurden dann viel kleinere Dosen eingerechnet als mit der TD65, was das Risiko wesentlich erhöhte. Eine weitere Dosisabschätzungsrevision wurde von der RERF 2002 (DS02) vorgenommen, dabei wurde eine etwa 10 % höhere gamma-Dosis zugrundegelegt und die Neutronenstrahlung adaptiert, was das Risiko unwesentlich wieder senkte. Die Tatsache der Notwen-

digkeit der Dosisrevisionen 1986 und 2002 zeigt die Unsicherheit in der Basis des epidemiologischen Projektes LSS. In den Dosimetrien ist des Weiteren die geringe residuelle Strahlung, Strahlung aus dem fallout der Atombomben und die Aktivierungsstrahlung (Neutroneneinfang führt zu Isotopen, die selber zerfallen und ihrerseits beim Zerfall ionisierende Strahlung abgeben) nicht berücksichtigt. Das errechnete Strahlenrisiko kann so nicht exakt stimmen [6].

Trotzdem: Die LSS ist nach wie vor wichtig, weil die Kohorte der Überlebenden (48 % waren am 1.1.2004 noch am Leben) über sehr lange Zeit verfolgt werden kann – die Latenz der Entstehung eines Malignoms kann bekanntlich Jahrzehnte dauern. Auch heute noch ist bei den exponierten Menschen eine Übersterblichkeit an Malignomen zu beobachten. Somit gewinnen wir nach wie vor aus der LSS wertvolle epidemiologische Erkenntnisse.

Für die Abschätzung des Strahlenrisikos in der medizinischen Diagnostik mittels Röntgen und Nuklearmedizin (Risiko kleiner Strahlendosen) brauchen wir neue Daten. Solche epidemiologischen Studien werden in letzter Zeit publiziert [15 – 18, 7].

Leukämien und Hirntumore nach Computertomographie in der Jugend – die britische NHS-Kohortenstudie

Eine 2012 im LANCET publizierte, retrospektive Studie umfasste über 170'000 Personen, die bis zum Alter von 22 Jahren mindestens eine CT-Untersuchung hatten [17]. Diese Altersgruppe interessierte, da feststeht, dass Kinder und Jugendliche gegenüber ionisierenden Strahlen empfindlicher sind als Erwachsene. Es wurde untersucht, ob eine Zunahme der Inzidenz für Leukämien und Hirntumoren in Abhängigkeit von der Strahlenexposition durch anamnestic CT-Untersuchungen besteht. Die Autoren schlossen Patienten aus, die bereits zum Zeitpunkt der CT an einer Tumorerkrankung litten. Ebenso wurden Fälle ausgeschlossen, wo Leukämien innerhalb von weniger als zwei Jahren oder Hirntumore innerhalb von weniger als 5 Jahren nach der CT aufgetreten waren – somit CT-Untersuchungen, die allenfalls bereits wegen Verdacht auf diese Erkrankungen in die Wege geleitet worden waren. Die absorbierte Strahlendosis in Milli-gray (mGy) im Gehirn und im roten Knochenmark wurde für jede CT geschätzt, wobei man Alter, Geschlecht, Untersuchungsart und Jahr der CT berücksichtigte. Bei zwei Drittel der Fälle handelte es sich dabei um Schädel-CT, bei einem Sechstel der Fälle um CT des Abdomens, des Beckens oder des Thorax. Gesamthaft fanden sich 74 Fälle mit Leukämien und 135 Fälle mit Hirntumoren. Es zeigte sich eine hochsigni-

fikante, positive Assoziation zwischen Strahlendosis und exzessivem Risiko für Leukämien respektive Hirntumoren. Verglichen mit Patienten, die mit einer Knochenmarksdosis von unter 5mGy belastet worden waren, fand sich in der Gruppe mit einer durchschnittlichen Belastung von rund 50 mGy (entsprechend 5 bis 10 Schädel-CT) eine über dreifache Inzidenz der Leukämien. Ebenso beobachtete man eine Verdreifachung der Hirntumoren bei einer Hirndosis von rund 60 mGy (entsprechend 2–3 Schädel-CT). Die Resultate dieser wegweisenden Studie sind in mehrfacher Hinsicht bemerkenswert:

1. Es handelt sich um die erste Studie weltweit, die die Folgen ionisierender Strahlung von CT bei einer sehr umfangreichen Patientengruppe untersucht und dabei eine Zunahme von Krebserkrankungen findet. Die Strahlenbelastung der individuellen Fälle infolge CT ist aufwendig rekonstruiert worden. Die Autoren erachten es als höchst unwahrscheinlich, dass andere Faktoren als die ionisierende Strahlung infolge CT als Ursache für die erhöhten Krebserkrankungsrisiken in Frage kommen.
2. Bisherige Beurteilungen stützten sich in erster Linie auf Beobachtungen bei japanischen Atombombenopfern ab, einem Kollektiv mit deutlich höherer Strahlenbelastung [14, 5]. Es ist unbestritten, dass ionisierende Strahlung im Bereich dieser höheren Dosen karzinogen wirkt. Die in der vorliegenden klinischen Studie beobachtete Größenordnung der Risikoerhöhung für Leukämien und Hirntumoren infolge ionisierender Strahlung ist vergleichbar mit derjenigen der Strahlenexponierten in der LSS. Die aktuelle Studie bestätigt damit, dass die Dosiswirkungskurve von höheren zu kleineren Dosen mindestens linear extrapolierbar ist. Das bedeutet, dass auch bei niedrigen Dosen ionisierender Strahlung

im Bereich von wenigen mGy von einem erhöhten Krebserkrankungsrisiko ausgegangen werden muss. Dies entspricht der *linear-no-threshold*-Hypothese (LNT), die besagt, dass keine Dosislimite anzunehmen ist, unterhalb welcher ionisierende Strahlen harmlos wären.

3. Aufgrund dieser Studienresultate ist davon auszugehen, dass eine von 10'000 Schädel-CT bei unter Zehnjährigen innerhalb der ersten zehn Jahre je eine Leukämie und eine Erkrankung an einem Hirntumor auslöst. Es handelt sich damit zwar um kleine absolute Fallzahlen, da Krankheiten wie Leukämien oder Hirntumore bei Kindern zum vorneherein selten sind. Wenn jedoch bereits eine Strahlendosis durch eine einmalige CT zu einer Verdoppelung des Erkrankungsrisikos für bestimmte Tumorarten führen kann, ist dies ernst zu nehmen. Denn für den einzelnen, an einem seltenen Tumor erkrankten Patienten ist es irrelevant, ob er nun an einer „spontanen“ oder einer durch frühere Radiodiagnostik induzierten Krebserkrankung leidet – für ihn ist die Ernsthaftigkeit der Krankheit und deren Behandelbarkeit ausschlaggebend.

Krebsrisiko bei 680'000 Personen nach Computertomographie in Kindheit oder Adoleszenz – die Australische Data-Linkage Studie [18]

Die besprochene Britische Kohortenstudie [17] ergab zwar eine hochsignifikante Assoziation zwischen niedrigen Dosen ionisierender Strahlung und Leukämien sowie Hirntumoren. Eine umfassende Risikobeurteilung nach CT müsste jedoch sämtliche Tumorerkrankungen sowie die ganze Lebensdauer berücksichtigen. Zu dieser Fragestellung existieren erst prospektive

Schätzungen. Diese gehen beispielsweise davon aus, dass bereits eine von 500 CT des Abdomens oder Beckens im Kindesalter im Verlaufe des Lebens eine Krebserkrankung verursachen wird [8]. Ein maßgebender Wissensfortschritt ergibt sich aus der bisher größten publizierten epidemiologischen Studie zur medizinischen Strahlenexposition aus Australien, wo über 680'000 Personen nach CT in der Jugend und Adoleszenz nachuntersucht wurden [18]. Die Krebsinzidenz in dieser strahlenexponierten Kohorte wurde mit der Krebsinzidenz von über 10 Millionen Australiern ohne anamnestiche CT verglichen. Eingeschlossen wurden Personen, die bis zu ihrem 19. Lebensjahr mindestens eine CT erhalten hatten. Bei einem mittleren Follow-Up der strahlenexponierten Kohorte von 9,5 Jahren fanden sich insgesamt 3'150 Krebserkrankungen. Die Krebsinzidenz war – statistisch hochsignifikant – in der CT-Kohorte um 24 % höher als im nichtbestrahlten Kollektiv. Eine signifikante Zunahme fand sich unter anderem bei den soliden Tumoren des Verdauungstraktes, der weiblichen Geschlechtsorgane, der Harnwege, der Schilddrüse, der Weichteile und des Gehirns (hier insbesondere nach Schädel-CT), Melanomen sowie lymphatischen und hämatologischen Neoplasien. Ferner konnte eine Dosis-Wirkungskorrelation mit zunehmender Anzahl CT-Untersuchungen nachgewiesen werden. Die durchschnittliche effektive Strahlenbelastung (durchschnittliche Dosis für die Gesamtheit der Organe) betrug 4,5 mSv pro CT. Bereits nach der verhältnismäßig kurzen Beobachtungsperiode von 9,5 Jahren muss davon ausgegangen werden, dass eine von 1'800 CT-Untersuchungen eine zusätzliche Krebserkrankung auslöst. Die Autoren errechneten daraus ein exzessives relatives Krebsrisiko (ERR) von 0,035/mSv. Eine abschließende Beurteilung wird erst nach über

50-jähriger Beobachtungszeit möglich sein, da insbesondere die häufigen soliden Tumoren erst nach jahrzehntelanger Latenz manifest werden.

Schlussfolgerungen

Die CT-Diagnostik stellt heutzutage die Hauptquelle ionisierender Strahlung in der radiologischen Diagnostik dar. Die CT ist bisher diejenige radiologische Methodik, die hinsichtlich Karzinogenität am ausführlichsten untersucht ist. Die beiden umfangreichen klinischen Studien aus England [17] und Australien [18], die 2012 und 2013 publiziert wurden, bestätigen die bisherigen Einschätzungen übereinstimmend, dass auch niedrige Strahlendosen im Bereich von weniger als 5 mSv, wie sie bei der CT entstehen, zu einer in der Praxis relevanten Erhöhung des Krebsrisikos führen. Es ist davon auszugehen, dass auch die Strahlenexposition durch andere radiologische Methoden dosisbezogen ebenso schädlich ist, weshalb die Indikation zu jeder radiologischen Untersuchung ärztlicherseits vor dem Hintergrund des Strahlenschutzes abgewogen werden muss. Hier sind die Situationen besonders zu berücksichtigen, die zum Vorneherein ein hohes Risiko darstellen (Tab. 4.)

Aus präventivmedizinischer Sicht ist ein möglichst restriktiver Einsatz ionisierender Strahlung im Medizinalbereich, speziell auch der CT, unerlässlich. Dies gilt besonders für die Abklärung von Kindern, Jugendlichen und Schwangeren, ferner für Screening- und Mehrfachuntersuchungen sowie in speziellen Situationen (wie z. B. BRCA1/2-Mutations-Trägerinnen [7]). Kliniker und Radiologen sollten vor einer CT-Abklärung vermehrt das Gespräch bezüglich Indikation suchen und im Einzelfall alternative Methoden (Sonographie, Magnetresonanztomographie) erwägen. Insbesondere

Tabelle 4 Erhöhtes Risiko für Gesundheitsschäden durch ionisierende Strahlung infolge radiologischer Diagnostik

Hohe Strahlendosis
Kindheit, Adoleszenz
Schwangerschaft
Mehrfachuntersuchungen
Screeninguntersuchungen
Genetische Disposition (z. B. BRCA1/2-Trägerinnen)

soll bei den häufigen klinischen Situationen wie Verdacht auf appendicitis acuta oder Kontrolle nach commotio cerebri bei Kindern und Jugendlichen möglichst auf CT-Diagnostik verzichtet werden. Standardisierte Abklärungsgänge sind wünschenswert, da sie zu einer Einschränkung der Strahlenbelastung führen können. Ferner ist bei jeder medizinisch strahlenexponierten Person eine Erfassung der kumulativen Strahlendosis als Basis für zukünftige Studien zu fordern. Neben Malignomen sind andere Risiken zu untersuchen, insbesondere genetische Veränderungen. Diagnostik, die auf Photonen aus externen Strahlenquellen (Röntgen, CT) beruht, und nuklearmedizinische Techniken, die auf intern verwendeten Radionukliden basieren, sollten künftig getrennt untersucht werden, denn die Rolle der Strahlenbelastung durch nuklearmedizinische Untersuchungen wie PET ist zum jetzigen Zeitpunkt nicht geklärt.

Update – Health risks induced by ionizing radiation from diagnostic imaging
Ionizing radiation is the most thoroughly investigated exogenous noxa. Since the early 20th century it is well known that using ionizing radiation in diagnostic procedures causes can-

cer – physicians themselves frequently being struck by this disease in those early days of radiology. Radiation protection therefore plays an important role. Below doses of 100 Millisievert (mSv) however much research has to be accomplished yet because not only malignant tumors, but cardiovascular diseases, malformations and genetic sequelae attributable to low dose radiation have been described. Unborns, children and adolescents are highly vulnerable. Dose response correlations are subject to continuing discussions because data stem mostly from calculations studying Japanese atomic bomb survivors. Radiation exposure is not exactly known, and it is unknown, if observations of radiation induced diseases in this ethnicity can be generalized. Nowadays the main source of low dose ionizing radiation from medical diagnostics is due to computertomography (CT). Large recent clinical studies from the UK and Australia investigating cancer incidence after exposition to CT in childhood and adolescence confirm that low doses in the range of 5 mSv already significantly increase the risk of malignant diseases during follow up. Imaging techniques as ultrasound and magnetic resonance tomography therefore should be preferred whenever appropriate.

Literatur

1. Scherb H, Voigt K. The human sex odds at birth after the atmospheric atomic bomb tests, after Chernobyl, and in the vicinity of nuclear facilities. Environ Sci Pollut Res, June 2011; Volume 18, Issue 5, 697 – 707.

2. Stewart AM, Webb JW, Giles BD, Hewitt D. Preliminary Communication: Malignant Disease in Childhood and Diagnostic Irradiation In-Utero. *Lancet* 1956; 2: 447.
3. Berrington de Gonzales A, Mahesh M, Kim KP. Projected cancer risks from computed tomographic scans performed in the United States in 2007. *Arch Int Med* 2007; 169: 2071–2077.
4. National Research Council, Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation: BEIR VII Phase 2. National Academies Press, 2006.
5. Kotaro O, Yukiko S, Akihiko S et al. Studies of the Mortality of Atomic Bomb Survivors, Report 14, 1950–2003: An Overview of Cancer and Noncancer Diseases. *Radiation Research* 2012; 177: 229–243.
6. Watanabe T, Miyao M, Honda R, Yamada Y. Hiroshima survivors exposed to very low doses of A-bomb primary radiation showed a high risk for cancers. *Environ Health Prev Med* 2008; 13: 264–70.
7. Pijpe A, Andrieu N, Easton DF et al. Exposure to diagnostic radiation and risk of breast cancer among carriers of BRCA/2 mutations: retrospective cohort study (GENE-RAD-RISK). *BMJ* 2012; 345: e5660.
8. Brenner DJ, Hall EJ. Computed tomography – an increasing source of radiation exposure. *N Engl J Med* 2007; 357: 2277–84.
9. Ron E, Lubin JH, Shore RE et al. Thyroid cancer after exposure to external radiation: a pooled analysis of seven studies. *Rad Res* 1995; 141 (3): 259–77.
10. Doody MM, Lonstein JE, Stovall M, Hacker DG, Luckyanov N, Land CE. Breast Cancer mortality after diagnostic radiography: findings from the U.S. Scoliosis Cohort Study. *Spine* 2000; 25 (16): 2052–63.
11. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR 2000.
12. Cardis E, Vrijheid M, Blettner M et al. Risk of cancer after low doses of ionising radiation: retrospective cohort study in 15 countries: *British Medical Journal* 2005; 331: 77–80.
13. International Commission on Radiological Protection (ICRP) publication 103 (2007).
14. Pierce DA, Preston DL. Radiation-related cancer risks at low doses among atomic bomb survivors. *Radiation research* 2000; 154: 178–86.
15. Eisenberg MJ, Afilalo J, Lawler PR, Abrahamowicz M, Richard H, Piloni L. Cancer risk related to low-dose ionizing radiation from cardiac imaging in patients after myocardial infarction. *Canadian Medical Association Journal* 2011; 183 (4): 430–436.
16. Van Walraven C, Fergusson D, Earle C et al. Association of diagnostic radiation exposure and second abdominal-pelvic malignancies after testicular cancer. *J Clin Oncol* 2011; 29: 2883–888.
17. Pearce MS, Salotti JA, Little MP et al. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumors: a retrospective cohort study. *LANCET* 2012; 380: 499–505.
18. Mathews JD, Forsythe AV, Brady Z et al. Cancer risk in 680 000 people exposed to computed tomography scans in childhood or adolescence: data linkage study of 11 million Australians. *BMJ* 2013; 346: f2360.

Korrespondenzadresse

Dr. med. C. Knüsli
 PSR/IPPNW Schweiz
 Lädlistraße 40
 6003 Luzern
 sekretariat@ippnw.ch