

# Von der Strahlendosis der Computertomographie und dem Krebsrisiko

Hatem Alkadhi

Institut für Diagnostische Radiologie, Universitätsspital Zürich

Die Strahlendosis in der Computertomographie (CT) und das damit assoziierte Risiko der Entstehung von Neoplasien ist ein Thema, welches insbesondere in der jüngsten Zeit eine erhöhte Aufmerksamkeit von seiten verschiedener Medien, aber auch in renommierten Fachzeitschriften erfahren hat [1]. Der folgende Artikel befasst sich in Kürze mit einigen wichtigen Aspekten zum Thema Strahlendosis in der CT, setzt sich mit den damit verbundenen Risiken auseinander und liefert mögliche Strategien, um das bestehende Risiko zu minimieren.


## Röntgenstrahlen und Krebsrisiko

Die überwiegende Mehrheit der Daten über das Risiko von strahleninduzierter Karzinogenese beim Menschen rührt von Untersuchungen an Überlebenden der Atombombenexplosionen auf Hiroshima und Nagasaki im Jahre 1945. In diesen Studien konnte gezeigt werden, dass es einen signifikanten Zuwachs des Karzinomrisikos in derjenigen Population der Überlebenden gegeben hat, die einer Dosis von rund 5 bis 150 mSv exponiert wurde [2]. Ähnliche Daten konnten auch bezüglich des Karzinomrisikos bei Personen erhoben werden, die in der Atomindustrie beschäftigt und kontinuierlicher, niedriger Strahlung ausgesetzt waren. Die Situation bezüglich des Karzinomrisikos ist in der pädiatrischen Population noch deutlicher. Diese ist strahlenempfindlicher, und es bleibt ihr natürlicherweise ein längerer Zeitraum zur potentiellen Entstehung von Karzinomen. Während grundsätzlich über die dosisproportionale Wahrscheinlichkeit stochastischer Strahleneffekte keine Zweifel bestehen, ist im Kleinstdosisbereich (also im Bereich der bei röntgenologischen Untersuchungen anfallenden Dosis) die Linearität der Dosis-Wirkung-Beziehung experimentell schwierig zu beweisen [3]. Dennoch wird, obwohl bislang keine Studie vorliegt, die ein erhöhtes Karzinomrisiko nach Strahlenexposition durch die CT demonstriert hätte, angenommen, dass eine effektive Dosis von ungefähr 30 bis 90 mSv das Risiko, ein Karzinom zu entwickeln, erhöht [1]. Das geschätzte Risiko (im angelsächsischen Raum als *estimated lifetime percent risk of death from cancer attributable to radiation* bezeichnet) hängt vom untersuchten Körperabschnitt und dem Alter des Patienten ab; bei jüngeren Exponierten

besteht ein höheres, bei älteren ein geringeres Risiko.

## Dosisaspekte bei der Computertomographie

Die Evolution der CT im letzten Jahrzehnt stellt einen der wichtigsten Fortschritte im Bereich der bildgebenden Diagnostik dar. Als Nachteil muss jedoch festgehalten werden, dass die CT, trotz des insgesamt geringen Untersuchungsanteils, die höchste kollektive Effektivdosis unter allen röntgenologischen Techniken verursacht [4].

Zahlreiche nationale sowie internationale Gesellschaften, darunter einige in Zusammenarbeit mit der WHO, haben als Standard definiert, dass eine radiologische Untersuchung nur dann durchgeführt werden soll, wenn eine nachvollziehbare klinische Indikation vorliegt, und, falls die Untersuchung durchgeführt wird, diese mit einer Dosis assoziiert sein soll, die gerade benötigt wird, um die spezifische klinische Fragestellung zu beantworten. Wie im Bildbeispiel illustriert (Abb. 1 )<sup>1</sup>, ist die effektive Dosis der meisten Standard-CT-Untersuchungen im Verlauf der letzten Jahre gesunken [5]. Dies liegt darin begründet, dass bereits vor Jahren erkannt wurde, dass die Bildqualität vieler CT-Untersuchungen über dem Niveau liegt, das für eine sichere Diagnose notwendig ist. Daher sind zahlreiche Methoden entwickelt worden, die zu einer Reduktion der Dosis von CT-Untersuchungen führten. Hierunter fällt insbesondere die automatische schwächungsbasierte Röhrenstrommodulation, die zu einer Reduktion der Dosis bei identischem diagnostischen Nutzen führt und daher praktisch bei allen CT-Untersuchungen routinemässig angewendet wird. Ein weiteres wichtiges Mittel zur Dosisminimierung besteht in der Beschränkung des Untersuchungsbereiches in der kranio-kaudalen (Z-)Achse auf exakt die zu untersuchende Körperregion und die klinische Fragestellung, um unnötige Strahlenexposition zu vermeiden. Eine solche Strategie von seiten der Radiologie ist zwingend geboten, führt jedoch häufig zu Reibungspunkten mit den entsprechenden Zuweisern (Zitat: «Fahr' doch noch schnell den Oberbauch mit»). Eine weitere, erst in den letzten Jahren zunehmend ins Bewusstsein rückende Option der Dosisersparung besteht in der Reduktion der Röhrenspannung (von den übli-



**Abbildung 1**

Niedrigdosis-Computertomographie des Herzens mit einer effektiven Dosis von 0,9 mSv bei einer 40jährigen Frau mit atypischen Thoraxschmerzen und der Frage nach einer koronaren Herzerkrankung. Diese Untersuchung wurde im sog. *step-and-shoot*-Modus durchgeführt, der durch eine sehr geringe Dosis charakterisiert ist. Im Vergleich zu Standarddosiswerten bei der Herz-CT von bis zu maximal 21 mSv noch vor wenigen Jahren sind heute durch die Implementierung von dezidierten Algorithmen erheblich geringere Dosen üblich.

chen 120 kV auf z.B. 100 kV). Diese erlaubt in vielen Untersuchungsregionen bei normal- und untergewichtigen Patienten eine erhebliche Dosisreduktion ohne Verlust der diagnostischen Aussagekraft. Aktuell beträgt als Beispiel die effektive Dosis einer Standard-CT-Untersuchung des Abdomens rund 7–10 mSv. Bezieht man diese Dosis auf die oben genannten Näherungen, erhöht sich bei einem beispielsweise 40jährigen Patienten als Folge einer Abdomen-CT das Risiko der Entwicklung von Neoplasien um ungefähr 0,015% [1].

Ein weiterer wichtiger Faktor, der entscheidend zur Dosis beiträgt, besteht in der Zahl von Untersuchungsphasen (z.B. nativ, arteriell oder venös) bei ein und derselben Untersuchung bzw. ein und demselben Patienten. Diese gilt es auf ein an die jeweilige Indikation angepasstes, notwendiges Minimum zu reduzieren. Insbesondere diesem letzten Aspekt wird jedoch im radiologischen Alltag nicht immer zur Genüge Rechnung getragen. So wurde in verschiedenen Studien dokumentiert, dass bei bis zu 30% aller CT-Untersuchungen mehr als nur eine Phase durchgeführt und somit die Dosis erheblich gesteigert wird. Hier zeigt sich eindrucksvoll die Kehrseite der Entwicklung der modernen CT-Technik, die die Untersuchung auf einfachste Weise auch repetitiv und schnell erlaubt.

Schliesslich stellt die absolute Zahl von CT-Untersuchungen einen entscheidenden Faktor für die Kollektivdosis der Bevölkerung dar. Grundsätzlich kann die CT entsprechend der untersuchten Population (d.h. adult oder pädiatrisch) und der

Indikation (d.h. Diagnosemittel bei symptomatischen Patienten oder Screening von asymptomatischen Patienten) kategorisiert werden. Die Kategorie, welche die überwiegende Mehrheit der CT-Untersuchungen ausmacht – ihr Zweck ist Diagnostik symptomatischer Erwachsener –, ist in den letzten Jahren erheblich gestiegen [1]. So sind jährliche Anstiege der CT-Untersuchungszahlen von bis zu 20% keine Seltenheit mehr. Darüber hinaus verzeichnete die CT auch in der Pädiatrie [6] und im Screening [7] Zuwachs in bezug auf die absolute Zahl der Untersuchungen.

Zusammenfassend kann also gefolgert werden, dass, trotz der Verringerung der Dosis individueller CT-Untersuchungen über die letzten Jahre, über eine Erhöhung der Zahl der Untersuchungsphasen und insbesondere der absoluten Anzahl von CT-Untersuchungen die Kollektivdosis in der Bevölkerung steigt [1].

### Strategien zur Dosisreduktion

Ableitend aus den oben geschilderten Punkten wird zur Reduktion der Dosisexposition der Bevölkerung durch die CT das folgende Vorgehen empfohlen:

- Der Kliniker wird aufgefordert, seine Indikationen für eine CT-Untersuchung besonders auf eine therapeutische oder prognostische Konsequenz hin kritisch zu prüfen. Darüber hinaus empfiehlt sich eine verbesserte Schulung von Nicht-Radiologen über die applizierten Dosen der selbst verordneten röntgenologischen Untersuchungen und der damit verbundenen Risiken [8].
- Die Radiologen sind zusammen mit den Geräteherstellern aufgefordert, auch künftig weitere Dosisreduktions-Algorithmen zu entwickeln. Andererseits sollen bereits bestehende Algorithmen wie die automatische schwächungsbasierte Röhrenstromadaptation routinemässig implementiert werden. Die bislang vermutlich unterschätzte Möglichkeit der Dosisreduktion durch Senkung der Röhrenspannung bei entsprechender Körperkonstitution sollte verstärkt angewendet werden. Ebenso muss das Ziel des Radiologen sein, die Zahl von Phasen, d.h. der wiederholten Scans, bei ein und demselben Patienten auf ein Minimum zu reduzieren. Schliesslich soll auch das Anzweifeln der von Klinikern gestellten CT-Indikationen von Seiten der Radiologie (was freilich oftmals als inadäquat oder gar dreist empfunden wird) täglich wenigstens subtil versucht werden (zum Trost: Sisyphos soll ein glücklicher Mensch gewesen sein). Dies beinhaltet auch die stete Überlegung, ob die Diagnose nicht auch durch eine bildgebende Methode ohne Röntgenstrahlen (wie z.B. den Ultraschall oder die Magnetresonanztomographie) gestellt werden kann.

- Die Verantwortlichen im Gesundheitswesen werden aufgefordert, das unreflektierte Übertragen des (bereits in der Privatwirtschaft irrwitzig anmutenden) Zwangs zur permanenten Steigerung von Umsatzzahlen eines Betriebes auch auf Spitäler der öffentlichen Hand zu über-

denken. Wie sonst soll dem Paradoxon des einerseits bestehenden Wunsches nach höheren radiologischen Untersuchungszahlen zur Steigerung der Einkünfte und andererseits dem scheinbaren Entsetzen über die steigende Kollektivdosis begegnet werden?

#### Literatur

- 1 Brenner DJ, Hall EJ. Computed tomography – an increasing source of radiation exposure. *N Engl J Med*. 2007;357:2277–84.
- 2 Preston DL, Ron E, Tokuoka S, et al. Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958–1998. *Radiat Res*. 2007;168:1–64.
- 3 Vock P, Valley J-F. Medizinische Strahlenexposition in der Schweiz – Teil 1: Frequenzen, Dosen, Konsequenzen. *Schweiz Med Forum*. 2004;4(34):845–50.
- 4 Vock P, Müller-Brand J, Valley J-F. Medizinische Strahlenexposition in der Schweiz – Teil 2: Die Rolle dosisintensiver Untersuchungen, insbesondere der Computertomographie (CT). *Schweiz Med Forum*. 2004;4(34):865–72.
- 5 Tsapaki V, Aldrich JE, Sharma R, et al. Dose reduction in CT while maintaining diagnostic confidence: diagnostic reference levels at routine head, chest, and abdominal CT—IAEA-coordinated research project. *Radiology*. 2006;240:828–34.
- 6 Linton OW, Mettler FA, Jr. National conference on dose reduction in CT, with an emphasis on pediatric patients. *AJR Am J Roentgenol*. 2003;181:321–9.
- 7 Brenner DJ. Radiation risks potentially associated with low-dose CT screening of adult smokers for lung cancer. *Radiology*. 2004;231:440–5.
- 8 Lee CI, Haims AH, Monico EP, Brink JA, Forman HP. Diagnostic CT scans: assessment of patient, physician, and radiologist awareness of radiation dose and possible risks. *Radiology*. 2004;231:393–8.

#### Korrespondenz:

PD Dr. med. Hatem Alkadhi  
Institut für  
Diagnostische Radiologie  
UniversitätsSpital Zürich  
Rämistrasse 100  
CH-8091 Zürich  
[hatem.alkadhi@usz.ch](mailto:hatem.alkadhi@usz.ch)