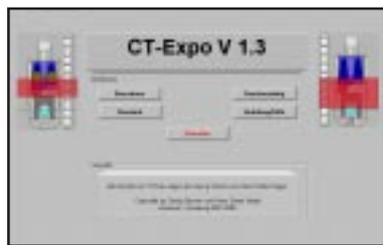


Symposium

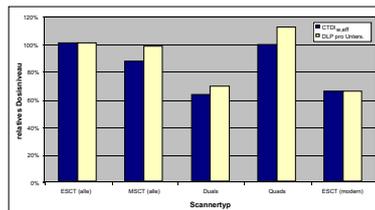
5 Jahre Konzertierte Aktion Dosisreduktion CT

Was haben wir bisher erreicht?
Was ist noch zu tun?

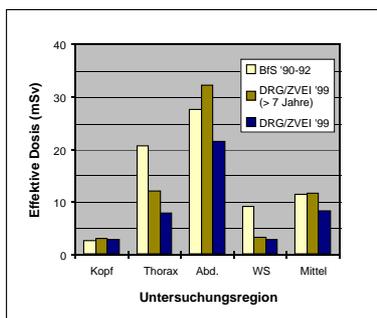
Berlin, 4. November 2003



CT-Dosisevaluierungsprogramm



MSCT-Zusatzumfrage 2002



Bundesweite CT-Umfrage 1999

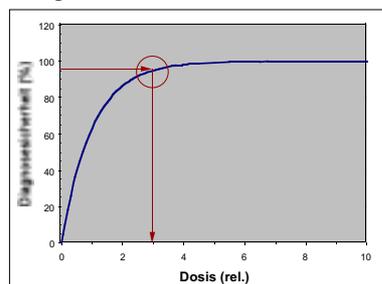


For certified drivers only!

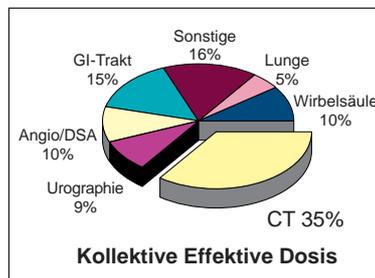
Aus- und Weiterbildungsangebote

| Untersuchungsregion | CTDL ₀ (mGy) | | DLP ₀ (mGy-cm) | |
|------------------------|-------------------------|---------|---------------------------|---------|
| | 1. Qrt. | 3. Qrt. | 1. Qrt. | 3. Qrt. |
| Hirnschädel | 45 | 66 | 520 | 780 |
| Gesichtsschädel / NNH | 25 | 56 | 190 | 570 |
| Gesichtsschädel + Hals | 26 | 46 | 350 | 740 |
| Thorax | 13 | 22 | 250 | 540 |
| Abdomen + Becken | 15 | 24 | 490 | 940 |
| Becken | 18 | 28 | 300 | 600 |
| Leber / Niere | 15 | 25 | 210 | 410 |
| T-Staging / Follow-Up | 14 | 22 | 670 | 1300 |
| Aorta thorakal | 13 | 22 | 230 | 450 |
| Aorta abdominal | 14 | 22 | 250 | 510 |
| Pulmonalgefäße | 13 | 20 | 140 | 260 |
| Beckenskelett | 19 | 38 | 330 | 790 |
| HWS | 48 | 80 | 180 | 320 |
| LWS | 30 | 47 | 170 | 280 |

Vorschläge für Referenzwerte



Multi-Center-Optimierungsstudie



Fachliteratur zu CT & Dosis

VERANSTALTER:

Deutsche Röntengesellschaft e.V.

DuPont-Str. 1
61352 Bad Homburg v. d. H.

Telefon: 06172 488-585
Fax: 06172 488-587
E-Mail: office@drg.de
Internet: www.drg.de



DEUTSCHE RÖNTGENGESELLSCHAFT

Fachverband Elektromedizinische Technik

im Zentralverband Elektrotechnik-
und Elektronikindustrie (ZVEI) e.V.
Stresemannstr. 19
60596 Frankfurt am Main

Telefon: 069 6302 - 207
Fax: 069 6302 - 390
E-Mail: medtech@zvei.org
Internet: www.zvei.org/medtech

Zentralverband
Elektrotechnik- und
Elektronikindustrie e.V.



Symposium „5 Jahre Konzertierte Aktion Dosisreduktion CT“

Termin: Dienstag 4. November 2003, 10 – 16 Uhr

Tagungsort: Haus der Deutschen Wirtschaft, Breite Straße 29, 10178 Berlin

Moderation: Dr. rer. nat. J. Heinzerling, Vorstandsmitglied des Fachverbands Elektromedizinische Technik im ZVEI

Tagungsprogramm

Begrüßung

Dipl.-Volksw. H.-P. Bursig (Frankfurt), Geschäftsführer des Fachverbands
Elektromedizinische Technik im ZVEI

Grußwort der Deutschen Röntgengesellschaft

Prof. Dr. med. B. Hamm (Berlin), Präsident der Deutschen Röntgengesellschaft

Grußwort des Bundesamts für Strahlenschutz

Dr. W. Weiss (Neuherberg), Leiter des Fachbereichs Strahlenschutz und Gesundheit am BfS

Grußwort des Fachverbandes Elektromedizinische Technik im ZVEI

Dr. rer. nat. J. Heinzerling (Hamburg), Vorstandsmitglied des Fachverbands
Elektromedizinische Technik im ZVEI

Teil 1: Was haben wir bisher erreicht ?

- 1. Fachliteratur zum Thema CT & Dosis** **Seite 1**
Dr. rer. nat. H.D. Nagel (Hamburg), Techn. Delegierter ZVEI Fachkreis Röntgen/CT
- 2. Bundesweite Umfrage 1999 zur CT-Expositionspraxis** **Seite 3**
Dr. rer. nat. G. Stamm (Hannover), Medizinische Hochschule Hannover
- 3. Diagnostische Referenzwerte für CT** **Seite 5**
Prof. Dr. med. M. Galanski (Hannover), Vors. Ausschuß Qualitätssicherung der DRG
- 4. Berechnungsprogramme zur Ermittlung und Bewertung der Strahlenexposition bei CT** **Seite 7**
Dr. rer. nat. G. Stamm (Hannover), Medizinische Hochschule Hannover
- 5. Bundesweite Zusatz-Umfrage 2002 zur MSCT-Expositionspraxis** **Seite 9**
PD Dr. rer. nat. G. Brix (Neuherberg), Leiter Abt. Medizinische Strahlenhygiene
und Dosimetrie des BfS
- 6. Multi-Center-Studie zur Ermittlung optimierter Dosisvorgaben für CT** **Seite 11**
Prof. Dr. med. M. Galanski (Hannover), Vors. Ausschuß Qualitätssicherung der DRG
- 7. Spezialkurs Computertomographie nach neuer Fachkunde-Richtlinie** **Seite 13**
Dr. rer. nat. H.D. Nagel (Hamburg), Techn. Delegierter ZVEI Fachkreis Röntgen/CT
- 8. Herstellerseitige Maßnahmen (Dosisautomatiken, Scanprotokolle, Training)**

Dr. rer. nat. C. Süß (Forchheim), Wiss. Mitarbeiter, Siemens Medical Solutions
Dipl.-Phys. Dr. Ing. J. Blobel (Neuss), Leiter Geschäftsbereich CT/XR/MR, Toshiba Medical Systems **Seite 15**
Dr. med. Dipl.-Ing. S. Türkay (Solingen), Sen. Clinical Scientist CT, GE Medical Systems **Seite 17**
Dr. rer. nat. H.D. Nagel (Hamburg), Wiss. Mitarb. Röntgen/CT, Philips Medizin Systeme **Seite 19**

Teil 2: Was ist noch zu tun ?

- | | |
|---|-----------------|
| 1. Ermittlung der Dosiseffizienz von CT-Einrichtungen Dr. rer. nat. M. Wucherer (Nürnberg), Leiter Inst. f. Medizinische Physik, Klinikum Nürnberg | Seite 21 |
| 2. Ermittlung von optimierten Scanprotokollen für die Mehrschicht-CT Prof. Dr. med. M. Galanski (Hannover), Vors. Ausschuß Qualitätssicherung der DRG | |
| 3. Optimierung der CT-Anwendung in der Kinderheilkunde Prof. Dr. med. K. Schneider (München), Leiter Abt. Diagn. Radiol. Dr. v. Haunersches Kinderspital | Seite 23 |
| 4. Überarbeitung der Leitlinie Bundesärztekammer für CT Prof. Dr. med. M. Prokop (Utrecht), University Medical Center Utrecht, Department of Radiology Prof. Dr. med. H.-St. Stender (Isernhagen) | Seite 25 |
| 5. Empfehlungen der Strahlenschutzkommission PD Dr. med. Dr. rer. nat. Dipl.-Phys. R. Loose (Nürnberg) Mitglied der Strahlenschutzkommission SSK des BMU Mitglied des Medizinausschusses A2 der SSK | Seite 27 |
| 6. Umsetzung durch Sachverständige Prof. Dr. rer. nat. K. Ewen (Duisburg), Leiter Arbeitskreis RöV beim BMU P. Höfs (Wennigsen), Prüfstelle für Strahlenschutz | Seite 29 |
| 7. Umsetzung durch die Ärztlichen Stellen für Qualitätssicherung Prof. Dr. med. H. Vogel (Hamburg), Vors. Ärztliche Stelle der Ärztekammer Hamburg | Seite 31 |

Teil 3: Abschlußdiskussion

ANHÄNGE

- | | |
|--|-----------------|
| ANHANG 1: Memorandum des ZVEI zur Strahlenexposition in der Computer-Tomographie vom Januar 1998 | Seite 33 |
| ANHANG 2: Ergebnisbericht über die erste Sitzung der „Konzertierten Aktion: Strahlenexposition in der Computertomographie“. 15. Mai 1998, Frankfurt am Main, ZVEI-Haus | Seite 36 |

Fachliteratur zum Thema CT & Dosis

Dr. rer. nat. H.D. Nagel (Hamburg), Techn. Delegierter ZVEI Fachkreis Röntgen/CT

EINLEITUNG

Nachlese zum Abschluß der DGMP-Jahrestagung 1997; Beteiligte: H. Lenzen (Münster), W. Maier (Augsburg), H.D. Nagel (Hamburg). Die wenig ergiebige Antwort auf die Frage „Existiert eigentlich etwas Umfassendes, Geschlossenes zu CT und Dosis?“ war Anlaß zur Idee, „doch mal eben“ ein Lehrbuch zu diesem Thema zu verfassen.

Zwei Jahre später (und nach den üblichen Schwierigkeiten, die bei solchen Buchprojekten wohl unvermeidbar sind) lag dann mit „Strahlenexposition in der Computertomographie“ das gewünschte Ergebnis vor. Als Mitautoren konnten – neben W. Maier - zwei Radiologen (Prof. M. Galanski (Hannover), Dr. N. Hidajat (Berlin)) und ein weiterer Medizinphysiker (Prof. Th. Schmidt (Nürnberg)) gewonnen werden – ein gemeinsames Projekt von Radiologen und Medizinphysikern aus Universitäten, Großkliniken und Industrie bereits vor Gründung der konzertierten Aktion CT.

ZIELSETZUNG

Das Lehrbuch ist primär dazu gedacht, eine bislang bestehende Lücke in der Aus- und Weiterbildung zu schließen. Zielgruppe sind alle Personenkreise, die sich in Kliniken, Praxen, Ärztlichen Stellen, Aufsichtsbehörden, Sachverständigenbüros und Herstellerfirmen berufsbedingt mit CT befassen. Das Buch soll in die Grundlagen der CT-spezifischen Dosimetrie einführen und die Abhängigkeiten von Dosis und Bildqualität aufzeichnen.

INHALT

Die insgesamt 6 Kapitel umfassen die Themen

- Einführung in die CT-Dosisproblematik
- Dosimetrische Grundlagen
- Dosisbeeinflussende Faktoren
- Ermittlung der Strahlenexposition
- Optimierung der Expositionspraxis
- Meßtechnik, Referenzwerte, Beispiele



Abb. 1
Deutsche Ausgabe, erschienen Anfang 2000 beim ZVEI.

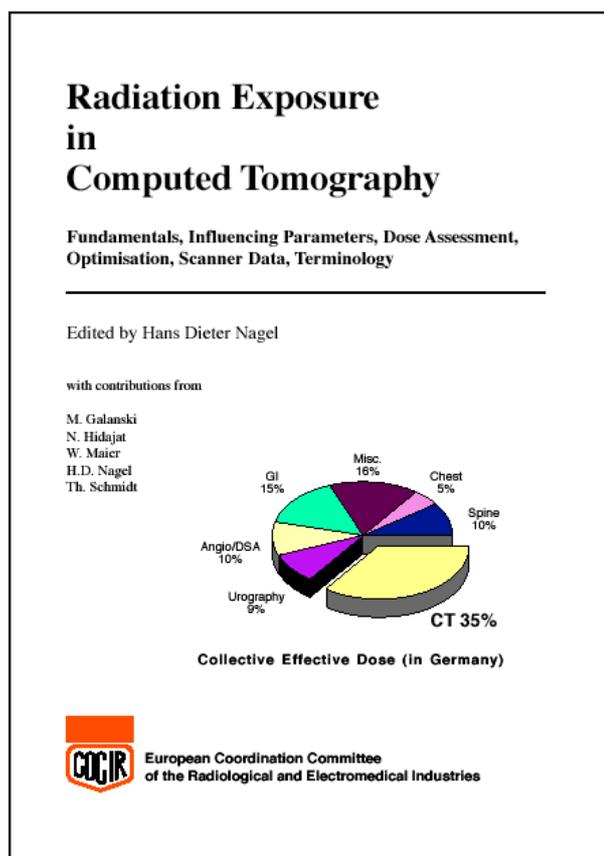


Abb. 2
Englische Ausgabe, erschienen Ende 2000 bei COCIR.

Abgerundet wird die Thematik durch einen Anhang mit einer Zusammenstellung dosisrelevanter Daten aller gängigen Geräte und ein ausführliches Glossar, in dem die wesentlichen Begriffe kurz beschrieben werden.

REALISIERUNG

Das Buchprojekt erforderte umfangreiche Recherchen, insbesondere auf den Gebieten „dosisrelevante Gerätedaten“ und „Verfahren zur Ermittlung der Effektivdosis bei CT-Untersuchungen“. Der damit verbundene Aufwand hat sich aber insofern gerechtfertigt, als diese Daten und Verfahren die Grundlage für die beiden später vorgenommenen bundesweiten Umfragen zur CT-Expositionspraxis und das CT-Dosisevaluierungsprogramm CT-Expo bildeten.

Die Veröffentlichung der Erstauflage des Buches erfolgte durch den ZVEI Fachverband Elektromedizinische Technik. Ermöglicht wurde die Publikation durch das Engagement aller CT-Herstellerfirmen, die zugleich für die Weitergabe an ihre Kunden sorgten - gewissermaßen als eine Art ‚Bildungsoffensive‘ der Industrie. Ende 2000 erschien auf vielfachen Wunsch aus dem Ausland bei COCIR eine englischsprachige Ausgabe, bei deren Übersetzung Dr. P. Shrimpton, ein auf dem Gebiet der CT-Dosimetrie erfahrener und international anerkannter Mitarbeiter des britischen NRPB, mitgewirkt hat. Durchweg positive Buchbesprechungen in nahezu allen radiologischen und medizinphysikalischen Fachzeitschriften im deutsch- und englischsprachigen Raum haben dem Werk zu einem gewissen Bekanntheits- und Beliebtheitsgrad verholfen.

Beide Ausgaben waren nach jeweils knapp 3 Jahren vergriffen und wurden durch überarbeitete und aktualisierte Neuauflagen ersetzt. Dadurch konnten Weiterentwicklungen auf dem Gerätesektor (Mehrschicht-CT, Dosisautomatiken), Überarbeitungen und Neufassungen von Verordnungen und Leitlinien sowie die zwischenzeitlich erzielten Ergebnisse der Konzertierte Aktion CT berücksichtigt werden. Mit der Neuauflage war ein Übergang des Verlegers von ZVEI/COCIR auf CTB Publications verbunden. Auf diese Weise war es möglich, weiterhin individuelle Nachfragen, die mit entsprechend erhöhtem Zeitaufwand verbunden sind und vom ZVEI nicht mehr zu leisten waren, bedienen zu können. Die firmenübergreifende, neutrale Position, die ein wesentlicher Garant für die Akzeptanz der Werke war, blieb dabei gewahrt.

PROJEKT BETEILIGTE

An der Erstellung der Werke waren beteiligt:

M. Galanski¹, N. Hidajat², W. Maier³, H. D. Nagel^{4,5}, Th. Schmidt⁶

¹ Med. Hochschule Hannover, Abteilung Diagnostische Radiologie I

² Virchow-Klinikum, Berlin, Strahlen- und Poliklinik; jetzt: Krankenhaus Peine, Zentrale Abt. f. Diagnostische u. Interventionelle Radiologie

³ Zentralklinikum Augsburg, Medizinische Physik und Strahlenschutz

⁴ ZVEI, Fachverband Elektromedizinische Technik

⁵ Philips Medizin Systeme, Hamburg, Wissenschaftliche Abt.

⁶ Klinikum Nürnberg, Radiologisches Zentrum, Abt. f. Med. Physik

DANKSAGUNG

Besonderer Dank gebührt in diesem Zusammenhang Prof. Dr. Theodor Schmidt, dem im Februar 2003 leider viel zu früh verstorbenen ehemaligen Leiter der Abteilung für Medizinische Physik am Klinikum Nürnberg. Prof. Schmidt hat bereits Ende der Achtziger Jahre auf die mit der CT-Anwendung verbundene Dosisproblematik hingewiesen und erste Schritte zur Dosisoptimierung eingeleitet. Bei der Entstehung der Werke hat er nicht nur als Autor mitgewirkt, sondern hat auch in schwierigen Phasen durch seinen Zuspruch dazu beigetragen, dass das Projekt fort- und schließlich zu Ende geführt werden konnte.

Bundesweite Umfrage 1999 zur CT-Expositionspraxis

Dr. rer. nat. G. Stamm (Hannover), Medizinische Hochschule Hannover

EINFÜHRUNG

Im Hinblick auf die Vorgaben der Patientenrichtlinie und vor dem Hintergrund der Tatsache, dass CT-Untersuchungen zu etwa 1/3 an der medizinischen Strahlenexposition der Bevölkerung beteiligt ist, obgleich sie zahlenmäßig nur etwa 4% aller Röntgenuntersuchungen ausmachen [1], haben die DRG (Deutsche Röntgengesellschaft) und der ZVEI (Fachverband Elektromedizinische Technik) eine bundesweite Umfrage zur Expositionspraxis bei CT-Untersuchungen durchgeführt, um aktuelle und belastbare Zahlen für die Erstellung von Referenzdosiswerten in der Computertomographie zu erhalten.

DURCHFÜHRUNG UND AUSWERTUNG DER UMFRAGE

Im Zuge der Umfrage, die im Zeitraum Dezember 1998 bis Dezember 1999 durchgeführt wurde, sind insgesamt etwa 2.000 Radiologen in Kliniken und Praxen aus dem gesamten Bundesgebiet angeschrieben und um Auskunft gebeten worden. Neben dem oder den verwendeten Scannern (Hersteller, Gerätetyp, Baujahr) wurden Angaben zu den dosisrelevanten Einstellungen und Scanparametern für insgesamt 14 Untersuchungsprotokolle (Untersuchungsregionen) abgefragt (Tab. 1). Darüber hinaus wurde nach der durchschnittlichen jährlichen Anzahl von CT-Untersuchungen und nach dem relativen Anteil der Untersuchungsregionen (Schädel, Thorax, Abdomen, Skelett) an allen CT-Untersuchungen gefragt.

An Hand der mitgeteilten Daten wurden die Dosis frei Luft auf der Systemachse ($CTDI_L$), der gewichtete CTDI ($CTDI_w$), das Dosislängenprodukt (DLP_w) und die effektive Dosis (E) berechnet.

DISKUSSION

Die Ergebnisse der Umfrage zeigen, dass der in der Leitlinie der Bundesärztekammer [2] festgelegte Wert von 50 mGy frei Luft auf der Systemachse ($CTDI_L$) bisher nur bedingt eingehalten wird. Im Bereich des Hirnschädels, der Wirbelsäule und des Beckenskeletts wird in der Praxis mit deutlich höheren Werten gearbeitet. Dies trifft auch dann zu, wenn anstelle der 3. Quartile die Mittelwerte herangezogen werden. Die Sachverständigenrichtlinie RW 13 Anlage I [2] hatte diesem Umstand zwischenzeitlich dadurch Rechnung getragen, dass sie die Dosislimitierung vorerst auf Standarduntersuchungen im Bereich Thorax und Abdomen beschränkt hat.

FAZIT

Die bundesweite Umfrage zur Expositionspraxis in der Computertomographie hat umfangreiche und aktuelle Erkenntnisse zur Höhe der CT-bedingten Strahlenexposition und zu damit verbundenen Trends erbracht. Die mittlere effektive Dosis liegt bei ca. 8 mSv pro Untersuchung. Dies entspricht einer Abnahme von ca. 30% gegenüber der Erhebung des BfS von 1992 [1] bei allerdings einer gleichzeitigen Zunahme der Untersuchungsfrequenz um ca. 60% (vgl. Tabelle 3). Trotz des Dosisrückgangs bei einzelnen Untersuchungsarten ist der Anteil der Computertomographie an der medizinisch bedingten Strahlenexposition der bundesdeutschen Bevölkerung aufgrund dieser Zusammenhänge nicht rückläufig. Die Ergebnisse der Umfrage lieferten eine solide Grundlage zur Festsetzung der Referenzwerte für die Computertomographie.

Tabelle 1
Umfrage zur Dosisabschätzung bei CT-Untersuchungen: erhobene Daten.

| Scanprotokolle | Scan- und Untersuchungsparameter |
|--|--|
| Neurokranium | Aufnahmespannung |
| Viszerokranium | Röhrenstrom |
| Viszerokranium und Hals | Scanzeit pro Schicht bzw. Rotationzeit |
| Thorax | Schichtkollimation |
| Aorta thorakal | Tischvorschub |
| Pulmonalgefäße (Lungenembolie) | Pitch |
| Abdomen (inkl. Becken) | Filterkern (Rekonstruktionsfilter) |
| Oberbauch (Leber/Niere) | Scangrenzen |
| Aorta abdominal | Anzahl der Scanserien |
| Staging-Untersuchung (Thorax u. Abdomen) | |
| Becken (Weichteil) | |
| Beckenskelett | |
| Halswirbelsäule | |
| Lendenwirbelsäule | |

Tabelle 2

Zusammensetzung der 830 CT-Geräte hinsichtlich der Alters- und Herstellerverteilung sowie der Untersuchungsverteilung auf die verschiedenen Körperregionen.

| Herstelleranteil | | Gerätealter | | Untersuchungsregion | |
|------------------|------|-------------|------|---------------------|------|
| Siemens | 49 % | ≤ 3 Jahre | 48 % | Kranium | 40 % |
| Philips | 15 % | 4-7 Jahre | 38 % | Thorax | 15 % |
| GE | 12 % | > 7 Jahre | 14 % | Abdomen | 25 % |
| Picker | 10 % | | | Skelett | 19 % |
| Toshiba | 7 % | | | Sonstige | 1 % |
| Elsint | 6 % | | | | |
| Shimadzu | 1 % | | | | |

Tabelle 3

Effektive Dosis und Anteil am Untersuchungsaufkommen für ausgewählte Regionen und der Vergleich mit der Erhebung des Bundesamtes für Strahlenschutz aus 1992.

| Region | DRG/ZVEI 1999 | | BfS 1992 | |
|-------------------|---------------|------------|-------------|------------|
| | E [mSv] | Anteil [%] | E [mSv] | Anteil [%] |
| Kranium | 2,7 | 40 | 2,6 | 36 |
| Thorax | 7,7 | 15 | 20,5 | 8 |
| Abdomen | 21,4 | 25 | 27,4 | 22 |
| Skelett | 2,7 | 19 | 9,0 | 31 |
| Mittelwert | 8,1 | | 11,3 | |

PUBLIKATIONEN

Die Ergebnisse der Umfrage wurden zunächst in einer ersten Mitteilung im Frühjahr 2000 in RöFo [4] veröffentlicht und auf dem Röntgenkongreß 2000 mit einem Vortrag [5] und einem Poster [6] vorgestellt. Im Jahr 2001 folgte ein ausführlicher, 66 Seiten umfassender Report in RöFo [7]. Ein inhaltlich identischer Sonderdruck [8] ist

gemeinsam von DRG und ZVEI publiziert worden und über den ZVEI bzw. die CT-Herstellerfirmen erhältlich.

PROJEKT BETEILIGTE

An der Organisation und Auswertung der Umfrage sowie an der Erstellung der Publikationen waren beteiligt:

M. Galanski ^{1,2}, H. D. Nagel ^{3,4}, G. Stamm ²

¹ DRG, Ausschuss für Qualitätssicherung

² Med. Hochschule Hannover, Abteilung Diagnostische Radiologie I

³ ZVEI, Fachverband Elektromedizinische Technik

⁴ Philips Medizin Systeme, Hamburg, Wissenschaftliche Abt.

LITERATUR

- [1] Bernhardt J, Veit R und Bauer B. Erhebung zur Strahlenexposition der Patienten bei der Röntgendiagnostik. Z. Med. Phys. 1995; 5: 33 - 39
- [2] Bundesärztekammer. Leitlinie der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung in der Computertomographie. Dt. Ärzteblatt 1992; 89: C-2368 - 2368
- [3] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Regelwerk 13: Richtlinie für Sachverständigenprüfung nach Röntgenverordnung, Anl. I. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW Verlag für neue Wissenschaft, 1998: 124
- [4] Galanski M, Nagel HD, Stamm G. Expositions dosis bei CT-Untersuchungen: Ergebnisse einer bundesweiten Umfrage. Fortschr. Röntgenstr. 2000; 172: M164 - 168, M197 - 198
- [5] Stamm G, Nagel HD, Galanski M. Strahlenexposition in der Computertomographie: Erste Ergebnisse und Trends einer bundesweiten Umfrage. Vortrag auf dem Röntgenkongreß 2000
- [6] Stamm G, Nagel HD, Galanski M. Strahlenexposition in der Computertomographie - Ergebnisse und Trends einer bundesweiten Umfrage. Poster auf dem Röntgenkongreß 2000
- [7] Galanski M, Nagel HD, Stamm G. CT-Expositionspraxis in der Bundesrepublik Deutschland - Ergebnisse einer bundesweiten Umfrage im Jahre 1999. Fortschr. Röntgenstr. 2001; 173: R1 - R66
- [8] Galanski M, Nagel HD, Stamm G. CT-Expositionspraxis in der Bundesrepublik Deutschland - Ergebnisse einer bundesweiten Umfrage im Jahre 1999. Sonderdruck 2002; Frankfurt: ZVEI

Diagnostische Referenzwerte für CT

Prof. Dr. med. M. Galanski (Hannover), Vors. Ausschuß Qualitätssicherung der DRG

EINFÜHRUNG

Die Richtlinie 97/43 Euratom [1] zum Gesundheitsschutz von Personen bei medizinischer Exposition („Patientenrichtlinie“) fordert Referenzdosiswerte bei der Anwendung von ionisierenden Strahlen am Menschen. Dosisrichtwerte existieren für die Projektionsradiographie seit längerem. Für die Computertomographie ist dies nicht in gleicher Weise der Fall. Es existiert lediglich ein einheitlicher oberer Grenzwert von 50 mGy für die Achsendosis, der bei der Sachverständigenprüfung von CT-Einrichtungen nicht überschritten werden darf (RW 13 Anlage 1 [2]) und eine gleichlautende Empfehlung in den Leitlinien der BÄK [3] zur Qualitätssicherung in der Computertomographie.

In Tabelle 1 sind die Werte der durchgeführten Erhebung für die 3. Quartile den entsprechenden „Referenzdosiswerten“ des Reports EUR 16262 [4] und den im August 2003 vom Bundesamt für Strahlenschutz [5] veröffentlichten Werten gegenübergestellt.

Tabelle 1

Vergleich der Expositionsdosiswerte bei CT-Untersuchungen ($CTDI_w$, DLP_w) zwischen der aktuellen Erhebung (DRG/ZVEI, 3.Quartile), den vom BfS veröffentlichten Referenzwerten und den Werten aus dem Report EUR 16262.

| Untersuchungsregion | $CTDI_w$ [mGy] | | | DLP_w (pro Unters.) [mGy · cm] | | | |
|-------------------------|----------------|-----------------|-----------|----------------------------------|----------|------------------|-----------|
| | DRG/ZVEI 1999 | BfS 2003 | EUR 16262 | DRG/ZVEI 1999 | (Serien) | BfS 2003 | EUR 16262 |
| Hirnschädel | 66 | 60 | 60 | 1175 | 1,5 | 1050 | 1050 |
| Gesichtsschädel (NNH) | 56 | 35 ¹ | 35 | 626 | 1,1 | 360 ¹ | 360 |
| Gesichtsschädel u. Hals | 46 | — | — | 890 | 1,2 | — | — |
| Thorax | 22 | 22 | 30 | 648 | 1,2 | 650 | 650 |
| Thorax HRCT | — | — | 35 | — | — | — | 280 |
| Abdomen + Becken | 24 | 24 | 35 | 1505 | 1,6 | 1500 | 780 |
| Becken | 28 | 28 | 35 | 784 | 1,3 | 750 | 570 |
| Oberbauch (Leber/Niere) | 25 | 25 | 35 | 771 | 1,9 | 770 | 900 |
| Staging-Untersuchung | 22 | — | — | 1848 | 1,4 | — | — |
| Pulmonalgefäße | 20 | — | — | 283 | 1,1 | — | — |
| Beckenskelett | 38 | — | 25 | 789 | 1,0 | — | 520 |
| HWS | 80 | — | — | 319 | 1,0 | — | — |
| LWS | 47 | 47 ² | — | 283 | 1,0 | 280 ² | — |

¹ Hauptindikation für diese Untersuchungsart ist die Abklärungsdiagnostik bei Sinusitis. Im Rahmen der Frakturdiagnostik können höhere Werte erforderlich sein.

² Im Rahmen der Bandscheibendiagnostik.

DISKUSSION

Der gewichtete CTDI ($CTDI_w$) trägt den bauartbedingten Unterschieden zwischen den verschiedenen Gerätetypen wesentlich besser Rechnung. In Verbindung mit dem auf dem $CTDI_w$ basierenden Dosislängenprodukt ($DLPI_w$) werden sich künftig auch die dosisrelevanten Einflüsse von Scanlänge und Pitch niederschlagen. Die vom Bundesamt für Strahlenschutz im August 2003 veröffentlichten Referenzwerte sind dementsprechend in diesen beiden Messgrößen formuliert worden.

Beim Vergleich mit Ergebnissen anderer Studien auf Basis der integralen Dosisgrößen „Dosislängenprodukt“ und „Effektive Dosis“ ist regelmäßig darauf zu achten, ob sich die Angaben auf eine einzelne Scanserie oder auf die gesamte Untersuchung mit ggf. mehr als einer Scanserie beziehen. Darüber hinaus müssen unterschiedliche Ausgangsbedingungen auf gerätetechnischer Seite berücksichtigt werden.

Der Vergleich mit den im Report EUR 16262 vorgeschlagenen Referenzwerten zeigt teils gute Übereinstimmungen (Hirnschädel), teils deutliche Unterschiede, insbesondere bei der Untersuchung des Abdomens einschließlich des Beckens, des Beckenskeletts und des Gesichtsschädels. Zum Report EUR 16262 ist anzumerken, dass einige Werte (Hirnschädel, Thorax, Abdomen, Becken) auf den Daten der Erhebung des NRPB aus dem Jahre 1989 basieren, den aktuellen Stand der Untersuchungs- und Gerätetechnik daher – wie bereits ausgeführt – nur bedingt widerspiegeln. Die übrigen Werte wurden in einer Pilotstudie an etwa 15 Installationen ermittelt.

PROJEKT BETEILIGTE

An der Erstellung der Vorschläge waren beteiligt:

M. Galanski^{1,2}, H. D. Nagel^{3,4}, G. Stamm²

¹ DRG, Ausschuss für Qualitätssicherung

² Med. Hochschule Hannover, Abteilung Diagnostische Radiologie I

³ ZVEI, Fachverband Elektromedizinische Technik

⁴ Philips Medizin Systeme, Hamburg, Wissenschaftliche Abt.

LITERATUR

- [1] Rat der Europäischen Union. Richtlinie 97/43/Euratom über den Gesundheitsschutz von Personen gegen die Gefahren ionisierender Strahlung bei der medizinischen Exposition. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften 1997; Nr. L 180: 25
- [2] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Regelwerk 13: Richtlinie für Sachverständigenprüfung nach Röntgenverordnung, Anl. I. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW Verlag für neue Wissenschaft, 1998: 124
- [3] Bundesärztekammer. Leitlinie der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung in der Computertomographie. Dt. Ärzteblatt 1992; 89: C-2368 - 2368
- [4] European Commission. European Guidelines on Quality Criteria for Computed Tomography. Report EUR 16262 EN. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 1999: 69 - 78
- [5] Bundesamt für Strahlenschutz. Bekanntmachung der diagnostischen Referenzwertefür radiologische und nuklearmedizinische Untersuchungen vom 10. Juli 2003. Bundesanzeiger Nummer 143 vom 5.8.2003, 17503 - 17504

Berechnungsprogramme zur Ermittlung und Bewertung der Strahlenexposition bei CT

Dr. rer. nat. G. Stamm (Hannover), Medizinische Hochschule Hannover

EINLEITUNG

Die Computertomographie weist - neben den angiographischen, kardiologischen und interventionellen Prozeduren - die höchsten Patientendosiswerte unter den Röntgenbildgebungsverfahren auf. Ein Grund hierfür ist sicherlich das erhöhte Untersuchungsaufkommen, bedingt durch den weitaus höheren Informationsgehalt der mit CT erzeugten Schnittbilder im Vergleich zu den konventionellen projektionsradiographischen Verfahren.

Aufgrund der fehlenden technischen Voraussetzungen und ungenügenden Dosisinformation wird in der Praxis häufig nicht mit an den Patienten und die jeweilige Fragestellung angepassten Werten gearbeitet, wie mit den 1999 und 2002 durchgeführten bundesweiten Umfragen zur CT-Expositionspraxis [1],[2] belegt werden konnte. Die zur Auswertung der Umfragedaten benutzten Verfahren lieferten Anregung und Grundlage für die Entwicklung von CT-Expo, einem neuartigen Programm zur Dosisbewertung in der CT. Zwar ist diese Software nicht die erste und einzige ihrer Art. Gegenüber anderen Programmen zur CT-Dosisberechnung (WinDose [3], CTDOSE [4], CT-Dose [5], CTDosimetry [6]) zeichnet sich CT-Expo durch eine Reihe von Eigenschaften aus, mit denen sich die Maßnahmen zur Dosisreduktion, die durch die Umfrage initiiert worden sind, von den CT-Anwendern in Eigenregie weiterführen lassen. Die wesentlichen Merkmale dieses Programms und seine Anwendungsmöglichkeiten werden im Folgenden beschrieben.

PROGRAMMBESCHREIBUNG

CT-Expo ist eine in Visual Basic programmierte Excel-Applikation. Das Programm ist auf Windows-PC's (ab Windows 95) und Apple Macintosh-Rechnern (mindestens PPC, OS 7.5) lauffähig. Wegen der verwendeten Visual

Abb. 1
Arbeitsblatt des Anwendungsmoduls ‚Berechnen‘.

Basic-Module muss MS Excel ab Version Excel 97 (PC) bzw. Excel 98 (Mac) verfügbar sein.

CT-Expo gestattet die Berechnung von Dosisgrößen die einen unmittelbaren Nutzen für den Anwender darstellen: Zur Prüfung auf Einhaltung von Referenzwerten ($CTDI_w$ und DLP_w), zum Vergleich mit der geräteseitigen Dosisanzeige ($CTDI_{vol}$), zum Vergleich mit Expositionen aus anderen Quellen (Effektive Dosis E) und zur Entscheidungsfindung nach Exposition bei Schwangerschaft (D_{Uterus}). Dagegen wurde auf die Berechnung anderer Organ dosiswerte verzichtet, da ihre Ermittlung mit erheblichen Unsicherheiten behaftet ist.

Zur Dosisberechnung sind Angaben zum CT-Gerät (Hersteller, Modell, Baujahr), Patiententyp (Altersgruppe, Geschlecht), Scanregion (Lage, Ausdehnung), Scanparametern (Spannung, Röhrenstrom usw.) sowie die dosisrelevanten Gerätedaten und Konversionsfaktoren zur Organ dosisbestimmung erforderlich.

ANWENDUNGSMODULE

CT-Expo bietet drei Anwendungsmodule mit unterschiedlicher Schwerpunktsetzung: ‚Berechnen‘, ‚Standard‘ und ‚Benchmarking‘.

- Anwendungsmodul ‚Berechnen‘ (Abb. 1) ist der Universalmodus, der größtmögliche Flexibilität hinsichtlich Patiententyp, Patientengeschlecht und Scanregion bietet. Dosisberechnungen bei pädiatrischen CT-Untersuchungen sind nur in diesem Modul möglich. Dasselbe gilt für die Berechnung der Uterusdosis. Lage und Ausdehnung der Scanregion sind beliebig in Schritt

Abb. 2
Arbeitsblatt des Anwendungsmoduls ‚Standard‘.

ten von 1 cm einstellbar. Neben Dosisberechnungen für bestimmte Fragestellungen eignet sich dieses Modul in idealer Weise für Lern- und Unterrichtszwecke. Durch gezielte Variation der Eingabeparameter wird die Auswirkung bestimmter Maßnahmen auf die Dosis unmittelbar verdeutlicht.

- Anwendungsmodul ‚Standard‘ (Abb. 2) eignet sich dank der vereinfachten Festlegung der Scanregion und des damit verbundenen Zeitgewinns speziell zur untersuchungsbegleitenden Dosisermittlung und -dokumentation. Hinzu kommt die Möglichkeit, die Daten komplexer, mehrere Serien umfassender Untersuchungen getrennt einzugeben und auszurechnen. Außerdem können die resultierenden Dosiswerte unmittelbar mit den Durchschnittswerten der CT-Umfrage verglichen werden. Da Berechnung und Vergleich der Werte vor der eigentlichen Untersuchung möglich ist, lassen sich Fehldosierungen erkennen und korrigieren. Durch die Option, den Inhalt des Arbeitsblatts auszudrucken, kann der Aufzeichnungspflicht nach § 28 RöV auf einfache Weise nachgekommen werden.
- Die im Modul ‚Benchmarking‘ (Abb. 3 und 4) angebotenen Berechnungen und Darstellungen ermöglichen eine Fortführung oder erstmalige Anwendung der im Rahmen der CT-Umfragen initiierten Qualitätssicherungsmaßnahmen und bietet sich nach Optimierungsmaßnahmen zur Verifizierung und Dokumentation der Ergebnisse an.

Die Verwendungsmöglichkeiten von CT-Expo beschränken sich nicht allein auf den Kreis der CT-Anwender (Radiologen, MTRA). Speziell das Anwendungsmodul ‚Benchmarking‘ dürfte für alle mit der CT befassten Personen, die eine beratende oder überwachende Funktion wahrnehmen, von großem Nutzen sein: Service- und Applikationspersonal der CT-Firmen, Medizinphysiker, Sachverständige sowie Mitarbeiter von Ärztlichen Stellen und Aufsichtsbehörden.

DOKUMENTATION

Eine ausführliche Beschreibung des Programms und seiner Anwendungsmöglichkeiten wurde in RöFo veröffentlicht [7]. Als Anleitung stehen dem Anwender ein ausführliches PDF-Handbuch, eine Kurzanleitung sowie verdeckte Kommentarfelder zu besonders fehlerträchtigen Eingabefeldern zur Verfügung.

PROJEKT BETEILIGTE

An der Erstellung des Programms waren beteiligt:
H. D. Nagel^{1,2}, G. Stamm³

¹ ZVEI, Fachverband Elektromedizinische Technik

² Philips Medizin Systeme, Hamburg, Wissenschaftliche Abt.

³ Med. Hochschule Hannover, Abteilung Diagnostische Radiologie

Abb. 3
Arbeitsblatt des Anwendungsmoduls ‚Benchmarking‘.

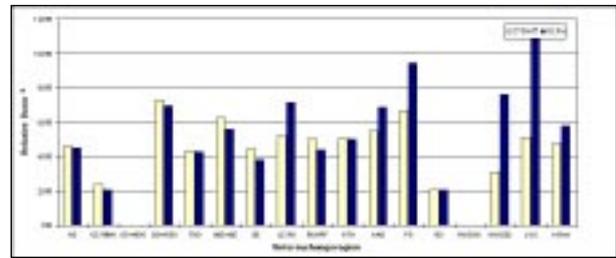


Abb. 4
Graphische Darstellung der relativen Dosiswerte (Bezug: Mittelwert der bundesdeutschen CT-Umfrage 1999)

LITERATUR

- [1] Galanski M, Nagel HD, Stamm G. CT-Expositionspraxis in der Bundesrepublik Deutschland. Fortschr. Röntgenstr. 2001; 173: R1-R66.
- [2] Brix G, Nagel HD, Stamm G, Veit R, Lechel U, Griebel J, Galanski M. Radiation exposure in multi-slice versus single-slice spiral CT: results of a nationwide survey. Eur. Radiol 2003; 13: 1979 – 1991.
- [3] Kalender WA, Schmidt B, Zankl M, Schmidt M. A PC program for estimating organ dose and effective dose values in computed tomography. European Radiology 1999; 9: 555 - 562
- [4] LeHeron JC. CTDOSE - a computer program to enable the calculation of organ doses and dose indices for CT examinations. Christchurch, New Zealand: Ministry of Health, National Radiation Laboratory, 1993
- [5] National Institute of Radiation Hygiene. CT-Dosisberechnungssoftware ‚CT-Dose‘. Kontaktadresse: ct-dose@sis.dk. Herlev: National Institute of Radiation Hygiene, 1999
- [6] Imaging Performance Assessment of CT Scanners: A Medical Devices Agency Evaluation Group. ImPACT CT Patient Dosimetry Calculator - Version 0.99k. ImPACT Internet Home Page (<http://www.impactscan.org>); Stand: Januar 2002
- [7] Stamm G, Nagel HD. CT-Expo – ein neuartiges Programm zur Dosisvaluierung in der CT. Fortschr. Röntgenstr. 2002; 174: 1570 - 1576

Bundesweite Zusatz-Umfrage 2002 zur MSCT-Expositionspraxis

PD Dr. rer. nat. G. Brix (Neuherberg), Leiter Abt. Medizinische Strahlenhygiene und Dosimetrie des BfS

EINLEITUNG

Mehrschicht-(MS-)CT-Scanner bieten die Möglichkeit, Patienten effizienter zu untersuchen und neue diagnostische Anwendungen, wie z.B. die Koronar-Angiographie oder das Kalzium-Scoring, zu etablieren. Bei dieser Entwicklung ist allerdings auch die Strahlenexposition der Patienten zu berücksichtigen. So ist insbesondere zu vermeiden, dass es durch einen unreflektierten Einsatz dieser neuen Technologie und der Verwendung nicht optimierter Protokolle zu einem Anstieg der Strahlenexposition der Bevölkerung kommt. Ziel dieser gemeinsam von BfS, DRG und ZVEI durchgeführten Studie war es daher, mittels einer bundesweiten Umfrage einen Überblick über die im Jahr 2001 durchgeführten MSCT-Untersuchungen sowie den hierbei verwendeten Protokollen zu erhalten.

MATERIAL UND METHODE

Für die Dosimetrie wurde das kommerziell verfügbare und von uns anhand von TLD-Messungen am Alderson-Phantom verifizierte PC-Programm 'CT-Expo' verwendet [1,2], mit dem die Patientendosis für beliebige Protokolle und Scanner abgeschätzt werden kann. Anfang 2002 wurden alle Betreiber von MSCT-Systemen in Deutschland mit der Bitte angeschrieben, anhand eines Fragebogens für 14 Standarduntersuchungen Angaben zur Anwendungshäufigkeit und zu den verwendeten Untersuchungsparametern zu machen. Basierend auf diesen Daten wurden dann verschiedene Dosisgrößen (u.a. $CTDI_w$, DLP, effektive Dosis) berechnet und mit den Ergebnissen einer vorangegangenen, gemeinsam von DRG und ZVEI durchgeführten Umfrage zur Untersuchungspraxis an konventionellen Spiral-CT-Scannern (Installation zwischen 1/1996 und 6/1999) verglichen [3].

ERGEBNISSE

Die Fragebögen wurden insgesamt von 113 der 207 angeschriebenen Betreiber beantwortet, was einer Rücklaufquote von 55% (60% für Kliniken, 43% für Praxen) entspricht. Gemäß den Angaben der Betreiber waren 87% der seit 1999 installierten MSCT-Systeme Vierzeiler. Die Auswertung der Daten für 39 Zwei- und 74 Vierzeiler ergab, dass an diesen Systemen pro Jahr deutlich mehr Patienten untersucht wurden als an Einzelern (5500 vs. 3500). In Abb. 1 sind für die betrachteten 14 Standarduntersuchungen die Veränderung einiger relevanter Größen graphisch dargestellt (des $CTDI_w$ pro Scan, der Scanlänge, des DLP pro Untersuchung und der effektiven Dosis).

Die mittlere effektive Dosis pro Untersuchung hat an Vier- im Vergleich zu Einzelern von 7,4 auf 8,1 mSv zugenommen, wohingegen für Zweizeiler eine Abnahme auf 5,5 mSv ermittelt wurde. Der Anstieg der Exposition bei CT-Untersuchungen an Vierzeilern ist – neben dem systembedingten Overbeaming-Effekt – im wesentlichen auf ein verändertes Untersuchungsverhalten zurückzuführen: So werden die Messungen mit deutlich reduzierter Schichtkollimation durchgeführt. Das ist im Prinzip ein sinnvolles Konzept, da es die Rekonstruktion von CT-Bildern beliebiger Orientierung mit isotroper In-Plane-Auflösung ermöglicht. Allerdings darf das mAs-Produkt – entgegen der derzeitigen Praxis – nicht im Hinblick auf die dünne Schichtkollimation gewählt werden, sondern im Hinblick auf die Dicke der rekonstruierten Schichten, die bei Vierzeilern im Mittel fast doppelt so groß ist wie die Schichtkollimation (5,6 vs. 3,2 mm). Darüber hinaus erfolgt die Bildgebung, insbesondere bei Untersuchungen der Hals- und Lendenwirbelsäule, über deutlich größere Körperabschnitte. Weitere Faktoren für den Dosisanstieg an 4-Zeilern sind die reduzierte Strahlenfilterung bei Untersuchungen im Kopfbereich und die mangelnde Transparenz bei der Darstellung der Scanparameter.

DISKUSSION

Als wesentliches Ergebnis unserer Studie ist festzuhalten, dass an Zweizeilern bereits dosisoptimierte Untersuchungsprotokolle eingesetzt werden, während bei Vierzeilern noch ein erheblicher Optimierungsbedarf besteht – insbesondere im Hinblick auf die Anpassung der Untersuchungsprotokolle an die diagnostische Fragestellung. Dies bedarf einer gezielten Aufklärung und Schulung sowohl der Ärzte als auch des technischen Personals. Wesentliches Mittel zur Dosisreduktion ist die Akzeptanz eines höheren Rauschniveaus. In den meisten Situationen wird dies durch eine deutlich verbesserte Kontrastgebung infolge des reduzierten Partialvolumeneffekts mehr als kompensiert. Wo dies nicht der Fall ist, lässt sich das Rauschen durch retrospektiv vorgenommene Schichtaddition verringern.

PUBLIKATIONEN

Eine ausführliche Publikation der Ergebnisse ist zwischenzeitlich in *European Radiology* erfolgt [4].

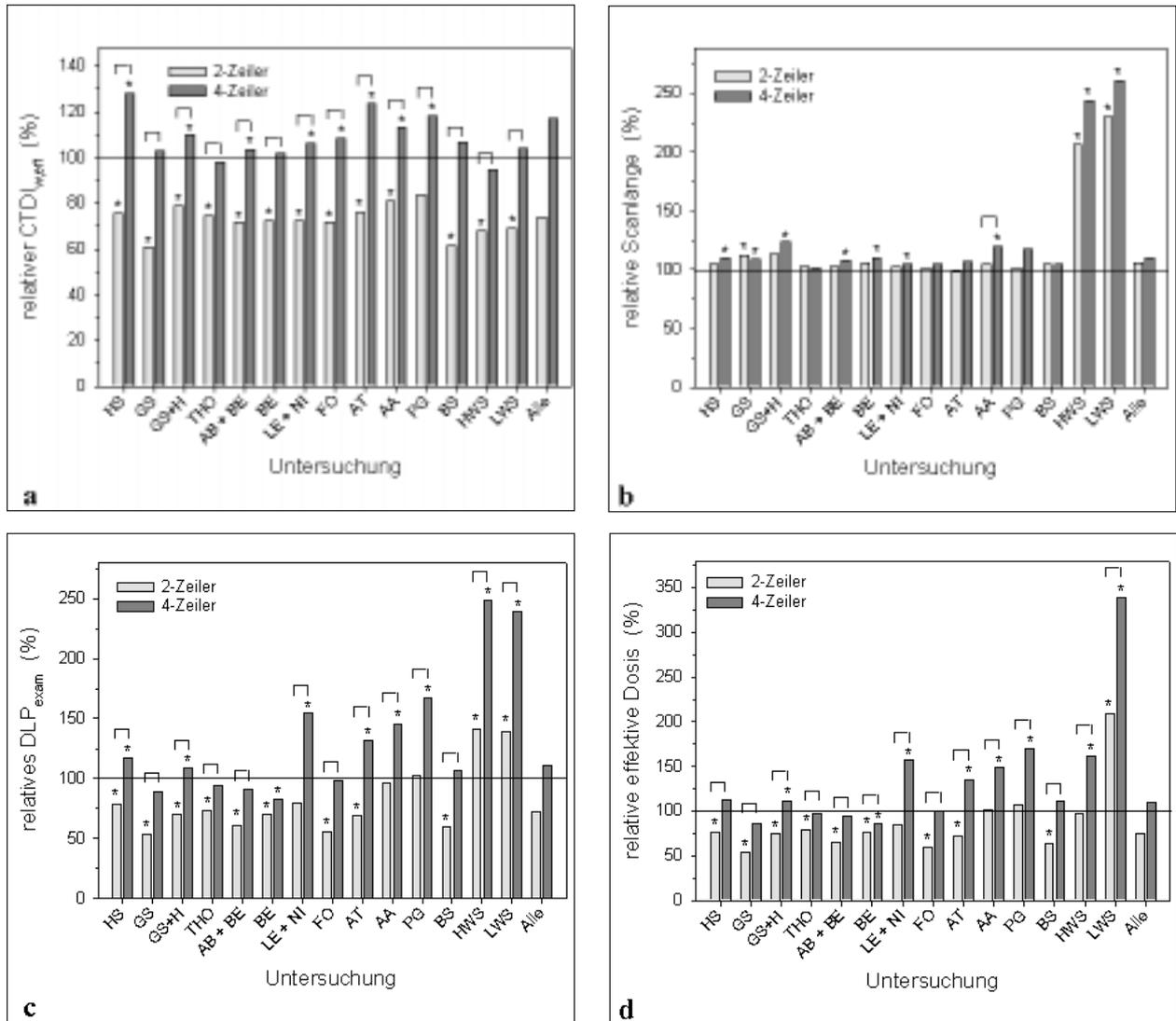


Abb. 1

(a) Gewichteter effektiver CT-Dosisindex $CTDI_{wert}$ pro Scan, (b) Scanlänge, (c) Dosislängenprodukt DLP pro Untersuchung und (d) die effektive Dosis für 14 Standard-CT-Untersuchungen. Zum besseren Vergleich sind die an 2- und 4-Zeilern ermittelten Werte jeweils auf die korrespondierenden Werte bezogen, die in einer vorangegangenen Umfrage zur Untersuchungspraxis an Einzelschicht-Spiral-CT-Scannern ermittelt wurden [3].

HS: Hirnschädel, GS: Gesichtsschädel und Nasennebenhöhlen, GS+H: Gesichtsschädel und Hals, THO: Thorax, AB+BE: Abdomen und Becken, BE: Becken, LE+NI: Leber und Niere, FO: T-Staging und Follow-Up, AT: Aorta, thorokal, AA: Aorta, abdominal, PG: Pulmonalgefäße, BS: Beckenskelett, HWS: Halswirbelsäule, LWS: Lendenwirbelsäule. Signifikante ($P < 0,05$) Unterschiede zwischen 2- und 4-Zeilern sind durch eine eckige Klammer gekennzeichnet, diejenigen zwischen 1-Zeilern und 2- bzw. 4-Zeilern durch einen Stern.

PROJEKT BETEILIGTE

An Organisation und Auswertung der Umfrage waren beteiligt: G. Brix¹, M. Galanski^{2,3}, J. Griebel¹, U. Lechel¹, H. D. Nagel^{4,5}, G. Stamm³, R. Veit¹,

¹ Abteilung für Medizinische Strahlenhygiene und Dosimetrie, BfS;
² DRG, Ausschuss für Qualitätssicherung
³ Med. Hochschule Hannover, Abteilung Diagnostische Radiologie I
⁴ ZVEI, Fachverband Elektromedizinische Technik
⁵ Philips Medizin Systeme, Hamburg, Wissenschaftliche Abt.

LITERATUR

[1] Nagel HD, Galanski M, Hidajat N, Maier W, Schmidt T. Strahlenexposition in der Computertomographie – Grundlagen, Einflussfaktoren, Dosiermittlung, Optimierung, Zahlenwerte, Begriffe. Hamburg: CTB Publications, 2002.
 [2] Stamm G, Nagel HD. CT-Expo - ein neuartiges Programm zur Dosisvaluierung in der CT. Fortschr. Röntgenstr. 2002; 174: 1570-1576.
 [3] Galanski M, Nagel HD, Stamm G. CT-Expositionspraxis in der Bundesrepublik Deutschland. Fortschr. Röntgenstr. 2001; 173: R1-R66.
 [4] Brix G, Nagel HD, Stamm G, Veit R, Lechel U, Griebel J, Galanski M. Radiation exposure in multi-slice versus single-slice spiral CT: results of a nationwide survey. Eur. Radiol 2003; 13: 1979 – 1991.

Multi-Center-Studie zur Ermittlung optimierter Dosisvorgaben für CT

Prof. Dr. med. M. Galanski (Hannover), Vors. Ausschuß Qualitätssicherung der DRG

EINFÜHRUNG

Bei Gründung der Konzertierten Aktion war ein Hauptaktionspunkt der Wunsch der CT Hersteller nach konsensfähigen, optimierten Dosisvorgaben für eine Reihe von Standard-CT-Untersuchungen. Zu diesem Zweck wurde eine Multi-Center-Studie durchgeführt, bei der insgesamt 32 Radiologen aus unterschiedlichen Instituten aus dem gesamten Bundesgebiet CT-Bildmaterial bewerteten, das an der MHH mit unterschiedlichen Dosiswerten erstellt wurde.

DURCHFÜHRUNG UND AUSWERTUNG

Ziel dieser Studie war es, mit speziellen „Phantomen“ sowohl die anatomischen Verhältnisse (Umgebung, Rauschen, Kontrast) zu simulieren als auch durch eine mehr oder weniger statistische Verteilung der Objekte im Bild die Gewöhnung des Betrachters an Leitstrukturen zu verhindern. Über ROC-Analysen soll dann eine Aussage über die Erkennbarkeit von Niedrigkontrastobjekten in Abhängigkeit von der verwendeten Strahlendosis getroffen werden. Als „Phantome“ zur Simulation von Niedrigkontrast-Läsionen dienten bei unserer Untersuchung Lebervenen im nativen Bild einer CT-Untersuchung (CT/i, 140 kV, 180 bis 220 mAs, Schichtdicke 5 – 7 mm, Pitch 1,6 bis 1,8, 180° LI, Soft; mittlere Dosis (CTDI_w): 15 mGy entspr. 70% vom Umfragemittelwert). Der Durchmesser dieser so simulierten „Läsionen“ lag zwischen 5 und 9 mm. Der Kontrast betrug im Mittel etwa 2%.

Eine von der Firma GE Medical Systems (GEMS, Milwaukee, U.S.A.) zur Verfügung gestellte experimentelle Software mit dem Namen „n_sim“ erlaubte es, durch gezielte retrospektive Veränderung der Rohdaten (gemessene Schwächungswerte) eine niedrigere Dosis zu simulieren. Damit war es möglich, die für die ausgewählten Patienten abgespeicherten Daten zu bearbeiten, ohne dass eine zusätzliche Exposition erforderlich war.

Tab. 1
Kritische Bereiche zur Beurteilung der vorgelegten Bilder aus ausgewählten anatomischen Regionen.

| Thorax | Abdomen | Becken |
|--|--|--|
| periphere Gefäße Bronchialwand Pleurallinie, Fissuren interstitielle Strukturen axillärer Raum Rückenmuskulatur Mediastinum: Gefäße, Lnn | Bauchwandmuskulatur Rückenmuskulatur Faszien Lnn mesenteriale Gefäße Darmwand Pankreasgang/-parenchym Zwerchfellschenkel Gallenblase | Rückenmuskulatur Hüllfaszien Iliacalgefäße Lnn Rectumwand paravertebrale Fettschicht Spinalwurzeln Harnblasenwand |

Insgesamt hatten wir Daten von 12 verschiedenen Patienten zur Verfügung. Aus diesen wurden 20 Bilder mit „Läsionen“ und 10 ohne „Läsion“ ausgesucht und für 7 Dosisstufen (Ausgangsdosis=100% und jeweils 75%, 62,5%, 50%, 37,5%, 25% und 12,5%) bearbeitet. Somit standen am Ende insgesamt 210 Bilder zur Auswertung zur Verfügung.

Damit die anatomische Region der vorgelegten Bildausschnitte für die Leser nicht erkennbar war, wurden auf einem schwarzen Röntgenfilm (35 cm x 43 cm) mit einer Stanze kreisförmige „Fenster“ mit einem Durchmesser von 25 mm erzeugt und dahinter die Ausschnitte aus den bearbeiteten Patientenbildern fixiert. Die Verteilung hinsichtlich verwendeter Dosisstufe bzw. ob in dem Ausschnitt genau eine „Läsion“ vorhanden war oder nicht erfolgte zufällig in einem 4 x 5 Raster. Die 32 Leser (21 aus dem universitären und Krankenhausbereich, 11 aus dem Niederlassungsbereich) sollten auf einer 5-stufigen Skala beurteilen, ob sie eine „Läsion“ im Bild erkennen konnten oder nicht.

ERGEBNISSE

Es zeigte sich dabei, dass für eine sichere Erkennung von Niedrigkontrastläsionen mit im Mittel 2% Kontrast und einem Durchmesser von 5 bis 9 mm eine Dosisstufe von 62,5% des Ausgangswertes noch ausreichend ist. Die Sensitivität lag dabei bei 95% und die Spezifität bei 90%.

Damit konnte mit dieser Studie erstmals an einem praxisnahen anatomischen Modell der Dosisbedarf und die diagnostisch notwendige Bildqualität korreliert werden. Die Ergebnisse legen nahe, dass eine Optimierung der Scanprotokolle in Richtung des Wertes für die 1. Quartile der Werte aus der bundesweiten Umfrage [1] ohne Einbußen in der Diagnosesicherheit durchgeführt werden kann. Ob-

Tab. 2

Werte für den gewichteten CTDI nach Optimierung im Vergleich zu Mittelwert und 1. Quartilwert der Umfrage und dem Startwert der Studie; die entsprechenden Werte des pitchkorrigierten CTDI_w (= Volumen-CTDI) fallen um den Faktor 0,6 - 0,7 niedriger aus.

| Untersuchungsregion | Mittelwert Umfrage | 1. Quartile Umfrage | Startwert Studie | | Optimierung | |
|---------------------|--------------------|---------------------|------------------|-----------|--------------------------|------------|
| | [mGy] | [mGy] | absolut [mGy] | relativ * | absolut [mGy] | relativ * |
| Leber/Niere | 21 | 15 | 16 | 76% | 10 | 48% |
| Thorax | 18 | 13 | 6 | 33% | (1,6 -) 3,8 ¹ | (9% -) 21% |
| Abdomen/Becken | 21 | 15 | 16 | 76% | 10 | 48% |
| Becken | 23 | 18 | 14 | 61% | 9 | 39% |

* Bezug: Mittelwert der CT-Umfrage 1999 für die betreffende Untersuchungsregion (=100%)
¹ der Wert von 1,6 mGy ist nur für reine Hochkontrastfragestellungen möglich

wohl die Ergebnisse natürlich zunächst nur für ein spezielles Gerät erhoben wurden, sind sie über den CTDI_w leicht auf andere Geräte übertragbar.

Um zu überprüfen, ob die erzielten Ergebnisse auch in der Routine angewandt werden können und inwieweit die diagnostische Aussagekraft der Bilder durch die vorgeschlagene Dosisreduktion beeinflusst wird, wurden in einem zweiten Leseverfahren Bilder aus ausgewählten anatomischen Regionen einer Beurteilung durch die gleichen Leser unterzogen. Die kritischen Bereiche zur Beurteilung der Bilder sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Die Dosiswerte der Ausgangsbilder und die konsolidierten Ergebnisse der Leserbefragung sind in Tabelle 2 dargestellt.

Die ROC-Analyse führte zu folgendem Ergebnis bzw. Einschätzung:

- dass eine Dosisreduktion auf 62,5% des Ausgangsniveaus, d.h. auf 40 bis 50%, bezogen auf den Mittelwert der CT-Umfrage; möglich ist, ohne die diagnostische Sicherheit auch für die besonders kritische Niedrigkontrastaufklärung zu verlieren.
- dass im Hochkontrastbereich wie Thorax etc. sogar Dosisersparungen von deutlich mehr als 50% gegenüber dem Mittelwert der CT-Umfrage möglich sind.

FAZIT

Die 1. Quartile der Umfragen 1999 und 2002 ist als Maßstab für eine Optimierung der Scanprotokolle bei Normal-

/Standardpatienten sehr gut geeignet. Der bereits in der Veröffentlichung der Umfrage angegebene Dosiskorridor von 1. Quartile zur 3. Quartile kann als Richtwert auch für ältere Geräte herangezogen werden. Für diese (Baujahr 1992 und älter) ist die 3. Quartile als obere Grenze anzusetzen und als Optimierungsziel der Mittelwert der Umfrage. Für alle neueren Geräte muss als Ziel für dosisoptimierte Scanprotokolle unbedingt der Wert für die 1. Quartile der jeweiligen Untersuchungsregion angestrebt werden.

PROJEKT BETEILIGTE

An Konzipierung, Durchführung und Auswertung der Studiewaren beteiligt:

M. Galanski^{1,2}, H. Hecker², H. D. Nagel^{3,4}, S. Ringelhahn², G. Stamm²

¹ DRG, Ausschuss für Qualitätssicherung

² Med. Hochschule Hannover, Abteilung Diagnostische Radiologie I

³ ZVEI, Fachverband Elektromedizinische Technik

⁴ Philips Medizin Systeme, Hamburg, Wissenschaftliche Abt.

LITERATUR

- [1] Galanski M, Nagel HD, Stamm G. CT-Expositionspraxis in der Bundesrepublik Deutschland - Ergebnisse einer bundesweiten Umfrage im Jahre 1999. Fortschr. Röntgenstr. 2001; 173: R1 - R66

Spezialkurs Computertomographie nach neuer Fachkunde-Richtlinie

Dr. rer. nat. H.D. Nagel (Hamburg), Techn. Delegierter ZVEI Fachkreis Röntgen/CT

EINLEITUNG

Anwendungsbedingte Ursachen gelten als einer der Hauptgründe für die häufig beobachtete, überhöhte Strahlenexpositionen bei CT-Anwendungen. An einer gezielten Ausbildung der CT-Anwender auf diesem Gebiet, beispielsweise im Rahmen von Strahlenschutzkursen, hat es bislang jedoch gefehlt. Der Abbau dieses Defizits war daher einer der wesentlichen Aktionspunkte, die auf der Gründungssitzung der Konzierten Aktion Dosisreduktion CT im Mai 1998 verabredet wurden.

Identische Vorgaben wurden den Mitgliedsstaaten der EU etwa zeitgleich mit der Euratom-Patientenrichtlinie [1] auferlegt. Die Umsetzung erfolgte im Rahmen der Novelisierung der RöV in der neugefaßten Fachkunde-Richtlinie. Nach dem derzeit vorliegenden Entwurf [2] ist für Radiologen, die die Fachkunde im Gesamtgebiet der Radiologie neu erwerben wollen, ein Spezialkurs CT vorgeschrieben. Die Verabschiedung der Richtlinie wird voraussichtlich Anfang 2004 erfolgen.

Bereits Anfang 2002 wurde von der GSF Neuherberg im Auftrag der Bayerischen Landesärztekammer ein Pilotkurs unter Leitung von Dr. Kirchingen angeboten (Referenten: Hidajat, Nagel, Stamm, Wucherer). Die Bewertung der Veranstaltung durch die insgesamt 25 Teilnehmer fiel durchweg positiv aus. Ein erster Spezialkurs fand kürzlich im Rahmen des Spiral-CT-Workshops an der MHH Hannover unter Leitung von Prof. Galanski statt.

ZIELSETZUNG

Zweck des Kursangebots ist, die Anwender von CT-Geräten zu befähigen, ihre Diagnosen mit einer reduzierten, an die jeweilige Fragestellung angepassten Dosis zu stellen. Den Kursteilnehmern soll vermittelt werden,

- welche Dosisgrößen für CT geeignet sind und was sie bedeuten
- wie sich spezielle Geräteeigenschaften auf die Dosis auswirken
- wie sie die Höhe der Strahlenexposition selbst beeinflussen können
- wie sie Dosisabschätzungen vornehmen können
- wie die derzeitige Expositionspraxis aussieht
- wie sie in der Praxis dosisoptimiert arbeiten können
- wann sie die Dosis besonders stark reduzieren können
- was sie bei speziellen Anwendungen beachten sollten.

KURSPROGRAMM

Das Kursprogramm ist weitgehend an die im Fachbuch „Strahlenexposition in der CT“ [3] dargestellten Themen angelehnt. Ergänzt wird das Programm durch die Ergebnisse der beiden bundesweiten CT-Umfragen [4, 5] sowie neuere Publikationen zur kardialen Bildgebung mittels CT [6]. Die Themenliste umfasst:

- CT-geeignete Dosismeßgrößen
- Apparative Einflußfaktoren: Geräte- und Detektortechnologie
- Anwenderbedingte Einflußfaktoren: Scanparameter und deren Bedeutung für Bildqualität und Strahlenexposition
- Methoden zur Abschätzung der Patientenexposition
- Strahlenexposition des Patienten (Expositionspraxis)
- Maßnahmen zur Dosisreduktion bei Patienten
- Spezielle Techniken (Kardio-CT, CT-Fluoroskopie)

Die Vermittlung erfolgt mit animierten PowerPoint-Präsentationen. Hierdurch läßt sich dieses insbesondere für Anfänger komplexe Gebiet in nachvollziehbaren Einzelschritten darstellen. Die einzelnen Themen werden zunächst im Überblick vorgestellt und anhand von Beispielen verdeutlicht. Zur Vertiefung wird auf das Kursskript [3] und die weiterführende Literatur [4-6] verwiesen.

Die Kurse sind als insgesamt 5-stündige Ganztagsveranstaltung (6 Unterrichtseinheiten zu je 45 Minuten plus Pausen) angelegt und werden mit einer Prüfung abgeschlossen. Teilnahmevoraussetzung ist die erfolgreiche Teilnahme am Spezialkurs Röntgendiagnostik.

ZUSAMMENFASSUNG

Künftig ist für Radiologen zum Erwerb der Fachkunde die erfolgreiche Teilnahme an einem Spezialkurs CT erforderlich. Entsprechende Kursangebote wurden entwickelt und bereits erfolgreich eingesetzt. Die überaus positive Resonanz der Teilnehmer läßt erwarten, dass seitens der Anwenderschaft die mit der CT einhergehende Strahlenexposition verstärkt wahrgenommen und in fachgerechter Weise optimiert wird. CT-Anwendern, die bereits die Fachkunde besitzen, müssen die wichtigsten Zusammenhänge im Rahmen der Aktualisierungskurse vermittelt werden. Für das Assistenzpersonal, das seine Fachkunde mit der Berufsausbildung erwirbt, müssen entsprechende Lerninhalte noch entwickelt werden.

PROJEKT BETEILIGTE

An der Erstellung des Kursprogramms und der Durchführung des Pilotkurses waren beteiligt:

N. Hidajat¹, W. Kirchinger², H. D. Nagel^{3,4}, G. Stamm⁵, M. Wucherer⁶

¹ Virchow-Klinikum, Berlin, Strahlen- und Poliklinik; jetzt: Krankenhaus Peine, Zentrale Abt. f. Diagnostische u. Interventionelle Radiologie

² GSF-Forschungszentrum, Neuherberg

³ ZVEI, Fachverband Elektromedizinische Technik

⁴ Philips Medizin Systeme, Hamburg, Wissenschaftliche Abt.

⁵ Med. Hochschule Hannover, Abteilung Diagnostische Radiologie

⁶ Klinikum Nürnberg, Radiologisches Zentrum, Inst. f. Med. Physik

LITERATUR

- [1] Rat der Europäischen Union. Richtlinie 97/43/Euratom über den Gesundheitsschutz von Personen gegen die Gefahren ionisierender Strahlung bei der medizinischen Exposition. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften 1997; Nr. L 180: 25 - 25
- [2] Richtlinie 'Fachkunde und Kenntnisse im Strahlenschutz bei dem Betrieb von Röntgeneinrichtungen in der Heilkunde oder Zahnheilkunde'; Richtlinie nach der Röntgenverordnung, Entwurf Stand: 14.02.2003
- [3] Nagel HD, Galanski M, Hidajat N, Maier W, Schmidt T. Strahlenexposition in der Computertomographie – Grundlagen, Einflußfaktoren, Dosisermittlung, Optimierung, Zahlenwerte, Begriffe. Hamburg: CTB Publications, 2002 (Kontakt: ctb-publications@gmx.de).
- [4] Galanski M, Nagel HD, Stamm G. CT-Expositionspraxis in der Bundesrepublik Deutschland. Fortschr. Röntgenstr. 2001; 173: R1-R66.
- [5] Brix G, Nagel HD, Stamm G, Veit R, Lechel U, Griebel J, Galanski M. Radiation exposure in multi-slice versus single-slice spiral CT: results of a nationwide survey. Eur. Radiol 2003; 13: 1979 – 1991.
- [6] Ohnesorge BM (Hrsg.), Becker CR, Flohr TG, Reiser MF. Multi-slice CT in cardiac imaging. Berlin: Springer-Verlag, 2002.

Herstellerseitige Maßnahmen zur Dosisreduktion (Fa. Toshiba)

Dipl.-Phys. Dr. Ing. J. Blobel (Neuss), Leiter Geschäftsbereich CT/XR/MR, Toshiba Medical Systems

DOSISOPTIMIERTER REKONSTRUKTIONS-ALGORITHMUS

Mit der Einführung des ersten Mehrschicht-Computertomographen „Aquilion Multi“ im Jahr 1998 wurde erstmalig ein mathematisches Rekonstruktionsverfahren angewandt, welches eine Interpolation und Filterung in z-Richtung durchführt. Dieses Rekonstruktionsverfahren mit adaptiver z-Filterung, genannt „Multislice Conebeam Tomography (MUSCOT)“, wurde in der deutschsprachigen Zeitschrift „VISION“ von Saito [1] im Jahr 1999 und mit den mathematischen Grundlagen von Taguchi [2] im Jahr 1998 veröffentlicht. In diesen Artikeln ist eine neuartige, in z-Richtung wirkende Interpolation mit zusätzlicher Filterung beschrieben, mit der das Signal-Rausch-Verhältnis für jeden Bildpunkt verbessert und dadurch das Bildrauschen (SD) um 20% reduziert wird. Eine Strahlenexpositionseinsparung von ca. 35% ist nach Saito erzielbar. Ein Scan mit einer halbierten Schichtdicke führt mit dem MUSCOT-Rekonstruktionsverfahren deshalb nicht zwangsläufig zu einem proportional erhöhten Dosisbedarf. Durch die Kombination von vergrößertem Pitch und Reduzierung der mAs auf das gewohnte Bildrauschen wurde von Saito eine Dosisersparung von 40% mit dem Aquilion Multi im Vergleich zu den Einzelschicht-Systemen vorhergesagt [1].

Auf der Basis dieses Rekonstruktionsverfahrens wurden die Anwender-Protokolle bei den 4-Schicht-Computertomographen Asteion Multi und Aquilion Multi mit deren Einführung optimiert und auf das gewohnte Bildrauschen eingestellt. Es resultierte eine Reduktion der Patienten-Strahlenexposition von 35% gegenüber der von Galanski et al. im Jahr 1999 ermittelten Strahlenexposition für die Einzelschicht-Computertomographen [3], [4].

ERGEBNISSE DER MSCT-UMFRAGE 2002

Betrachtet man die uns von Galanski et al. übermittelten Benchmarking-Ergebnisse aus der Umfrage für die Mehrschicht-Systeme [6], so bestätigt sich eine Reduktion der Strahlenexposition in der Routineanwendung bei allen sich beteiligenden TOSHIBA-Anwendern auf 5,1 mSv im Vergleich zu 7,4 mSv für die Einzelschicht-Systeme, d.h. um 31%.

Von der Charité Campus Mitte wurden spezielle Anwender-Protokolle entwickelt, die im Benchmarking zu den Einzelschicht-CT eine mittlere Dosisersparung von 48%

erzielten. Diese Protokolle wurden zusammen mit einer Betrachtung des Einflusses der Scan-Schichtdicke und Feldgröße in einem Artikel der Zeitschrift „VISION“ veröffentlicht [5]. Im Ergebnis führten diese Protokolle durch die Verwendung der hochauflösenden Detektorfeinteilung mit 0,5 mm und 1,0 mm zu einer verbesserten geometrischen Auflösung. Ein höheres Bildrauschen kann akzeptiert werden, verbunden mit einer verbesserten Diagnosequalität und einer geringeren Strahlenexposition für den Patienten.

ZUSÄTZLICHE APPARATIVE MASSNAHMEN

In den Preset-Einstellungen der TOSHIBA-Mehrschicht-Computertomographen wird durch die Vorgabe eines neuartigen Rausch-Parameters in Kombination mit der Realtime-Röhrenstrom-Modulation „RealEC“ automatisch die geringstmögliche Strahlungs-dosis für jede Schichtposition unter Einhaltung eines normierten Rauschwertes erzielt. Zusätzlich werden in Abhängigkeit von der Scanfildgröße röhrenseitig drei verschiedene Konturfelder gewechselt, um die Strahlenexposition der Körperbereiche (z.B. Lungengewebe und Mama bei einem Wirbelsäulen-Scan) zu minimieren.

Mittels eines Realtime-Prozessors sorgt ein Echtzeitbild während des Scans dafür, dass per Knopfdruck der Scan bei Erreichung der Organgrenzen abgebrochen werden kann und somit eine Erhöhung der Strahlenexposition durch zu große Scanlängen [6] vermieden wird.

Ein spezieller „Quantum Denoising Filter“-Algorithmus ist gerade in der klinischen Erprobung und verspricht eine weiterführende Reduktion der Strahlenexposition um noch einmal 30- 35%.

LITERATUR

- [1] Saito Y. Multislice X-ray CT scanner. Medical Review 1999; 66: 1-8 (deutsche Übersetzung in VISION, 1/1999)
- [2] Taguchi K, Aradate H. Algorithm for image reconstruction in multi-slice helical CT. Med. Phys. 1998; 25: 550-561
- [3] Galanski M, Nagel HD, Stamm G. Expositions-dosis bei CT-Untersuchungen: Ergebnisse einer bundesweiten Umfrage. Fortschr. Röntgenstr. 2000; 172: M164 - 168, M197 - 198
- [4] Galanski M, Nagel HD, Stamm G. CT-Expositionspraxis in der Bundesrepublik Deutschland - Ergebnisse einer bundesweiten Umfrage im Jahre 1999. Fortschr. Röntgenstr. 2001; 173: R1 - R66

- [5] Blobel J, Rogalla P, Bohner G, Mews J. High-Resolution-Protokolloptimierung und gleichzeitige Dosisreduktion mit dem Mehrschicht-CT Aquilion Multi. VISION 2002; 6: 14-19
- [6] Brix G, Nagel HD, Stamm G, Veit R, Lechel U, Griebel J, Galanski M. Radiation exposure in multi-slice versus single-slice spiral CT: results of a nationwide survey. Eur. Radiol 2003; 13: 1979 – 1991

Herstellerseitige Maßnahmen zur Dosisreduktion (Fa. GE Medical Systems)

Dr. med. Dipl.-Ing. S. Türkay (Solingen), Sen. Clinical Scientist CT, GE Medical Systems

EINLEITUNG

Seit der Einführung des Multi-Slice Computer-Tomographen (MSCT) Ende 1998 haben sich viele CT-Untersuchungen als auch die Untersuchungsweise der Radiologen im diagnostischen Alltag geändert. Eine quasi unbegrenzte Generator- und Röhrenleistung sowie die sehr schnellen Rekonstruktions- und Visualisierungsrechner haben zu einer intensiven Diagnose-Aktivität mit den MSCT-Geräten geführt.

Obwohl moderne MSCT-Geräte einen höheren Detektor-Wirkungsgrad im Bezug auf die Dosis, als auch eine optimierte Strahlenkonditionierung gegenüber den CT-Geräten der 90er Jahre aufweisen, hat sich die applizierte Dosis pro Untersuchung deutlich erhöht. Diese Feststellung der genannten Fakten werden hauptsächlich durch die umfassenden Untersuchungsweisen der Radiologen als auch durch neu erschlossene Untersuchungsregionen und -Arten (wie Kardiologie, Angiologie, Pulmonologie, Kolonographie etc.) begründet. Der MSCT hat sich für viele Fragen als effektive „One Stop“-Diagnose in der modernen Radiologie etabliert.

Dosisreduktionsmaßnahmen sind inzwischen integraler Bestandteil der MSCT-Geräte. Physikalisch kann eine Dosisreduktion nur durch einen niedrigen Photonenfluss erreicht werden. Dies führt zu einem Anstieg des Bildrauschens, d.h. zu einer schlechteren Bildqualität. Nur intelligente Lösungen führen, ohne die Diagnosesicherheit zu kompromittieren, zu einer Dosisersparnis. General Electric hat physiognomische als auch physikalische Dosisreduktionsmaßnahmen in die modernen MSCT implementiert.

PHYSIOGNOMISCHE MASSNAHMEN

Bei den physiognomischen Maßnahmen kommen folgende Wirkprinzipien zum Einsatz:

- Röhrenstrom-Modulation in der X-Y Ebene
Mit der Stromstärke-Steuerung der Röntgenröhre in Abhängigkeit des jeweiligen Patientenquerschnittes in der zu untersuchenden Körperregion kann eine Dosisreduktion durchgeführt werden, ohne dass es zu einem Anstieg des Bildrauschens kommt. Bei diesem Verfahren wird der Photonenfluss in der Anterior- Posterior-Richtung reduziert.

- Röhrenstrom-Modulation in der z-Richtung
Mit der Stromstärke-Steuerung der Röntgenröhre in Abhängigkeit des Patientenlängsprofils kann ebenfalls eine Dosisreduktion erreicht werden. Auch hier wird das Bildrauschen nicht erhöht. Bei diesem Verfahren wird der Photonenfluss in Abhängigkeit der Absorption des Patienten hoch- oder runtergeregelt. So kann z.B. im Halsbereich mit niedrigerem Röhrenstrom untersucht werden als im Thoraxbereich; adaptive Regeln gelten auch für die Abdomen- oder Becken-Region.
- Röhrenstrom-Modulation mit dem EKG-Signal
Mit der Stromstärke-Steuerung der Röntgenröhre in Abhängigkeit zum elektrokardiographischen Signal bei Herzuntersuchungen kann eine Dosisreduktion für die Systolenzeit durchgeführt werden. Während der Diastolezeit, welche für die Bildgebung wesentlich ist, wird wiederum mit dem notwendigen Photonenfluss gearbeitet.
- Optimierte pädiatrische Untersuchungsprogramme
Wesentliche Dosisersparnis kann bei den Kindern erzielt werden, wenn die Untersuchungsprotokolle von vornherein auf das jeweilige Körpergewicht und die Körperlänge des Kindes optimiert sind. So braucht ein 15 kg schweres Kind weniger Photonenfluss als ein 30 kg schweres Kind. Hier wird selbstverständlich das qualitätsbestimmende Bildrauschen konstant gehalten. Bei den MSCT-Geräten der Firma General Electric wird dieser Aspekt durch eine große Untersuchungsprotokoll-Datenbank, welche für verschiedene Kindergrößen optimiert ist, realisiert.

PHYSIKALISCHE MASSNAHMEN

Bei den physikalischen Maßnahmen kommen folgende Wirkprinzipien zum Einsatz:

- Asymmetrische Kollimator-Steuerung
Die General Electric MSCT-Geräte sind mit einem asymmetrisch arbeitenden Kollimatorsystem ausgerüstet. Diese voneinander unabhängig arbeitenden Röhrenstrahl-Kollimatoren korrigieren mit einer Geschwindigkeit von 100 msec kontinuierlich die Röntgenstrahlbreite auf ein Minimum. Dieses Verfahren kompensiert die unvermeidliche Drift des Strahlenfokus und gewährleistet eine optimale Ausleuchtung des Detektorenfeldes. Die Strahlenbreite wird dynamisch auf ein Minimum eingestellt.

- Röntgenstrahl-Konditionierung
Die durch verschiedene physikalische Filter erzielte spektrale Konditionierung des Röntgenstrahles, sowie durch Formfilter erreichte Strahlenverteilung führen ebenfalls zur einer wesentlichen Dosisreduktion.
- Rekonstruktionsalgorithmen und Rauschunterdrückung
Neben der primär adäquaten Rohdatenakquisition erlauben optimierte Bildrekonstruktionsalgorithmen eine deutliche Dosisreduktion. Zum Schluss können softwareseitige Rauschunterdrückungsalgorithmen zusätzlich zu einer Reduktion der applizierten Dosis beitragen. Durch das reduzierte Rauschniveau reicht ein geringerer Photonenfluss zur Bilderzeugung aus.

Der kombinierte Einsatz aller oben genannten Maßnahmen führt schließlich zu der gewünschten Dosisreduktion bei einer MSCT-Untersuchung. Dabei wird kein erhöhtes Bildrauschen im Kauf genommen und somit die diagnostische Sicherheit gewährleistet.

Die General Electric Multi-Slice Computer-Tomographen bieten alle oben genannten Dosisreduktionsmaßnahmen. General Electric Medical Systems forscht kontinuierlich mit einem großen Ingenieurteam für weitere Dosisreduktionsmethoden im Interesse des Patientenschutzes und der Diagnosesicherheit.

Herstellerseitige Maßnahmen zur Dosisreduktion (Fa. Philips)

Dr. rer. nat. H.D. Nagel (Hamburg), Wiss. Mitarb. Röntgen/CT, Philips Medizin Systeme

EINLEITUNG

In der Bestandsaufnahme des ZVEI (ZVEI-Memorandum') [1] wurden Ende 1997 eine Vielzahl unterschiedlicher Gründe ermittelt, die zu dem überproportional hohen Beitrag der CT an der medizinisch bedingten Strahlenexposition beitragen. Hierunter befinden sich auch Ursachen, an denen die Herstellerfirmen zweifelsohne mitbeteiligt sind. Philips Medizin Systeme hat die damit verbundene Herausforderung angenommen und in der Folgezeit zahlreiche Maßnahmen ergriffen, um die mit dem Betrieb seiner Geräte verbundene Strahlenexposition zu verringern. Hierzu zählen Dosisautomatiken und andere apparative Lösungen, optimierte Scanprotokolle sowie Schulung und Beratung seiner Anwender.

DOSISAUTOMATIKEN

Bereits 1999 wurden für die beiden Einzelschicht-Geräte CT Aura und CT Secura eine Art „Belichtungsautomatik“ angeboten (DoseRight). DoseRight ermittelt aus einem frontal aufgenommenen Übersichtsradiogramm die Absorptionsverhältnisse in der Untersuchungsregion und bestimmt daraus eine effektive Patientendicke (Abb. 1). Durch Vergleich mit Normalwerten, die während der klinischen Erprobung bestimmt wurden, erarbeitet DoseRight

einen Vorschlag für das mAs-Produkt und berücksichtigt dabei auch den Einfluß einer geänderten Aufnahmespannung.

Die aktuelle Gerätegeneration (Mx8000 IDT-Familie) bietet neben der Belichtungsautomatik-Funktion (DoseRight ACS) zusätzlich dynamische Dosismodulation (DoseRight DOM) und EKG-gegate, zeitliche Dosismodulation (DoseRight Cardiac). Die Funktionen sind sowohl einzeln als auch kombiniert verwendbar und sind Bestandteil des Lieferumfangs ohne Aufpreis.

WEITERE APPARATIVE LÖSUNGEN

Hierzu zählen eine Reihe von Maßnahmen, die entweder direkt zur Dosisreduktion entwickelt wurden oder helfen, das Verhältnis Dosis-Bildqualität zu optimieren:

- IntelliBeam-Formfilter: optimiertes Formfilter zur Verringerung der peripheren Dosis
- Optimierte Detektor-Arrays mit minimaler Anzahl der Septen
- Minimierte Detektorüberstrahlung („Overbeaming“), z.B. nur 40% bei Mx8000 Quad @ 4-1 mm
- TACH: Rauscharmes Daten-Akquisitions-System

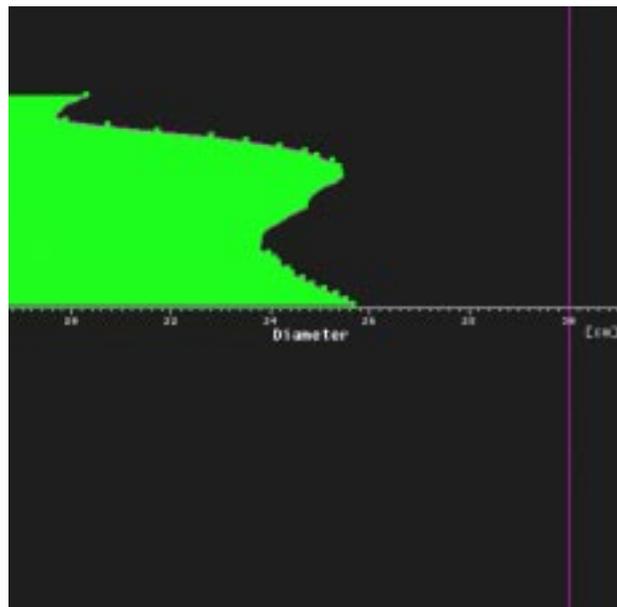
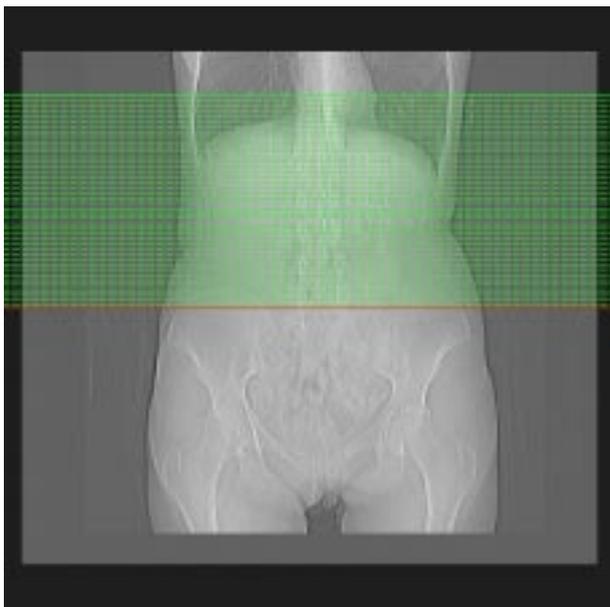


Abb. 1

CT-„Belichtungsautomatik“: Das frontale Übersichtsradiogramm (links) und die darin enthaltene Information über die Schwächungsverhältnisse im Scanbereich wird zur Berechnung des effektiven Patientendurchmessers genutzt (rechts). Aus dieser Information lassen sich mAs-Einstellungen ableiten, die an die individuelle Anatomie des Patienten angepasst sind.

- 3D-adaptive Filterung zur Rauschreduktion bei stark exzentrischen Körperquerschnitten;
- SlabViewer: Interaktive Veränderbarkeit der Schichtdicke bei Monitorbefundung in Echtzeit;
- Gegate CT-Durchleuchtung (,Strahlung aus', wenn Röhre oberhalb des Patienten);
- Dosisanzeige für $CTDI_{vol}$ und zusätzlich DLP.

DOSISOPTIMIERTE SCANPROTOKOLLE

Herstellerseitige Scanprotokolle waren lange Zeit vorwiegend bildqualitätsorientiert und weniger dosisoptimiert. Erstmals kamen 1999 bei Philips mit den Werksprotokollen für den CT-Aura Anwendungsempfehlungen zum Einsatz, die dem Anspruch an Dosisoptimierung mehr als gerecht werden. Benchmarking dieser Protokolle im Vergleich zu den Mittelwerten der ESCT-Umfrage '99 für insgesamt 14 Standardanwendungen (Abb. 2) weist ein mittleres Dosisniveau von knapp 60% auf Basis des $CTDI_{vol}$ aus.

Die Werksprotokolle neuerer MSCT-Geräte aller Hersteller sind mittlerweile weitgehend frei von übermäßig hohen Dosiswerten. Sie liegen im Durchschnitt zwar in etwa beim Mittelwert der ESCT-Umfrage, weisen aber – gemessen an den technischen Gegebenheiten der Geräte – immer noch einen nennenswerten Spielraum (bis zu Faktor 2) zur Dosisreduzierung auf. Die Optimierungsvorschläge, die Philips seinen deutschen Anwendern anbietet, verringern das mittlere Dosisniveau auf rund 50% vom Umfragemittelwert (Basis: $CTDI_{vol}$).

Für pädiatrische CT-Anwendungen wurden besondere, gewichts- oder altersadaptierter Pädiatrie-Scanprotokolle erarbeitet [2]. Im gleichen Zuge wurde ein spezielles Pädiatrie-Dosismeß- und Kalibrierphantom mit 10 cm Durchmesser entwickelt. Korrekturfaktoren wurden ermittelt, mit denen die Umrechnung der geräteseitigen Dosisanzeige (auf Basis von Body-CTDI-Werten) auf die geringeren Körperdurchmesser von Neugeborenen und Kindern vorgenommen werden kann.

ANWENDERSCHULUNG

Philips ist an der ,Bildungsoffensive' der Industrie maßgeblich beteiligt und hat die im Rahmen der Konzertierten Aktion erstellten Informationsschriften (Fachbuch ,Strahlenexposition in der CT', Report zur CT-Umfrage 1999) an alle seiner Anwender weitergereicht. Darüber hinaus wird auf Wunsch auch die Dosis-Evaluierungs-Software CT-Expo zur Verfügung gestellt. Das eigene Applikations- und Servicepersonal ist ebenfalls mit diesen Materialien ausgestattet. Spezielle MSCT-Schulungskurse werden für das Assistenzpersonal und für Radiologen (in Vorbereitung) angeboten. Im Rahmen dieser Kurse werden auch Lehrinhalte zum Thema CT & Dosis vermittelt.

Ebenfalls angeboten wird individuelle Beratung zur Protokolloptimierung (auch für Betreiber älterer Geräte). Die Methode des Protokoll-Benchmarkings wurde zunächst bei der Beratung unserer Anwender entwickelt und später bei der Feedbackaktion im Rahmen der beiden CT Umfragen und im Benchmarking-Modul von CT-Expo eingesetzt. Nach Veröffentlichung der diagnostischen Referenzwerte und anlaufender Überprüfung durch die Ärztlichen Stellen ist künftig mit einer erhöhten Nachfrage seitens der Anwender zu rechnen. Unser Applikations- und Servicepersonal ist hierauf entsprechend vorbereitet.

LITERATUR

[1] Memorandum des ZVEI zur Situation der Strahlenexposition in der CT, Januar 1998
 [2] Morgan H. Image quality improvement and dose reduction in CT pediatric imaging. Medica Mundi 2003; 46/3: 16-21

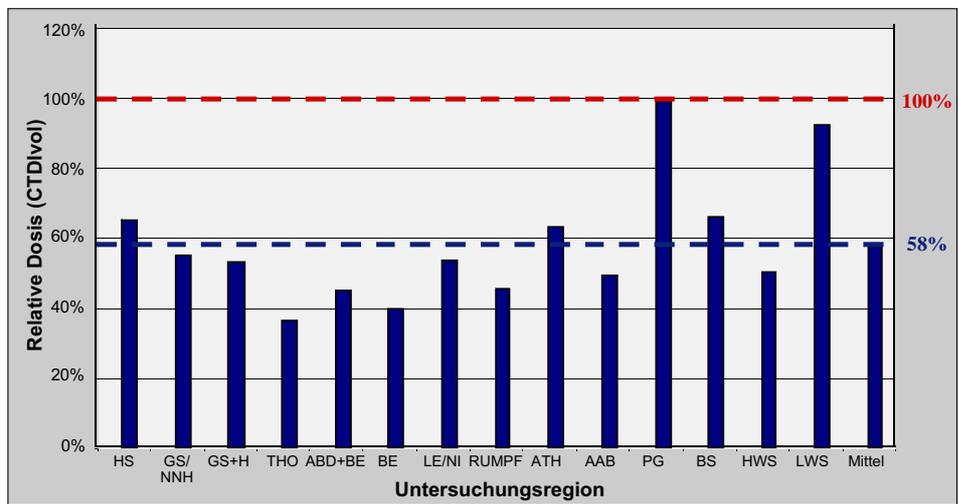


Abb. 2
 Benchmark-Ergebnis der Werksprotokolle des CT Aura. Das durchschnittliche Dosisniveau auf Basis des $CTDI_{vol}$ liegt bei knapp 60% im Vergleich zum Durchschnittswert der bundesweiten CT-Umfrage von 1999.

Ermittlung der Dosiseffizienz von CT-Einrichtungen

Dr. rer. nat. M. Wucherer (Nürnberg), Ltr. Institut für Med. Physik, Klinikum Nürnberg

EINLEITUNG

Basierend auf dem ALARA-Prinzip ist in der radiologischen Diagnostik gefordert, die Strahlenexposition des Patienten bei vorgegebener Diagnosequalität so gering wie vernünftigerweise erreichbar zu halten. Häufig stellt sich die Frage, ob mit der Nutzung neuester CT-Geräte die Dosis beim Patienten gesenkt oder ob der Radiologe zu dosisintensiveren Untersuchungen ge- bzw. verführt wird. Die Dosiseffizienz eines CT-Gerätes gibt Aufschluss über die Leistungsfähigkeit neuer CT-Technologie. Es sei jedoch bemerkt, dass die Dosiseffizienz nicht das einzige Kriterium bei der Bewertung von CT-Geräten ist.

Die für die Beantwortung einer medizinischen Fragestellung erforderliche Bildqualität ist bis heute nicht einheitlich festgelegt und weist deshalb eine große untersucherabhängige Variabilität auf. Auch aus diesem Grund wird heute im Strahlenschutz bei der CT die Optimierung der Untersuchungsverfahren mittels diagnostischer Referenzwerte (Benchmarking) vorangetrieben. Im Rahmen der Studien der konzertierten Aktion, die auch zur Ermittlung der Referenzwerte in Deutschland genutzt wurden, zeigte sich aus statistischen Auswertungen, dass offensichtlich CT-Geräte unterschiedlicher Detektortechnologien unterschiedlich dosisineffizient arbeiten.

Die Bewertung der Dosisineffizienz von CT-Geräten bedarf objektiver Kriterien und Messverfahren. Dabei muss beachtet werden, dass die Ergebnisse solcher Studien sehr stark von Randbedingungen beeinflusst und gegebenenfalls verfälscht werden können. Veröffentlichungen über Dosisineffizienz von CT-Geräten unterschiedlicher Hersteller [1] [2] werden aus diesen Gründen häufig sehr kritisch bewertet.

BILDQUALITÄT

Die Bewertung der Bildqualität in der klinischen Routine ist in der Regel sehr subjektiv. Im Gegensatz zu physikalischen Testbildern sind Patientenbilder zwar für Radiologen häufig von größerer Wertigkeit, jedoch ist eine objektives Ranking von CT-Geräten dadurch nicht möglich. Die wesentlichen Kriterien für die Bewertung der physikalischen Bildqualität sind

- Ortsauflösung (LP/mm, MTF, Schichtempfindlichkeitsprofil)
- Kontrastauflösung (Niedrigkontrast)

- Rauschen
- Artefakte
- zeitliche Auflösung

Diese Kriterien können durch Einstellparameter, wie z.B. Rekonstruktionsverfahren, Bildnachverarbeitung (Filterung), Matrixgröße, Fokusgröße z.T. stark beeinflusst werden.

Selbst die Wahl der Phantome (Material, Größe) bei der Evaluierung der Dosisineffizienz kann Einfluss auf die Ergebnisse bei verschiedenen Gerätetypen haben. So ist das Rauschen und die Dosis in einem Transversalschnittbild sehr stark ortsabhängig. Das Ausmaß der Ortsabhängigkeit wird wesentlich vom Durchmesser des Phantoms und der damit verbundenen Wirkung des jeweiligen Formfilters eines CT-Gerätes beeinflusst.

DOSIS

Die vergleichende Bewertung der Strahlenexposition von Patienten in der Röntgendiagnostik erfolgt heute über die effektive Dosis. Ausgangswert für die Berechnung mittels Monte-Carlo-Algorithmen ist die Luftkerma, gemessen auf der Rotationsachse. Um den Einfluss von Filterung (Strahlungsqualität, Formfilter) auf die Strahlenexposition des Patienten berücksichtigen zu können, ist für Gerätevergleiche der gewichtete Computer-Tomographie-Dosis-Index ($CTDI_w$) besser geeignet. Dieser $CTDI_w$ ist jedoch stark vom Phantomm Durchmesser abhängig (Body- bzw. Head-Phantom). Für die Bewertung des Einflusses von Röhrenstrommodulation oder Belichtungsautomatik bei modernen CT-Geräten auf Dosis und Bildqualität sollten nicht-rotationssymmetrische Phantome verwendet werden. Völlig ungeeignet für einen Vergleich der Strahlenexposition an unterschiedlicher CT-Geräte sind die Größen Röhrenstrom-Zeit Produkt (mAs) und normierter $CTDI_w$ (mGy/mAs).

ERMITTLUNG DER DOSISEFFIZIENZ

Die Ermittlung der Dosisineffizienz von CT-Einrichtungen im Rahmen der konzertierten Aktion „Dosisreduktion CT“ erfordert die Einbindung aller beteiligten Gerätehersteller bei der Planung der Mess- bzw. Auswerteverfahren. Repräsentativ für die Vielzahl von Untersuchungsprotokollen soll sich die Erhebung der Daten auf je ein Standardprotokoll des Abdomen und des Schädels beschränken. Als repräsentative Dosisgröße wird der $CTDI_w$ bzw.

CTDI_{vol} gemessen. Das Bildqualitätskriterium ist die Niedrigkontrast-Detail-Erkennbarkeit in transversalen und longitudinal rekonstruierten Schichten. Zusätzlich wird in beiden Ebenen die Ortsauflösung bewertet.

Als repräsentative Untersuchungsprotokolle werden bei jedem Hersteller je ein Protokoll für eine Abdomen- und eine Schädeluntersuchung verwendet. Alle Einstellparameter wie Röhrenspannung, Schichtdicke, eingestellter CTDI_w, Rechenfilter usw. sollten möglichst ähnlich sein. Abweichungen der Parameter werden durch adäquate Korrekturverfahren kompensiert.

Zur Ermittlung von Dosis und Bildqualität müssen Phantome gleicher Geometrie und aus gleichem Material (PMMA) verwendet werden. Als zylindrisch geformte Phantome können die Standard-Phantome mit 16 und 32 cm Durchmesser genutzt werden. Für moderne CT-Geräte mit Röhrenstrommodulation bzw. Belichtungsautomatik sollten nicht zylindrisch geformte Phantome hergestellt werden. Dosisüberstrahlung und der Anteil für Vor- und Nachlauf bei Spiral-CT wird in die Dosisbewertung mit einbezogen.

Die Bildqualität wird mittels Ortsauflösungstests, Pixelrauschen und Niedrigkontrast-Detail-Erkennbarkeit bewertet. Zu diesem Zweck werden transversale und sagittale Schnittbilder ausgewertet. Die Niedrigkontrast-Detail-Erkennbarkeit ist mit dem stark dosisabhängigen Pixelrauschen korreliert. Aus diesem Grund soll die Niedrigkontrast-Detail-Erkennbarkeit über zwei unabhän-

gige Verfahren ermittelt werden. Im ersten Verfahren wird über eine automatisierte statistische Auswertemethode [3] objektiv die Niedrigkontrast-Detail-Erkennbarkeit ermittelt. Im zweiten Verfahren bewerten erfahrene unabhängige Radiologen Niedrigkontrast-Detail-Aufnahmen (Catphan). Die Niedrigkontrast-Detail-Aufnahmen, die auf Grund der statistischen Effekte des Rauschens jeweils 3-mal pro Einstellparameter erstellt werden müssen, werden nach Anonymisierung des Gerätetyps, identischer Fenstereinstellung der HU-Werte in zufallsgenerierter Reihenfolge von Radiologen aus allen beteiligten Institutionen ausgewertet. Dabei wird in besonderer Weise auf gleichbleibende und adäquate Betrachtungsbedingungen an einem qualitativ hochwertigen Monitor Wert gelegt.

Das Projekt sollte innerhalb eines halben Jahres nach Verfügbarkeit der notwendigen Messphantome abgeschlossen sein.

LITERATUR

- [1] ImPACT - Imaging Performance Assessment of CT Scanners. Four slice CT scanner comparison report. Version 4.0, June 2001
- [2] Muramatsu Y. Dose efficiency index (DEI): A conceptually new image quality index for comparison of X-ray CT systems. Manuskript 2002
- [3] Chao EH, T. L. Toth TL, Bromberg NB et al. A statistical method of defining low contrast detectability. Poster presented at RSNA 2000

Optimierung der CT-Anwendung in der Kinderheilkunde

Prof. Dr. med. K. Schneider (München), Leiter Abt. Diagn. Radiol. Dr. v. Haunersches Kinderspital

INDIKATIONEN

Obwohl die CT im Kindesalter viel seltener als beim Erwachsenen durchgeführt wird, hat die Bedeutung dieses Verfahrens bei pädiatrischen Patienten in den letzten Jahren zugenommen. In der Notfalldiagnostik, vor allem beim schweren Schädel-Hirnverletzungen und beim stumpfen Thorax- und Bauchtrauma, ist die CT wie beim Erwachsenen die Untersuchungsmethode der Wahl. Ferner wird die Computertomographie bei Erkrankungen der Trachea, der Atemwege, der großen Gefäße und der Lungen bei vielen Krankheitsbildern benötigt und ersetzt zunehmend invasive radiologische Verfahren wie die Bronchographie und die Angiokardiographie. Eine sehr spezielle Anwendung der CT in der Pädiatrie ist die präoperative Diagnostik schwerer kraniofazialer Schädel- und Gesichtsfehlbildungen sowie komplexer Frakturen.

PATIENTENVORBEREITUNG

Die Optimierung der computertomographischen Diagnostik umfasst ein Vielzahl notwendiger Schritte. Abgesehen vom schweren Notfall, wo der Patient ohnehin beatmet werden muss, ist rechtzeitig zu klären, ob die Untersuchung ohne Vorbereitung, mit Sedierung oder in Narkose stattfinden muss. Auch mit neuester Gerätetechnologie (16-Schicht-CT) ist eine optimale Patientenruhigstellung essentiell für die Bildqualität. Ganz wesentlich ist in Abhängigkeit vom Alter, Injektionsort etc. das richtige Timing des Kontrastmittelbolus. Mehrphasen-CTs, vor allem des Abdomens, sind im Kindesalter, wenn immer möglich, zu vermeiden. Die meisten Fragestellungen diesbezüglich können mit der Farb-Duplexsonographie und der Magnetresonanztomographie beantwortet werden.

OPTIMIERUNG DER SCANTECHNIK

Der wichtigste Optimierungsschritt in der pädiatrischen CT-Diagnostik ist die dosisadaptierte Scantechnik, welche die geringeren Durchmesser pädiatrischer Patienten berücksichtigt. So kann durch Berücksichtigung des Körpergewichts bzw. Körperdurchmessers das Röhrenstrom-Zeitprodukt (mAs) je nach Alter und Gerätetyp bei Ein- wie Mehrschichtgeräten um 60 bis 90 % gegenüber Einstellungen beim Erwachsenen reduziert werden. Wegen der linearen Beziehung von mAs und Dosis kann damit die Patientendosis erheblich verringert werden. Ferner muss je nach Gerät der optimale Tischvorschub eingestellt werden. Ein weitere Option in der Dosisminimierung ist die Reduzierung der Aufnahmespannung bei Thoraxuntersu-

chungen von Säuglingen mit Lungenerkrankungen auf 100 bzw. 80 kV möglich. Die 80 kV-Technik ist bei Kindern auch bei CT-Angiographien wegen des intravenösen Kontrastmittel-Enhancements zur reinen Gefäßabbildung absolut sinnvoll. Ferner sollte man die Möglichkeit der Fusion dünner Schichten bei pädiatrischen Patienten verstärkt nutzen. Die automatische Dosisanpassung in Abhängigkeit von der Patientendicke stellt das Optimum dar. Aber auch mit Einstellungen per Hand oder mit halbautomatischen Dosisberechnungsprogrammen kann ein sehr guter Kompromiss zwischen Strahlenexposition und noch ausreichender Bildinformation erzielt werden.

LEITLINIEN UND REFERENZWERTE

Aufgrund der Unsicherheit vieler Kollegen in der Untersuchung pädiatrischer Patienten und der Gefahr einer erhöhten Strahlenexposition ist es von großer Bedeutung, dass für die häufigsten CT-Untersuchungen im Kindesalter Leitlinien für die Scantechnik und die notwendige Bildqualität erarbeitet werden. Daraus lassen sich langfristig auch Dosisreferenzwerte für verschiedene Altersstufen erarbeiten.

ZUSAMMENFASSUNG

Die CT-Diagnostik pädiatrischer Patienten sollte immer unter optimalsten Untersuchungsbedingungen, d.h. aber auch immer individualisiert, durchgeführt werden. Die Multisclice-Technik erlaubt sowohl die Strahlenexposition abzusenken als auch die Bildqualität zu verbessern und mit verbesserter MPR-, bzw. 3-D-Technik zusätzliche wichtige Informationen zu erlangen. Erst durch genaue Kenntnis der pädiatrischen Krankheitsbilder und die genaue klinische Fragestellung kann das Potential moderner CT-Scanner voll ausgeschöpft werden.

Überarbeitung der Leitlinie Bundesärztekammer für CT

Prof. Dr. med. M. Prokop (Utrecht), University Medical Center Utrecht, Department of Radiology

Prof. Dr. med. H.-St. Stender (Isernhagen)

HINTERGRUND

Folgende Entwicklungen machen es nötig, die Untersuchungstechnik in der Computertomographie hinsichtlich der Strahlenexposition der Bevölkerung weiter zu optimieren:

1. Das Indikationsspektrum der CT wird stetig weiter ausgebaut.
2. Die CT liegt derzeit im oberen Bereich der Strahlenexposition durch diagnostische medizinische Verfahren (Effektivdosis meist $\gg 2$ mSv = natürliche Exposition).
3. Sehr unterschiedliche Scannermodelle sind auf dem Markt, sowohl hinsichtlich Leistungsfähigkeit (= Pitch x Detektorzeilen / Rotationszeit) als auch hinsichtlich Strahlenexposition.
4. Die Untersuchungstechnik hat wesentlichen Einfluß auf die Qualität der diagnostischen Aussage und die Strahlenexposition der Patienten.

UNMITTELBAR ERREICHT / GEPLANT

- Umstellung der DRW von Achsendosis frei Luft auf $CTDI_w$ und DLP, in Zukunft auf $CTDI_{vol}$ und DLP, jeweils in Abhängigkeit von der Organregion
- Optimierungsstrategien für Scanprotokolle 1.) in Abhängigkeit von Verfügbarkeit von Spiral-CT und Detektortyp, und 2.) in Abhängigkeit von der Organregion.

ZUKÜNFTIGE ZIELE

1. Schritt: Unsinnige Auswüchse abbauen, bisherige Leitlinien überarbeiten.
2. Schritt: Individuelle Anpassung der Strahlendosis.
3. Schritt: Anpassung der erforderlichen Bildqualität an die Indikationsstellung.

SCHRITT 1

Überarbeitung der Leitlinien, insbesondere Einbeziehung der organbezogenen Dosisreferenzwerte auf Basis von $CTDI_w$ und DLP, in Zukunft $CTDI_{vol}$ und DLP. Zusätzlich folgende Maßnahmen:

Reduktion der Untersuchungsserien, z.B.:

- Keine Nativ- + KM-Untersuchung des Thorax
- Nativ-Untersuchung der Leber nur in begründeten Fällen (z.B. nicht bei Follow-up von kolorektalem Karzinom)
- Keine Nativ-Untersuchungen von Thorax / Abdomen bei Polytrauma

- Keine 4-Phasen-CT der Leber (3 meist mehr als genug)
- Keine 4-Phasen-CT der Nieren (Anzahl der Phasen im Schnitt auf 2 zu reduzieren)

Vermeidung unnötig großer Scanbereiche, z.B.:

- Einschluss der Nebennieren oder Leber als Routinemaßnahme bei Thorax-CT
- V.a. Pulmonalembolie: Gesamter Thorax bei Einzeilen-CT (Diaphragma bis Aortenbogen reicht)

Reduktion unsinniger Untersuchungen, z.B.:

- Alleinige Nativuntersuchung des Abdomens (oder Untersuchung in einer späten Phase, > 2 min nach KM) bei Tumorfragestellungen
- Multislice-HRCT des gesamten Thorax (außer im Rahmen kontrollierter Studien)
- CT-Venographie von Abdomen und Beinen bei V.a. Pulmonalembolie (kaum Zugewinn, allein sinnvoll für spezielle Indikationen / Studien)

Vermeidung dosisintensiver Scantechniken, z.B.:

- Ultradünnschicht-CT (≤ 1 mm für Einzeilen-CT, $\leq 0,5$ mm für 4-Zeilen-CT) außerhalb des Innenohrs oder des peripheren Skelets
- Mehrphasen-CT der Leber zur Charakterisierung eines Leberherdes (besser MR)

SCHRITT 2:

Eine *individuelle Anpassung der Strahlendosis* ist sowohl manuell als auch automatisch möglich. Automatische Verfahren sind jedoch vorzuziehen, da sie es erlauben, die mAs-Werte nicht nur einmal pro Scan anzupassen, sondern sie während des Scans an die individuelle Patientenkonstitution (Absorptionsunterschiede in z-Richtung und aus verschiedenen Projektionsrichtungen) anzupassen. Sämtliche Hersteller haben derartige Verfahren bereits verfügbar oder stehen kurz vor der Einführung (GE: SmartmA; Philips: DoseRight; Siemens: C.A.R.E. Dose, Toshiba: Real EC). Diese Verfahren erlauben es, eine konstante Bildqualität unabhängig von der Organregion oder Patientenkonstitution zu erreichen. Die Festlegung der erwünschten Bildqualität ist jedoch zunächst noch willkürlich (Festlegung in Schritt 3).

Drei Gruppen von CT-Scannern müssen unterschieden werden:

1. Altgeräte, die keine automatische individuelle Dosisadaptation erlauben und nicht nachgerüstet werden können.
2. Altgeräte, bei denen eine automatische individuelle Dosisadaptation nachgerüstet werden kann.
3. Neugeräte, bei denen eine automatische individuelle Dosisadaptation prinzipiell verfügbar ist.

Für Gruppe 1 müssen einfache Belichtungstabellen entwickelt werden, die eine Anpassung des Röhrenstroms an die individuelle Patientenkonstitution erlauben. Hierzu ist es nötig, ein Verfahren zu entwickeln, was es erlaubt, aus den Abnahme- und Konstanzprüfungsdaten derartige Werte abzuleiten.

Für Gruppe 2 müssen Anreize geschaffen werden, um eine Nachrüstung möglichst flächendeckend zu erreichen. Gleichzeitig sollten die Gerätehersteller aufgefordert werden, ihre automatischen Dosisadaptationsprogramme auch für ältere Scanner verfügbar (nachrüstbar) zu machen.

Für Gruppe 3 müssen die Anreize so stark sein, dass Neugeräte überwiegend oder idealerweise grundsätzlich mit derartigen Programmen ausgestattet sind (z.B. bessere Abrechnungsmöglichkeiten bei Einsatz der Dosisadaptation). Eine genaue Definition ist hierfür jedoch erforderlich, da verschieden wirksame Verfahren bereits auf dem Markt sind. Allein eine Kombination aus x-y-Modulation (ap / lat), z-Modulation (Anpassung an Organregion) und Adpatation an Patientenkonstitution (Gesamtab-sorption) sollte förderungswürdig sein.

SCHRITT 3

Dieser Schritt der *indikationsbezogenen Anpassung der Bildqualität* erfordert eine deutliche Verbesserung der Datenlage hinsichtlich der für eine bestimmte klinische Indikation erforderlichen Bildqualität. Hierfür sind (Multi-center-)Studien erforderlich, bei denen eine Dosisreduktion simuliert wird und die minimale Dosis bestimmt wird, die bei einer bestimmten Fragestellung eingesetzt werden sollte. Hierbei müssen auch Berechnungen einbezogen werden, die erfassen, wie häufig mit diesem Vorgehen Untersuchungen wiederholt werden müssen und wie hoch das Risiko (und die therapeutische Konsequenz) für das Übersehen von relevanten Befunden wird. Letzteres sollte naturgemäß auf ein vertretbares Minimum reduziert werden.

In diesem Rahmen muss auch untersucht werden, ob nicht bei bestimmten Fragestellungen auch eine Dosiserhöhung sinnvoll ist (zusammen mit einer Verbesserung der Orts-

und Kontrastauflösung). Solche Indikationen (z.B. Tumor-staging) sollten eindeutig definiert werden. Insgesamt sollte die Effektivdosis für die Bevölkerung nicht steigen, jedoch das Strahlenrisiko abgesenkt werden können, da Hochdosisuntersuchungen nur für Hochrisikopatienten reserviert bleiben sollten.

ERWARTETE DOSISEINSPARUNG

1. Schritt: > 20% (erwarteter minimaler Zeitrahmen: 1-2 Jahre)
2. Schritt: > 30% (erwarteter minimaler Zeitrahmen: 3 Jahre)
3. Schritt: Dosisneutral (effektive Dosis), Reduktion des Bevölkerungsrisikos um >30% (erwarteter minimaler Zeitrahmen: 5 Jahre)

Insgesamt: Reduktion des Gesamtrisikos der Bevölkerung (ohne Berücksichtigung eventueller Steigerung der Untersuchungszahlen): > 60%.

Empfehlungen der Strahlenschutzkommission

PD Dr. med. Dr. rer. nat. Dipl.-Phys. R. Loose (Nürnberg)

Mitglied der Strahlenschutzkommission SSK des BMU, Mitglied des Medizinausschusses A2 der SSK

Die Computertomographie hat in der Medizin und insbesondere im Bereich der Akutmedizin einen über die letzten Jahre unverändert hohen Stellenwert. Dies gilt insbesondere bei notfallmedizinischer Abklärungen z.B. Blutungen, akuten Notfallsituationen des Gehirns sowie bei schweren Traumata. Die Computertomographie stellt trotz steigender Frequenz in der Gesamtzahl der Röntgenuntersuchungen mit ca. 6-7 % (abhängig von der Erhebung) einen geringen Anteil der Röntgenuntersuchungen dar. Dennoch ist ihr kollektiver Dosisbeitrag an der medizinischen Exposition mit ca. 40 % und steigender Tendenz (Erhebung des Bundesamtes für Strahlenschutz [1]) sehr hoch. Diese Abschätzung gilt für die medizinische Exposition der Gesamtbevölkerung. In Kliniken der Maximalversorgung, z.B. im Klinikum Nürnberg beträgt der Dosisanteil durch die Computertomographie ca. 60 % bei 14 % der Untersuchungen. Die klinische Bedeutung von CT-Untersuchungen im Vergleich zum MRT lässt sich an ihren Frequenzen ablesen. Insgesamt kommen auf eine MRT-Untersuchung mehr als das Doppelte an CT-Untersuchungen.

Für die Bewertung der Strahlenrisikos durch CT müssen neben der Strahlenexposition insbesondere das Alter von Patienten und aber auch deren Diagnosen berücksichtigt werden. Aktuelle Erhebungen am Klinikum Nürnberg belegen die Tendenz, das verstärkt ältere Patienten belegt werden. So liegt das mittlere Alter aller Patienten bei ca. 67 Jahren. Anhand der Entlassungsdiagnosen wurde bei der Erhebung zusätzlich die Schwere der zugrunde liegenden Erkrankungen überprüft. Hierbei ergab sich, dass mit einem hohem Prozentsatz gravierende Diagnosen vorliegen, die zu einem deutlichen statistischen „loss of lifetime“ führen. Kritisch sollten aus Sicht des Strahlenschutzes immer die Indikationen für Untersuchungen bei Kindern, jungen Erwachsenen und gebärfähigen Frauen gestellt werden, da für diese Patientengruppe die Risikofaktoren (ICRP 60) deutlich höher als 5 %/Sv sind bzw. sein können.

Auf Grund der rasant voranschreitenden technischen Entwicklungen die z.Zt. bei 16 Zeilen und Umlaufzeiten von 0,4 sec liegen, kann der gesamte Körper eines Menschen in wenigen Sekunden in Dünnschichttechnik untersucht werden, selbst größere Volumina können mit 0,5 mm dicken Schichten dargestellt werden. Es ist unbestritten, dass die Computertomographie in ihrem diagnostischen Aus-

sagewert eine deutliche Steigerung erfahren hat und in Kombination mit Kontrastmittelinjektionen z.B. diagnostische Angiographien verdrängt hat. Auch alte konventionelle Schichtuntersuchungen im Bereich der Diagnostik komplexer Frakturen sind heute im wesentlichen durch die Computertomographie abgedeckt. Auf Grund aktueller Publikationen werden auch entzündliche Darmerkrankungen (z.B. Divertikulitis) vermehrt mit dem CT untersucht. Neue Applikationen stellen weiterhin im Rahmen der cerebralen Akutdiagnostik die Hirnperfusion mittels CT nach KM Bolusgabe, die teilweise bzw. weitgehende Abklärung von Lungenembolien mittels Dünnschichtspiral-CT nach KM-Injektion und in anderen Bereichen wie der Dentalradiologie die Volumetomographie mit CT ähnlichen Systemen zur Implantatplanung dar.

Trotz technischer Fortschritte mit Einsatz von Festkörperdetektoren und weiteren Optimierungen konnte zwar in den letzten Jahren mit immer geringeren Dosen ein gutes Signalrauschverhältnis und damit eine gute Bildqualität erreicht werden, dennoch ist die gesamte Patientenexposition, die sich am besten durch das Dosislängenprodukt DLP ausdrücken lässt, weiter gestiegen, da in zunehmenden Maße größere Körpervolumina bzw. Mehrphasenuntersuchungen erfolgen.

Auch für die Computertomographie ergeben sich durch die nationale Umsetzung der Patientenschutzrichtlinien 97/43 der EU [2] eine Reihe von Konsequenzen für Deutschland. Als sehr wichtige Forderung ist bei der nationalen Umsetzung der Richtlinie zur Medizinische Exposition die Einführung und Nutzung von einheitlichen Anforderungs- bzw. Überweiskriterien zu sehen. Nach einer bereits in deutsch verfügbaren „europäischen“ Version sind die deutschen Überweiskriterien kurz vor der Fertigstellung. In der konsequenten Anwendung dieser Überweiskriterien dürfte ein effektives Instrument zum Strahlenschutz und eine Hilfe zur Dosisoptimierung liegen.

Eine weitere wichtige umzusetzende Forderung der EU-Richtlinie ist die Erstellung von Arbeitsanweisungen (Standard Operating Procedures, SOP), in denen häufig wiederkehrende Untersuchungen in ihrem Ablauf und den Dosisparametern (Standarddaten) jederzeit nachvollziehbar dokumentiert sein werden. Gerade für die CT sind die vom Bundesamt für Strahlenschutz veröffentlichten diagnostischen Dosisreferenzwerte [3] von großer Bedeutung.

Sie sollten nicht als „Standardwerte“ in Bezug auf die Strahlenexposition gesehen werden, sondern eine obere Grenze für Standardpatienten bei guter Technik darstellen, die iterativ in Intervallen von wenigen Jahren überprüft und neu festgelegt werden.

Eine weitere Konsequenz ergibt sich aus der neu festgelegten Arbeit der ärztlichen Stellen. Neben den physikalischen Geräteparametern und der Bildqualität wird jetzt auch die rechtfertigende Indikation im Sinne der Röntgenverordnung, die Einhaltung der Dosisreferenzwerte und gegebenenfalls der Befund überprüft.

Technische Möglichkeiten, die kurz vor der klinischen Routineanwendung stehen, werden wesentlich die Dosis-effizienz steigern und dosisoptimierte Untersuchung ermöglichen. Hierzu gehören z.B. die Dosismodulation, die bei CT-Untersuchungen im Bereich der oberen Thorax mit Schulterbereich und des Beckens durch eine Modulation des Röhrenstroms der unterschiedlichen Schwächung in anteriorer und lateraler Richtung Rechnung trägt. Durch diese Technik kann bei konstanter Dosis die Bildqualität und insbesondere die Artefaktfreiheit verbessert werden. Alternativ kann damit auch eine geringe Dosisabsenkung erreicht werden.

Ein weiterer wichtiger Schritt zur Dosisoptimierung stellt die z.Zt. von mehreren Herstellern eingeführte Belichtungsautomatik dar. Hierbei wird anhand der ersten CT-Schichten oder anhand der Topogramme das Körpervolumen bzw. die Gesamtabsorption abgeschätzt und die Dosis so angepasst, dass unabhängig vom individuellen Patienten ein annähernd konstantes Signal-Rauschverhältnis bzw. eine konstante Bildqualität erzielt wird. Die Zielgröße, die hierbei die Wahl der Geräteparameter beeinflusst, ist die gewünschte Bildqualität.

Ein weiterer denkbarer Schritt zur Dosisreduktion wäre die Abstufung der diagnostischen Bildqualität in mehrere Bereiche, z. B. „hohe Bildqualität“, „mittlere Bildqualität“ und „geringe Bildqualität“. Wird beispielsweise bei einem Patienten ein CT mit der Fragestellung „Pankreaskarzinom“ durchgeführt, muss in jedem Falle eine für die Diagnostik hohe Bildqualität vorliegen. Sollte sich anschließend eine akute Pankreatitis herausstellen, kann durchaus zum Verlauf der Exsudate eine mittlere oder niedrige Bildqualität verwendet werden. Eine ähnliche Situation wäre in der Trauma-Abklärung denkbar. Zur Beurteilung von Frakturen bzw. Fragestellungen mit operativer Konsequenz ist sicherlich eine hohe Bildqualität notwendig, im Verlauf mit Stellungskontrollen könnte die Dosis dann entsprechend den festgelegten Stufen abgesenkt werden.

In Abhängigkeit der Geräte und verwendeten Detekortechnologie sollten weiterhin in den Arbeitsanweisungen die Untersuchungsprotokolle optimiert werden. Es ist sicher je nach Fragestellung nicht sinnvoll, bei Verfügbarkeit eines Multizeilen-CT's alle Untersuchungen in Dünnschichttechnik durchzuführen. Hierbei kann es zu Dosisüberhöhungen bis ca. 20 Prozent kommen. Unabhängig hiervon erhöht sich bei allen Scannern die Röhrenlast. Bei Scannern mit wenigen Detektorzeilen kommt es zusätzlich durch die Verlängerung der Scanzeit zu Problemen, eine Serie in einem Atemanhaltezyklus aufzunehmen.

Aus Sicht des Strahlenschutzes sollte weiterhin mit Hilfe der Geräteindustrie versucht werden, zügig ältere Scanner mit einem schlechten Quotienten von Bildqualität zu Dosis auszutauschen. Ob eine Senkung der Patientenexposition durch die ärztlichen Stellen mit einer Überprüfung des Dosislängenproduktes erreicht werden kann ist fraglich, da die steigende diagnostische Qualität und Verfügbarkeit leistungsfähiger CT-Scanner auch zu einer Steigerung der Bereitschaft geführt hat, eine rechtfertigende Indikation zu einer CT-Untersuchung zu stellen.

Betrachtet man die zukünftige Entwicklung im Gesundheitssystem, so könnte einerseits durch die Einführung der Fallpauschalen mit einer Verrechnung von Röntgenleistungen eine Reduktion der CT-Untersuchungen erfolgen, andererseits bleibt zu befürchten, dass die Vision „ein Multizeilen-CT ist das Eingangstor zur Notaufnahme“ Realität wird, da kein anderes Verfahren in weniger als 20 Sekunden eine so vollständige Information über den Akutzustand eines Patienten liefern kann.

Schlechte Beispiele für mangelndes Strahlenschutzbewusstsein werden aus den USA berichtet. So gab es bereits vor Jahren Aushänger an dortigen Röntgenpraxen mit der Aufschrift „today CT-headscans on sale, \$ 100“, oder es werden aktuell mit CT-Mobilen bei Selbstüberweisung des Patienten Ganzkörper-CTs als Screening-Untersuchungen angeboten.

LITERATUR

- [1] Regulla D, Griebel J, Noßke D, Bauer B, Brix G. Erfassung und Bewertung der Patientenexposition in der diagnostischen Radiologie und Nuklearmedizin. Zeitschrift für Medizinische Physik 2003; 13: 127-135
- [2] Rat der Europäischen Union. Richtlinie 97/43/Euratom über den Gesundheitsschutz von Personen gegen die Gefahren ionisierender Strahlung bei der medizinischen Exposition. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften 1997; Nr. L 180: 25
- [3] Bundesamt für Strahlenschutz. Bekanntmachung der diagnostischen Referenzwertefür radiologische und nuklearmedizinische Untersuchungen vom 10. Juli 2003. Bundesanzeiger Nummer 143 vom 5.8.2003, 17503 - 17504

Umsetzung durch Sachverständige

Prof. Dr. rer. nat. K. Ewen (Duisburg), Ltr. Arbeitskreis RöV beim BMU
P. Höfs (Wennigsen), Prüfstelle für Strahlenschutz

EINLEITUNG

Es soll diskutiert werden, welche Möglichkeiten bestehen, die durch CT-Untersuchungen verursachten Patientenexpositionen im Rahmen von Sachverständigenprüfungen nach RöV zu verringern.

VORSCHLAG UND DESSEN BEWERTUNG

Eine auch schon äußerlich erkennbare Grundvoraussetzung zum **Inverkehrbringen** von CT's ist die CE-Kennzeichnung nach dem MPG. Um einen CT **in Betrieb nehmen** zu können, ist gemäß RöV [1] eine Abnahmeprüfung durch den Hersteller/Lieferanten nach DIN 6868-53 [2] bzw. Tab. 9.2 der QS-RL [3] und eine Prüfung durch einen behördlich bestimmten Sachverständigen erforderlich. Bei seinen Prüfungen legt der Sachverständige die zur Zeit gültigen Richtlinien, Normen und behördlichen Erlasse zu Grunde. Nach der bis zum 31.09.2003 geltenden (alten) Richtlinie (SV-RL) war neben der Einhaltung von QS-Anforderungen durch den Hersteller lediglich die Begrenzung der Dosis frei Luft in der Zentralachse auf ≤ 50 mGy (nach Anlage I zur alten SV-RL [4]).

In der vom 1.10.2003 geltenden (neuen) SV-RL [5] ist die letztgenannte Forderung entfallen. Es wird aber nun im Sinne des § 3 Abs. 3 Nr. 2 b RöV [1] eine „Vorrichtung zur Anzeige der Patientenexposition“ gefordert. Diese gibt dem Betreiber die Möglichkeit, bei seinen Anwendungen die Einhaltung der vom Bundesamt für Strahlenschutz veröffentlichten diagnostischen Referenzwerte zu beachten.

Der bei der Sachverständigenprüfung nach §§ 4 Abs. 1 und 18 Abs. 1 Nr. 5 RöV [1] erzielbare Einfluss auf die Patientendosis bei CT-Untersuchungen muss im Sinne der o.g. Frage mit niedrig eingestuft werden. Bei der Kontrolle der Abnahme- und oder ggf. einer Teilabnahmeprüfung durch den Sachverständigen (zur Diskussion stehen die Röntgeneinrichtung nach DIN 6868-53 [2], das Bilddokumentationssystem nach DIN 6868-56 [6], die Funktionsprüfung der Filmverarbeitung nach DIN V 6868-55 [7] und das Bildwiedergabegerät nach DIN V 6868-57 [8]) geht es um die Einhaltung der für die notwendige Bildqualität erforderlichen QS-Anforderungen. Die Wichtigkeit im Hinblick auf die Patientenexposition ist hier deutlich höher. Eine im Sinne der Reduzierung der Patientenexposition optimale Wirkung ist seitens des Sachverständigen nur durch eine Bewertung der angewandten

Scan-Protokolle und ggf. durch eine Beratung zur Protokolloptimierung zu erreichen. Zusätzliche Qualifizierungsmaßnahmen der Sachverständigen sind aber dazu unbedingte Voraussetzung. Die Ärztlichen Stellen sollten bei dieser Beratungstätigkeit mit einbezogen werden.

SCHLUSSBEMERKUNGEN

Die Anwendung der „neuen“ SV-RL wird die Patientenexposition bei CT-Untersuchungen nicht merklich verringern. Ein effektives Element wäre eine zusätzliche Dienstleistung seitens des Sachverständigen, nämlich eine Beratung im Sinne einer Protokolloptimierung. Dazu würde aber eine spezielle Qualifizierung des Sachverständigen und eine Zusammenarbeit mit den Ärztlichen Stellen erforderlich sein.

LITERATUR

- [1] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen (Röntgenverordnung, RöV), BGBl. I, S. 1869, 2002
- [2] DIN 6868-53 **)
- [3] Qualitätssicherungsrichtlinie (QS-RL) - Richtlinie zur Durchführung der Qualitätssicherung bei Röntgeneinrichtungen zur Untersuchung und Behandlung von Menschen nach RöV, BMU *)
- [4] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Regelwerk 13: Richtlinie für Sachverständigenprüfung nach Röntgenverordnung, Anl. I. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW Verlag für neue Wissenschaft, 1998: 124
- [5] Sachverständigenrichtlinie (SV-RL) - Richtlinie für die technische Prüfung von Röntgeneinrichtungen und genehmigungsbedürftigen Störstrahlern, BMU *)
- [6] DIN 6868-56 **)
- [7] DIN V 6868-55 **)
- [8] DIN V 6868-57 **)

*) Die Fundstellen waren zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Arbeit nicht bekannt

**) Fundstellen: siehe Kapitel 10 in der QS-RL

Umsetzung durch die Ärztlichen Stellen für Qualitätssicherung

Prof. Dr. med. H. Vogel (Hamburg), Vors. Ärztliche Stelle der Ärztekammer Hamburg

Die Ärztliche Stelle prüft die Strahlenhygiene. Zu beobachten ist, dass Untersuchungen mit Strahlenexpositionen durchgeführt werden, die zu hoch sind. Dies hat zu einem Projekt des Arbeitsausschusses Strahlenschutz (AA2) beim NAR geführt. Eine Handreichung soll erstellt werden, die hilft, häufig beobachtete Fehler zu vermeiden. Zur Zeit wird geprüft, wie weit Vereinfachungen möglich sind. Ein Zwischenergebnis ist als Anlage beigefügt.

Betreiber fühlen sich leicht durch Vorschläge der ÄS kritisiert und reagieren empfindlich. Dies kann Verbesserungen verhindern. Bewährt hat sich in Hamburg, dass die ÄS immer wieder den Grundsatz ihres Handelns („comply or explain“, d.h. erfülle die Vorgaben oder erkläre, warum von ihnen abgewichen wurde) deutlich macht. Die Vorgaben sind die Leitlinien für die Durchführung von CT-Untersuchungen [1], die Röntgenverordnung [2] mit Aus-

führungsbestimmungen und Richtlinien, die Referenzwerte [3] und die Ergebnisse der Konzentrierten Aktion [4].

LITERATUR

- [1] Bundesärztekammer. Leitlinie der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung in der Computertomographie. Dt. Ärzteblatt 1992; 89: C-2368 - 2368
- [2] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen (Röntgenverordnung, RöV), BGBl. I, S. 1869, 2002
- [3] Bundesamt für Strahlenschutz. Bekanntmachung der diagnostischen Referenzwertefür radiologische und nuklearmedizinische Untersuchungen vom 10. Juli 2003. Bundesanzeiger Nummer 143 vom 5.8.2003, 17503 - 17504
- [4] Galanski M, Nagel HD, Stamm G. CT-Expositionspraxis in der Bundesrepublik Deutschland - Ergebnisse einer bundesweiten Umfrage im Jahre 1999. Fortschr. Röntgenstr. 2001; 173: R1 - R66

| Direkte Auswirkung auf die Strahlenexposition des Patienten | | |
|---|---|--|
| Scanbereich | Abstand: cranialste-caudalste Schicht (nicht Topogramm) | Ist die Scanlänge zu groß für die Fragestellung und/oder die untersuchte Region? |
| Exposition im Scanbereich | Einzelschichtbetrieb | Zahl der Schichten, Anordnung (Abstand, Überlappung) |
| | Spirale | Pitch 1,5 oder anders |
| | weitere Serien | Anzahl, Zeitpunkt, nativ ? |
| Voruntersuchungen | Am selben Tag, vor Tagen, vor Wochen | Ist die aktuelle Untersuchung entbehrlich/sinnvoll? |
| Protokolle der Untersuchungen: | Ausgewählte Werte: kV, mA, mAs | Korrekt für die Indikation und/oder Region? |
| Exposition strahlenempfindlicher Organe | Ausblendung, Abdeckung | Linse, Testes |

| Direkte-indirekte* Auswirkung auf die Strahlenexposition des Patienten | |
|--|--|
| Seitenbezeichnung | fehlerhaft oder/und missverständlich |
| Falschbeschriftung | Patientenverwechslung |
| Fehlende oder falsche Indikation | Anmerkung: Das Einverständnis des Patienten ersetzt weder die medizinische noch die rechtfertigende Indikation |
| Risikopatienten | Gravidität: Abfrage und Dokumentation der Abfrage |
| | Säuglinge/Kinder: Begründung warum nicht Sono oder MR |
| | Laktierende Mamma: Enge Indikation |
| * Wenn durch die Art der Ausführung einer Untersuchung eine Gefährdung für den Patienten | |

| Indirekte Beeinflussung der Strahlenexposition des Patienten | | |
|--|---------------------------------------|------------------------------------|
| Bildeindruck | Fensterbreite, Fensterlage, Schlieren | Rauschen, Printer, Filmbearbeitung |

ANHANG 1:

Memorandum des ZVEI zur Strahlenexposition in der Computer-Tomographie vom Januar 1998

EINLEITUNG

Die Computer-Tomographie als bildgebende Modalität hat in den 25 Jahren seit ihrer Einführung im klinischen Alltag rapide an Stellenwert gewonnen. Sie zählt heute zu den aussagefähigsten diagnostischen Verfahren in der Radiologie. Die damit verbundene Strahlenexposition blieb jedoch lange Zeit unbeachtet. Erst mit der Erhebung des Bundesamtes für Strahlenschutz aus dem Jahre 1994 wurde das mittlerweile erreichte Ausmaß erkennbar: Obwohl CT-Untersuchungen nur zu gut 3% am Untersuchungsaufkommen beteiligt sind, verursachen sie rund 1/3 der Bevölkerungsdosis. Angesichts dieser Zahlen und des anhaltenden Trends zur Ausweitung der CT-Anwendungen stellt CT die derzeit eindeutig größte Herausforderung auf dem Gebiet des Strahlenschutzes bei medizinischen Anwendungen dar.

Die im ZVEI vertretenen Herstellerfirmen von CT-Einrichtungen teilen die Besorgnis über diese Entwicklung und sehen sich mit aufgerufen, den in ihren Kräften stehenden Beitrag zur Dosisreduktion auf dem CT-Sektor zu leisten. Die Gründe, die für das heute übliche, hohe Dosisniveau verantwortlich sind, sind jedoch relativ komplex. Eine Abhilfe durch isolierte Einzelmaßnahmen erscheint dabei wenig erfolgversprechend. Der Weg zu einer signifikanten Senkung der Strahlenexposition bei CT wird vielmehr nur über eine *konzertierte Aktion* aller beteiligten Kreise zu erreichen sein. Eine kritische Bestandsaufnahme der Ursachen, die im folgenden kurz skizziert werden sollen, ist hierfür Grundvoraussetzung.

TECHNISCH-PHYSIKALISCHE URSACHEN

Im Gegensatz zur konventionellen Projektionsradiographie wird bei CT eine *dreidimensionale Bildinformation* erzeugt. Dieses Mehr an Informationsgehalt erfordert zur Erzielung einer bestimmten Bildqualität notwendigerweise eine höhere Dosis, als es bei einer konventionellen Röntgenaufnahme derselben Körperregion der Fall ist. Die Tatsache, daß sich CT auf modernste Technologien der Bild-detektion und -verarbeitung abstützt, kann diesen Dosis-mehrbedarf nur mildern, nicht aber kompensieren.

Wie allen anderen digitalen Bildgebungsverfahren fehlt es der CT zudem an der *inhärenten Sicherheit* der klassischen Aufnahmetechnik, durch die Überdosierungen und überhöhte Bildanzahlen vermieden werden könnten. Überdosierungen führen nicht etwa zu überbelichteten, son-

dern vielmehr zu qualitativ besseren Bildern. Filmkosten fallen nicht bereits bei der Bilderstellung an, sondern erst später bei der Dokumentation. Röntgenröhren mit erhöhter Leistungsfähigkeit ermöglichen immer umfangreichere und detailliertere Untersuchungstechniken. Sämtliche genannten Faktoren wirken potentiell dosistreibend, sofern bei der Anwendung keine entsprechenden Vorkehrungen getroffen werden.

Da bei CT seit jeher die jeweils neuesten, verfügbaren Technologien verwendet wurden, ist der Spielraum für weitere Dosisreduktionen durch *technische Maßnahmen* relativ begrenzt. Die Tauglichkeit von Lösungen, die sich in anderen Anwendungsgebieten bewährt haben, kann bei CT nicht automatisch vorausgesetzt werden. Ein Beispiel hierfür ist die Verwendung von Zusatzfiltern, deren Dosis-spareffekt sich im Falle von CT bei Berücksichtigung sämtlicher Gesichtspunkte als marginal herausstellt.

ANWENDERBEDINGTE URSACHEN

Bei allen Diskussionen in Fachkreisen wird auf die besondere Rolle, die der *Anwender* im Hinblick auf die Höhe der applizierten Dosis spielt, hingewiesen. Es stellt sich daher die Frage, was den Anwender daran hindert, dosis-optimiert zu arbeiten.

Zunächst muß konstatiert werden, daß die erforderlichen *Grundkenntnisse* über Dosiszusammenhänge bei CT und geeignete Maßnahmen zur Dosisreduktion häufig fehlen. In Strahlenschutzkursen, wo diese Kenntnisse am ehesten zu vermitteln wären, kommt die Thematik CT - gemessen an der Bedeutung - in der Regel jedoch noch immer viel zu kurz.

Doch selbst bei vorhandenem Dosisbewußtsein fehlt das *Fundament*, das es ermöglicht, trotz minimierter Dosis eine aussagefähige Diagnostik zu betreiben: Bislang gibt es nur wenige Studien, die diese Grenzen für einzelne Fragestellungen ausgelotet haben. Dies von jedem einzelnen Anwender zu verlangen würde deren Möglichkeiten bei weitem überfordern.

Eine nicht zu unterschätzende Rolle liegt auch in den *Rahmenbedingungen*, in denen sich der Anwender bewegt. Dosisoptimierung erfordert zusätzlichen Aufwand und birgt überdies Risiken: Die Möglichkeit eines Kunstfehlerprozesses wegen falscher Diagnose ist durchaus real; die

Gefahr eines Lizenzentzuges wegen überhöhter Strahlenexposition ist z.Z. dagegen verschwindend gering. Hinzu kommt die besondere Situation des Dienstleisters, dessen Auftraggeber die Qualität der Diagnose eher an der Brillanz der Bilder als an der dafür aufgewendeten Dosis bemißt.

Eine Vorgehensweise, die den Anwender lieber auf Nummer Sicher gehen läßt, ist die logische Konsequenz. Daher müssen positive Anreize geschaffen werden, die für den Anwender das Optimieren der Dosis rentabel machen.

HERSTELLERBEDINGTE URSACHEN

Ähnlich wie der Anwender sieht sich auch die *Industrie* Erwartungshaltungen ausgesetzt, für die Reduzierung der CT-bedingten Strahlenexposition zu sorgen. Die Frage ist daher: Was kann der Gerätehersteller leisten, und wo sind ihm die Hände gebunden?

Die Möglichkeiten über Bereitstellung *technischer Mittel* sind - wie bereits erwähnt - begrenzt. Die noch verbleibenden, aussichtsreichsten Maßnahmen wären zum einen eine *Dosisanzeige* zur Information des Anwenders über die Höhe der Strahlenexposition, zum anderen eine *Automatik*, die die Bemessung der Scanprotokolle für die jeweilige Fragestellung entsprechend der Anatomie des zu untersuchenden Patienten vornimmt. Die Wirksamkeit dieser Lösungen sollte jedoch nicht überschätzt werden, da dem Anwender grundsätzlich die Möglichkeit offen gelassen werden muß, im Einzelfalle von den vorgeschlagenen Werten abzuweichen.

Daher sind es im wesentlichen die *Anwendungsempfehlungen*, über die der Hersteller entscheidenden Einfluß auf das Geschehen nehmen kann. Hierbei stellt das Fehlen solider Low-Dose-CT-Studien den Hersteller vor ähnliche Probleme wie den Anwender. Anwendungsempfehlungen basieren notwendigerweise auf den Erfahrungen, die mit einer begrenzten Zahl von Anwendern während der Applikationsphase eines neuen Gerätes gewonnen wurden. Sie können daher nur so gut sein, wie es dem Kenntnisstand dieser Anwender und deren Wichtung der Strahlenschutzaspekte entspricht. Damit spiegeln die herstellerseitigen Anwendungsempfehlungen letztlich nur das Dilemma wieder, in dem sich der Anwender selbst befindet.

Hinzu kommt, daß der *Wettbewerb* um Kundschaft primär über die Bildqualität und die Schnelligkeit eines CT's erfolgt. Die Landschaft, in der wir uns bislang bewegen, honoriert dabei die Bemühungen eines einzelnen Herstellers zur Dosisreduzierung nur beschränkt. Herstellerseitige Anwendungsempfehlungen orientieren sich deshalb in aller Regel zur sicheren Seite hin und geben der Bildqualität bislang eindeutig den Vorrang.

DIE ROLLE VON FACHGESELLSCHAFTEN UND BEHÖRDEN

Aufgrund unzureichender Informationen über das Ausmaß der CT-bedingten Strahlenexposition wurden Fachgesellschaften und Behörden erst im Laufe der Erhebung des Bundesamts für Strahlenschutz - oder danach - aktiv. Als erste hat die *Bundesärztekammer* in ihren Qualitätsleitlinien den Versuch einer Dosisbegrenzung bei der CT-Anwendung unternommen. Leider wurde dabei ein Pauschalwert verwendet, der weder den Besonderheiten der spezifischen diagnostischen Fragestellung noch den damit verbundenen physikalisch-technischen Erfordernissen Rechnung trägt. Aus diesen Gründen blieb der von der BÄK gesetzte Dosisgrenzwert in der Praxis weitestgehend ohne Konsequenzen, zumal die erforderliche Überwachung durch die Aufsichtsgremien in der Regel ausblieb.

Aktivitäten wie die von der *Deutschen Röntgengesellschaft* jüngst durchgeführte Multicenterstudie ‚Dosis und Bildqualität bei Spiral-CT‘ sind grundsätzlich zu begrüßen, stellen bisher jedoch eher die Ausnahme dar. Derartige Aktivitäten liefern einen wertvollen Beitrag, indem sie einerseits die anwenderbedingte Streubreite der applizierten Dosiswerte dokumentieren, andererseits exemplarisch aufzeigen, daß trotz signifikant reduzierter Dosis auch im klinischen Alltag eine aussagefähige Diagnostik möglich ist.

Die Rolle der *Aufsichtsbehörden* (Gewerbeaufsicht) beschränkt sich bisher ausschließlich auf die technisch-apparative Seite des Strahlenschutzes. Obwohl dies eine wichtige Voraussetzung für einen funktionsfähigen Strahlenschutz darstellt, greifen derartige Maßnahmen zu kurz, da die anwendungsbedingte Seite dabei unberücksichtigt bleibt.

Ärztliche Stellen, die im Rahmen der Qualitätssicherung eine Kontrolle ausüben könnten, haben diese Aufgabe - soweit bekannt - bislang nur in wenigen Fällen wahrgenommen. Eine wirksame Überwachung ist aber eine Grundvoraussetzung bei der Etablierung irgendwelcher Dosisbeschränkungen, um dosisbewußte Anwender und Hersteller angesichts der damit verbundenen Einschränkungen bei der Bildqualität vor möglichen Benachteiligungen zu schützen.

Im Rahmen der Überarbeitung der Prüfrichtlinie durch den *Länderausschuß Röntgenverordnung* ist geplant, die Dosisbeschränkung für CT-Anwendungen in den Bereichen Thorax und Abdomen künftig bereits bei der Abnahmeprüfung zu kontrollieren. Ohne daß klar ist, wie dies konkret erfolgen könnte, ist zu befürchten, daß auch diese Maßnahme im Hinblick auf die Anwendungspraxis nicht zum erwarteten Erfolg führt, da die Einhaltung von Dosis-

begrenzungen bei der späteren Anwendung nicht garantiert ist.

Insgesamt zeigt sich immer deutlicher, daß die bisherige Philosophie des Strahlenschutzes, bestehend aus Vorschriften und Kontrollen auf der apparativen Seite sowie aus Leitlinien zur Anwendung, nur bedingt zum Erfolg führt. In dieser Situation bietet sich ein Blick über den Zaun auf benachbarte Gebiete des Umweltschutzes an. Entscheidende Durchbrüche etwa auf den Gebieten der Gewässer- und Luftreinhaltung gingen stets einher mit der Schaffung von Anreizen, die die zuvor geübte Praxis zunehmend unrentabel werden ließen. Durch Gestaltung geeigneter Rahmenbedingungen könnte eine ähnliche Entwicklung auch auf dem Gebiet des Strahlenschutzes in der Medizin forciert werden.

VORSCHLÄGE FÜR EINE KONZERTIERTE AKTION

Zur Reduzierung der CT-bedingten Strahlenexposition schlägt der ZVEI die Einrichtung einer *konzertierten Aktion* vor, für die wir folgende Organisationen zur Mitarbeit aufrufen möchten:

- Deutsche Röntgengesellschaft (DRG)
- Bundesärztekammer (BÄK)
- Kassenärztliche Bundesvereinigung (KBV)
- Bundesarbeitsministerium (BMA)
- Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)
- Strahlenschutzkommission (SSK)
- Deutsche Gesellschaft für Medizinische Physik (DGMP)
- Normenausschuß Radiologie (NAR)
- Vertreter der Länderbehörden
- Vertreter der ärztlichen Stellen
- Vertreter von Sachverständigenorganisationen.

Andere, nicht explizit aufgeführte Stellen, die in irgendeiner Form einen Beitrag zur Lösung leisten können, sind ebenfalls willkommen.

Die Zielsetzung dieser Aktion sollte eindeutig vorwärts gerichtet sein. Versäumnisse der Vergangenheit sollten dabei bestenfalls als Beispiel, wie man es nicht machen sollte, herhalten. Folgende Themen erscheinen als besonders vordringlich:

- **Verbesserung der Ausbildung:** Änderung der Lehrpläne des Strahlenschutz-Spezialkurses für Ärzte zur Etablierung eines ausreichend großen Themenbereichs ‚CT‘; ggf. Schaffung eines gesonderten Fachkurse ‚Strahlenschutz CT‘ (wie von der SSK für die Interventionelle Radiologie vorgeschlagen).
- **Förderung von Niedrigdosis-CT-Studien:** Einrichtung und Förderung eines gezielten Forschungs-

programms zur Etablierung von applikatorisch fundierten Anwendungsempfehlungen.

- **Modifizierung der Leitlinien der BÄK:** Differenzierung des Dosisrichtwerts je nach Fragestellung; Berücksichtigung grundlegender abbildungsphysikalischer Gesetzmäßigkeiten (z.B. Zusammenhang Dosis - Schichtdicke - Rauschen); Harmonisierung der Leitlinien bzgl. der Grenzwerte und der verwendeten Meßgröße mit den entsprechenden Euratom-Qualitätsrichtlinien.
- **Überwachung der Einhaltung der Dosislimitierung:** Schwerpunktaktionen von Aufsichtsbehörden der Länder und ärztlichen Stellen zur anwendungsbedingten Problematik; Einführung eines Rechtfertigungszwangs im Falle von Überschreitungen der empfohlenen Dosisrichtwerte.
- **Erweiterung der apparativen Ausstattung:** Ausstattung neuer CT-Einrichtungen mit Automaten zur Ermittlung von patienten- und fragestellungsabhängigen Einstellwerten und Vorrichtungen zur Ermittlung und Anzeige der Patientendosis.
- **Schaffung positiver Anreize:** Einführung eines geeigneten Systems, mit dem organisatorische und apparative Aufwendungen zur Dosisoptimierung honoriert und entsprechend attraktiv gemacht werden; ggf. finanzielle Förderung bei Modifizierung oder Ersatz älterer CT-Einrichtungen mit deutlich schlechterer Dosis-effizienz.

Die im ZVEI vertretenen CT-Herstellerfirmen sind zuversichtlich, daß sich bei Bündelung der Kräfte und enger Prioritätensetzung kurz- bis mittelfristig eine signifikante Verbesserung der Situation erreichen lassen wird. Dieses Memorandum stellt einen ersten Schritt in diese Richtung dar und wird - so unsere Erwartung - den erforderlichen Diskussionsprozeß in Gang setzen.

Frankfurt, im Januar 1998

ANHANG 2:

Ergebnisbericht über die erste Sitzung der „Konzertierten Aktion: Strahlenexposition in der Computertomographie“.

15. Mai 1998, Frankfurt am Main, ZVEI-Haus

Auf Einladung der im Fachkreis Röntgen/CT des Fachverbandes Elektromedizinische Technik im ZVEI e.V. organisierten Firmen trafen sich Vertreter der folgenden Organisationen:

- Deutsche Röntgengesellschaft (DRG)
- Bundesärztekammer (BÄK)
- Kassenärztliche Bundesvereinigung (KBV)
- Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)
- Strahlenschutzkommission (SSK)
- Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMA)
- Deutsche Ges. für Medizinische Physik (DGMP)
- Normenausschuß Radiologie (NAR)
- Sachverständigenorganisationen (RWTüV Anlagentechnik, TÜV Rheinland/Brandenburg/Berlin)
- Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) und einige Länderbehörden (Zentralstelle für Arbeitsschutz in der HLFU, Arbeitsministerium des Landes Rheinland-Pfalz, Staatliches Amt für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik in Wiesbaden, Hessisches Ministerium f. Frauen, Jugend, Soziales und Gesundheit),

um zusammen mit den Firmenvertretern über das Thema „Reduzierung der Strahlenexposition bei Anwendungen der Computertomographie“ zu diskutieren.

Die Industrie hatte dazu in einem Memorandum das Thema mit Lösungsvorschlägen skizziert. Diese Darstellung fand Zustimmung.

Die Diskussion ergab Einstimmung, dass dieses Thema nur durch alle beteiligten Kreise gemeinsam angegangen werden könnte; schon begonnene Projekte, etwa bei der SSK, bei der AG Referenzdosiswerte oder die Förderung von CT-Dosisstudien durch das BMA, sollten einbezogen werden.

Es wurde vorgeschlagen, dass der Deutschen Röntgengesellschaft (DRG) die Federführung für diese „Konzertierte Aktion“ übertragen werden sollte, unterstützt vom Fachverband Elektromedizinische Technik im ZVEI e.V. als Vertreter der Industrie.

Der ZVEI wird dem Präsidium der DRG diesen Vorschlag mit den in Angriff zu nehmenden ersten Aufgaben vortragen.

Es sollten folgende Arbeitskreise eingerichtet werden:

- Erarbeiten von Maßnahmen für eine verbesserte Anwenderschulung
- Ermittlung der klinischen Anforderungen an Dosis und Bildqualität bei CT-Anwendungen
- Vorschläge zur Modifikation der „CT-Leitlinie der Bundesärztekammer“

Falls das Präsidium der DRG zustimmt, die Federführung dieser „Konzertierten Aktion“ zu übernehmen – die Sitzungsteilnehmer gehen davon aus, wie die Diskussion zeigte – sollten umgehend Experten aus allen betroffenen Kreisen berufen werden.

Die beiden Euratom-Richtlinien müssen bis zum Mai 2000 in nationales Recht umgesetzt worden sein.

Öffentlichkeitsarbeit zur „Konzertierten Aktion“ sollte erst beginnen, wenn Ergebnisse der Arbeitskreise vorliegen.

Die Teilnehmer dieser Sitzung sind sich bewußt, dass mit der „Konzertierten Aktion: Strahlenexposition in der Computertomographie“ ein wichtiges gesundheitspolitisches Thema gestartet wurde.

Vernünftige Lösungen lassen sich nur durch gemeinsames Handeln der betroffenen Kreise finden und umsetzen.

gez. Schröder

Frankfurt am Main, den 15.05.1998