Einblicke in den Körper

Röntgen und Ultraschall, Computertomografie und Magnetresonanz: Für Mediziner sind die bildgebenden Verfahren wichtige Techniken für Diagnose und Therapie. Völlig ohne Nebenwirkungen sind sie allerdings meist nicht.

Neugier ist eine zutiefst menschliche Eigenschaft. Und was unter der Haut eines Menschen verborgen ist, hat die Menschheit schon immer interessiert.

Doch erst am 8. November 1895 entdeckte Wilhelm Conrad Röntgen die später nach ihm benannten X-Strahlen, die einen Organismus durchleuchten können. Seine erste Aufnahme menschlicher Knochen zeigte die Hand seiner Ehefrau.

Heute, gut 120 Jahre später, sind die bildgebenden Verfahren die Basis vieler diagnostischer Schlüsse und operativer Verfahren und aus der modernen Medizin nicht mehr wegzudenken.

Was mit Röntgenstrahlen begann, hat sich aufgefächert in diverse Methoden, um ins Innere des Menschen zu blicken. Und das längst nicht mehr nur aus Neugier.

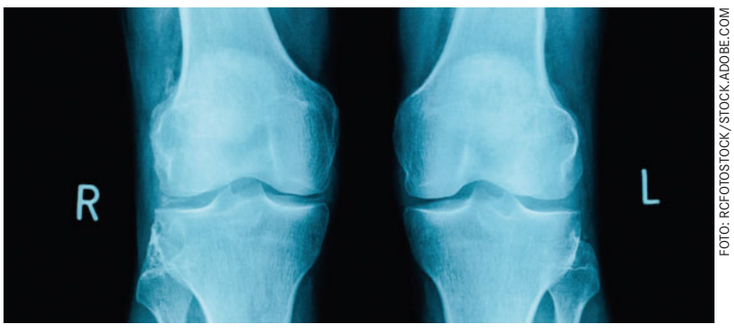


FOTO: RGFOTOSTOCK/STOCK.ADOBE.COM

Auf dem Röntgenbild sind vor allem die Knochen gut zu sehen.

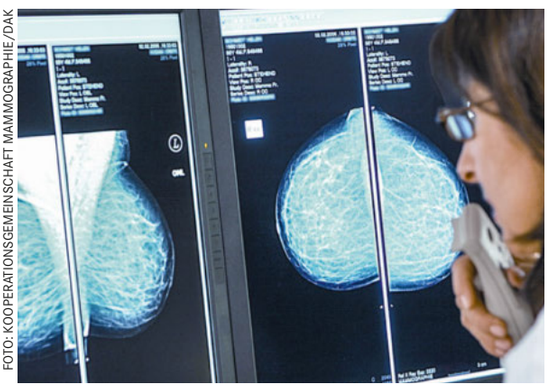


FOTO: KOOPERATIONSGEMEINSCHAFT MAMMOGRAPHIE/DAK

Bei der Mammografie wird eine Röntgenaufnahme vom Drüsengewebe der Brust erstellt. Das Bild zeigt, wo das Gewebe mehr oder weniger dicht ist. So lassen sich krebsverdächtige Knoten erkennen.

Was man mit Röntgenstrahlen sehen kann

Das Röntgenverfahren basiert auf elektromagnetischen Wellen (ähnlich etwa wie ultraviolettes Licht oder Radiowellen), die so intensiv sind, dass sie Körpergewebe durchdringen können. Je nach Dichte des Gewebes schafft es viel oder wenig Strahlung durch den menschlichen Körper. Knochen etwa lassen sich mit einem Röntgenbild gut darstellen, weiches Gewebe wie Haut, Muskeln und Körperfett nicht.

Früher belichteten die durchgekommenen Strahlen spezielle Fotofolien, heute werden Röntgenbilder digital aufgezeichnet. Was große Vorteile hat, und das nicht nur, weil heutzutage Röntgenbilder nicht mehr mühsam in der Dunkelkammer entwickelt werden müssen: „Damit können wir technisch auch dann noch etwas Brauchbares aus einer Aufnahme herausholen, wo früher bereits eine neue Röntgenaufnahme nötig gewesen wäre“, erklärt Dr. Christine Born, Radiologin in der renommierten Gemeinschaftspraxis „Radiologie München-Ost“.

Röntgen ist als Standardverfahren heute aus der Medizin nicht mehr wegzudenken, etwa um Fehlstellungen im Skelett, Knochenbrüche, aber auch Tumorerkrankungen oder Gelenkveränderungen (z. B. Arthrose) oder eine Lungenentzündung zu erkennen. Die klassische Mammografie (Röntgen der weiblichen, aber auch männlichen Brust) zur Krebsfrüherkennung basiert ebenfalls auf dem Einsatz von Röntgenstrahlen.

Wie gefährlich ist Röntgenstrahlung?

So schwer sie heute aus der Medizin wegzudenken sind: Unbedenklich sind Röntgenstrahlen nicht. Jeder Körper, der mittels X-Strahlen durchleuchtet wird, nimmt einen Teil der Energie in sich auf und wird dadurch beschädigt. Entscheidend sind dabei Veränderungen der Erbsubstanz in den Körperzellen (DNA). Auch wenn 99,9 % der DNA-Schäden durch körpereigene Reparaturmechanismen beseitigt werden können, erhöht zu häufiges Röntgen zumindest minimal das Risiko, an Krebs zu erkranken. Auf Röntgenstrahlen besonders empfindlich reagieren das Knochenmark, der Magen, die Lunge, der Dickdarm sowie die weibliche Brust. Bereits eine Bleischürze schützt aber Körperteile, die nicht Teil der Untersuchung sind, fast vollständig vor den gefährlichen Strahlen.

In Deutschland stirbt im Schnitt jeder vierte Mensch an einer Krebserkrankung. Das entspricht einem Lebensrisiko von 25 %. Durch einmaliges Röntgen der Lunge steigt diese Wahrscheinlichkeit auf 25,001 %, also um ein Tausendstel Prozent. Von jedem Deutschen werden allerdings im Schnitt 1,7 Röntgenaufnahmen pro Jahr angefertigt. Röntgenaufnahmen beim Zahnarzt machen dabei alleine 40 % aller Röntgenuntersuchungen aus. Die mittlere effektive Dosis durch X-Strahlung pro Einwohner und Jahr lag 2014 bei 1,6 Millisievert, verursacht vor allem durch Computertomografie.

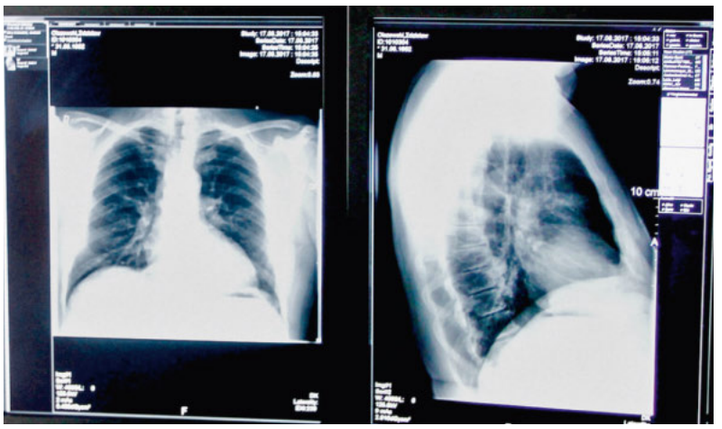
Zum Vergleich: Auf 2,1 Millisievert (mSv) schätzt das Bundesamt für Strahlenschutz die durchschnittliche jährliche Strahlenbelastung der Bevölkerung aus natürlichen Quellen (etwa aus dem All oder aus dem Bodengestein), der sie immer ausgesetzt ist und die in manchen Regionen der Welt noch deutlich höher ist.

In Deutschland wird zu viel geröntgt, urteilt das Bundesamt für Strahlenschutz. Lässt man die Aufnahmen beim Zahnarzt mal außen vor, sind die Zahlen der konventionellen Röntgenaufnahmen seit Jahren rückläufig, widerspricht Radiologin Born. Das klassische Röntgen sei bei vielen Fragestellungen immer noch die beste Diagnosemethode. „Manche Lungenentzündung wird einfach zu spät erkannt, weil der Arzt auf eine Röntgenaufnahme verzichtet.“

Dennoch: Unnötige Röntgenaufnahmen sollten aufgrund der Strahlenbelastung vermieden werden. Wer also geröntgt wird, sollte die Bilder unbedingt aufbewahren oder sich digital als DVD mitgeben lassen. Möglich ist auch, sich einen Röntgenpass ausstellen zu lassen, in dem Ort, Datum und geröntgte Körperregion notiert werden.

FOTOS: BEATE STROBEL

Am Computertomografie-Gerät: Radiologin Christine Born mit einer Patientin. Kombinierte CT/PET Geräte sehen sehr ähnlich aus.



Mit den CT-Aufnahmen kann die Radiologin die Lunge auf dem Bildschirm Schicht für Schicht betrachten und beurteilen.

FOTO: BERND WÜSTNECK/PICTURE ALLIANCE

Das MRT-Gerät ermöglicht detailgenaue dreidimensionale Bilder in jeder gewünschten Körperebene, ganz ohne Strahlenbelastung.

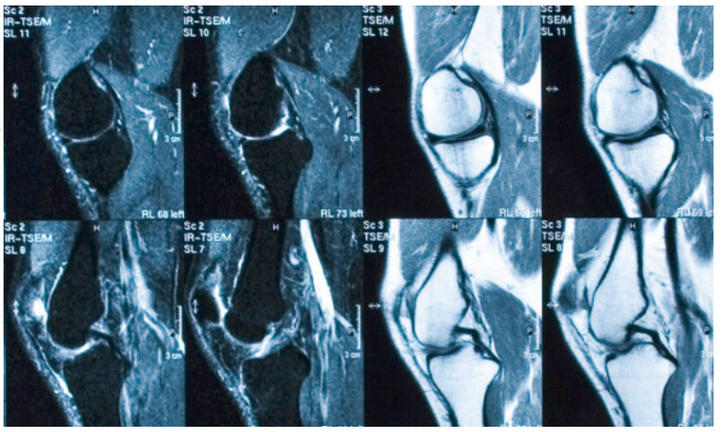


FOTO: EYETRONIC/STOCK.ADOBE.COM

Mit MRT-Aufnahmen – hier vom Knie – lassen sich gerissene Bänder, Knorpelschäden, aber auch Entzündungen und Tumore erkennen.

Computertomografie – Schichtaufnahmen

Auch die Computertomografie (CT) basiert auf der Röntgentechnologie. Schicht für Schicht werden Aufnahmen von einer Körperregion gemacht, sodass Lage und Veränderungen beispielsweise von Tumoren deutlich besser zu erkennen sind als durch klassisches Röntgen. Jedes Bild zeigt eine „Körperscheibe" von ca. ein bis fünf Millimeter Dicke. Schon wenige Millimeter große Tumore können dank CT oft erkannt werden.

Für die Aufnahme wird der Patient in eine Röntgenröhre geschoben. Da die Röntgenquelle um den Patienten rotiert, können Aufnahmen aus allen Richtungen gemacht werden, sodass sich der Arzt letztendlich ein dreidimensionales Bild von der untersuchten Körperregion machen kann. Je nachdem, welches Gewebe untersucht werden muss, erhält der Patient mitunter ein Kontrastmittel gespritzt.

Weil es so schnell geht, wird die CT oft bei Unfallopfern eingesetzt, um Art und Schwere von inneren Verletzungen zu diagnostizieren. Auch Krebsmediziner verwenden die CT, um Größe und Lage von Tumoren zu bestimmen oder um nach Metastasen (Ansiedelung von versprengten Krebszellen in anderen Körperteilen) zu fahnden.

„Die Strahlenbelastung für den Patienten ist beim CT deutlich höher als beim klassischen Röntgen", erklärt Radiologin Christine Born. Die Technik ist allerdings inzwischen so gut, dass die Strahlenbelastung bei ganz gezielten Aufnahmen, etwa der Nasennebenhöhle, fast auf Röntgenniveau gesenkt werden kann. „Nichtsdestotrotz ist die CT das Verfahren in der medizinischen Diagnostik mit der höchsten Strahlenbelastung." Eine CT-Untersuchung des Schädels etwa schlägt mit 1 bis 3 mSv zu Buche, eine Computertomografie des Bauchraums sogar mit 8 bis 20 mSv. Dennoch kann aktuell kein anderes bildgebendes Verfahren sich bewegende Organe wie das Herz oder die Lunge so gut darstellen wie die CT.

FOTO: AUREMAR/STOCK.ADOBE.COM

Die Ultraschalluntersuchung – hier von der Schulter – geht schnell und hat keine Nebenwirkungen. Allerdings lässt sich vieles nicht genau erkennen.

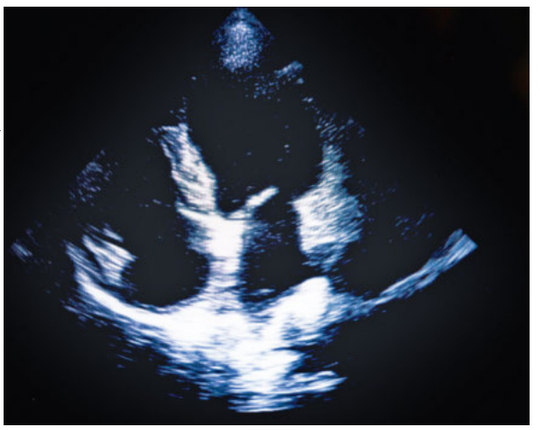


FOTO: BELISH/STOCK.ADOBE.COM

Auf Ultraschallbildern – hier vom Herzen – kann der Arzt auf dem Monitor unter anderem beobachten, wie sich die Organe bewegen.

MRT: Radiowellen in starkem Magnetfeld

Anders als klassisches Röntgen oder CT kommt die Kernspin- oder Magnetresonanztomografie (MRT) ohne Strahlung aus. Stattdessen werden durch den Einsatz von Radiowellen und einem starken Magnetfeld Bilder vom Körperinneren fabriziert.

Während der MRT-Untersuchung richten sich Wasserstoffatome in unserem Körper entlang des superstarken Magnetfeldes aus. Beim darauffolgenden Radiowellen-Impuls nehmen sie Energie auf und verändern ihre Position. Werden die Radiowellen abgeschaltet, purzeln die Wasserstoffatome in ihre alte Position zurück und geben die aufgenommene Energie dabei ab. Und genau diese Energieabgabe wird vom Computer aufgezeichnet. Da die Organe sich unterscheiden in der Anzahl der vorhandenen Wasserstoffatome, lassen sich auf den MRT-Aufnahmen die einzelnen Gewebearten gut voneinander unterscheiden.

Haupteinsatzgebiete der MRT sind die inneren Organe (Diagnostik von Entzündungsherden, Tumoren und Metastasen), die Wirbelsäule und Gelenke (Entzündungen, Arthrose, Bandscheibenvorfall), Herz (etwa bei Zweifeln an der Funktionsfähigkeit der Herzklappen, der Durchblutung des Herzmuskels und bei Verdacht auf Herzfehler), Gehirn und Rückenmark (etwa bei Verdacht auf Multiple Sklerose, Schlaganfall, Tumor oder Entzündungen).

Kontrastmittel sind nicht immer nötig

In den Fokus der Forschung geraten ist kürzlich das Kontrastmittel Gadolinium, das vor einer MRT mitunter verabreicht wird, um Muskeln und Blutgefäße besser voneinander unterscheiden zu können. Gadolinium lagert sich vor allem bei mehrfachen Untersuchungen innerhalb eines kurzen Zeitraums in Nervengewebe ab und verbleibt dort eventuell dauerhaft, ergaben Untersuchungen. Ob diese Ablagerungen aber überhaupt eine Auswirkung haben, ist aktuell unklar. Grundsätzlich, sagt Radiologin Born, sollte der Arzt aber prüfen, ob die Gabe eines Kontrastmittels überhaupt nötig ist. Viele MRT-Untersuchungen können auch ohne vonstattengehen.

Die Untersuchung im Magnetresonanztomografen, in den der Patient liegend hineingeschoben wird, kann bis zu einer Stunde dauern. Für Menschen mit Herzschrittmacher ist die MRT nicht geeignet. Wegen des starken Magneten müssen sämtliche metallische Gegenstände (Schmuck, Piercings, Uhr, etc.) vorher abgelegt werden; sie würden sich so stark erhitzen, dass es zu schweren Verbrennungen kommen kann. Auch ein frisches Tattoo kann durch mögliche Metallpartikel in der Farbe im MRT schmerzhaft heiß werden. Etwas, worüber man vielleicht nachdenken sollte, bevor man sich tätowieren lässt oder ein schwer zu entfernendes Piercing zulegt.

Während der Untersuchung heißt es: absolut stillliegen. Gegen die während der Untersuchung entstehenden lauten Klopfgeräusche bekommt der Patient Gehörschutz oder Kopfhörer (oft mit beruhigender Musik) aufgesetzt. Für Menschen mit Klaustrophobie (Angst vor geschlossenen Räumen) gibt es inzwischen auch offene Kernspintomografen, in denen man sich freier fühlt. Kleine Kinder können so auch während der Untersuchung von den Eltern besser betreut werden.

Ultraschall: schnell, aber weniger genau

In vielen Bereichen der Medizin blickt der Arzt mittels Ultraschall (auch Sonografie oder Echografie genannt) in den Körper. Ultraschallwellen werden in den Körper geschickt, ein Computer berechnet aus den zurückgeworfenen Schallwellen („Echo") schwarz-weiße Bewegtbilder. Auch wenn man Standbilder oder kurze Filmsequenzen speichern kann, findet eine Ultraschalluntersu-

Fortsetzung auf Seite 58

Einblicke in …

Fortsetzung von Seite 57

chung in der Regel „live“ statt – der Arzt interpretiert die Aufnahmen, während er den Patienten „schallt“.

Gut zu untersuchen mit Ultraschall durch die Haut hindurch (perkutane Sonografie) sind die Organe im Bauchraum, Leber, Schilddrüse; Endosonografie (Einführung des Schallkopfes in Körperöffnungen) kommt etwa bei Untersuchungen der Speiseröhre, Lunge oder der Gebärmutter zum Einsatz. Mit der Doppel-Sonografie kann der Mediziner die Funktionsfähigkeit der Blutgefäße prüfen.

Vorteil der Sonografie: Verwendet werden keine für den Patienten schädlichen Strahlen. Allerdings liefern Untersuchungen mit Ultraschall auch weniger genaue Ergebnisse als andere bildgebende Verfahren wie Röntgen, MRT oder CT. Auch deshalb wird die Sonografie vor allem für den ersten Blick des Arztes ins Körperinnere genutzt, bevor zu aufwendigeren, teureren und mitunter gesundheitlich bedenklicheren Methoden übergegangen wird.

Noch neu in der Medizin ist die Krebstherapie mit Ultraschall: Wesentlich stärkere Ultraschallwellen als bei der diagnostischen Sonografie werden hier gezielt eingesetzt, um Tumore erst stark zu erhitzen und schließlich zu zerstören. Eingesetzt wird diese Methode bereits bei der Therapie von Prostatakrebs. Ob der sogenannte hochintensive fokussierte Ultraschall (HIFU) auch bei anderen Krebsarten Erfolge zeigt, wird derzeit noch erforscht.

Radioaktive Strahler im Körper messen

Nicht Knochen oder Organe, sondern etwas eigentlich so Unsichtbares wie Stoffwechselvorgänge im Körper kann der Mediziner durch die Positronen-Emissions-Tomografie (PET) sichtbar machen. Dem Patienten wird dazu eine radioaktiv markierte Substanz (meist auf Traubenzuckerbasis) gespritzt. Dieses sogenannte Radiopharmakon reichert sich in Regionen mit hohem Zuckerverbrauch – beispielsweise Tumore – an. Das PET-Gerät misst schließlich die Strahlung, die von der radioaktiven Substanz in den einzelnen Körperbereichen abgegeben wird, ein Computer wiederum erstellt aus diesen Daten Bilder. Typische Anwendungsgebiete der PET sind etwa die Diagnose von Lungenkrebs, Schilddrüsenkrebs, Speiseröhren- und Eierstockkrebs. Auch zur Therapiekontrolle bei diversen Krebsarten und Metastasen wird die PET oft eingesetzt, da dieses Verfahren schon kleinere Stoffwechselveränderungen anzeigt.

Bei der PET werden nur sehr schwach strahlende Substanzen verwendet. „Das Risiko für Schäden durch die ionisierende Strahlung bei einer PET ist damit zwar gering, aber auch nicht gleich Null“, urteilt das Deutsche Krebsforschungszentrum.

Ähnlich wie die PET arbeitet die Szintigrafie mit schwach radioaktiven Substanzen (Radionuklide), die dem Patienten in die Blutbahn injiziert werden. Auch hier reichert sich der Stoff in den Zielorganen (beispielsweise Schilddrüse, Herz, Leber, Niere oder Lunge, aber auch Knochen) an. Eine sogenannte Gamma-Kamera erfasst die von den Radionukliden ausgehende Strahlung und erstellt daraus ein Bild („Szintigramm“).

Auch die Szintigrafie wird eingesetzt, um Funktionsstörungen bestimmter Organe zu entdecken; gerade bei der Untersuchung der Schilddrüse ist das Szintigramm (etwa bei Verdacht auf Überfunktion oder Zysten) quasi unschlagbar. Oder aber der Nuklearmediziner fahndet damit nach Tumoren und Metastasen. Auch eine Lungenembolie oder Herz-Kreislauf-Erkrankungen können mittels Szintigrafie diagnostiziert werden.

Welches bildgebende Verfahren letztendlich das richtige Mittel der Wahl ist, weiß der Radiologe. Er kennt die Vorzüge und Nachteile der Technik und kann einschätzen, welches Gerät ihm was verrät. „Ausschlaggebend ist die Fragestellung, mit der der Patient überwiesen wird“, sagt die Münchner Radiologin Christine Born. Aber auch andere Randbedingungen fließen in die Entscheidung ein, etwa Allergien gegenüber Kontrastmitteln oder Ängste des Patienten vor engen, geschlossenen Räumen. Die Radiologin versucht dann, mithilfe der Technik im Körperinneren eine Antwort zu finden. Das habe durchaus etwas von Detektivarbeit an sich, sagt sie, und ja: „Genau deshalb habe ich den Beruf gewählt.“ **Beate Strobel**

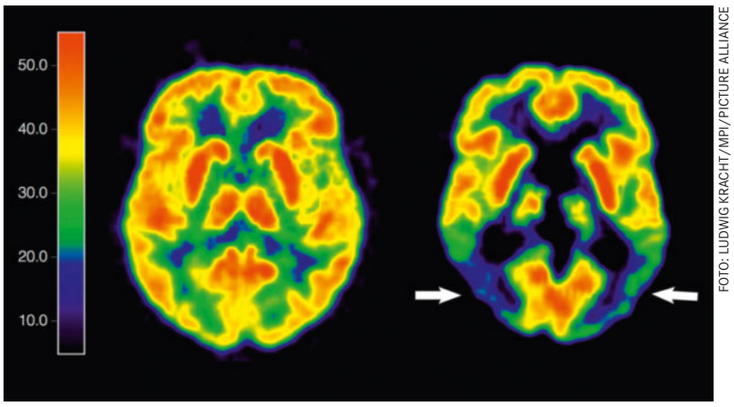


FOTO: LUDWIG KRACHT/MPI/PICTURE ALLIANCE

Die Aufnahmen mit der Positronen-Emissions-Tomografie (PET) zeigen den Zuckerstoffwechsel im gesunden Gehirn (l.) und einem mit Alzheimer-Krankheit (r.). Bereiche mit hohem Stoffwechsel sind rot, orange und gelb, mit niedrigem Stoffwechsel grün, blau, lila und schwarz. Die Pfeile markieren Bereiche mit vermindertem Stoffwechsel im Schläfen-/Scheitellappen der Hirnrinde. Diese sind typisch für frühe Stadien der Alzheimer-Demenz.

Ständig werden neue Anwendungen gefunden

Die Potenziale bildgebender Verfahren in Diagnose aber auch in der Therapie sind noch lange nicht ausgeschöpft. Ärzte entdecken immer neue Möglichkeiten, die eine bessere und sanftere Behandlung von Krankheiten ermöglichen. Bis die Krankenkassen die Kosten übernehmen, muss der Nutzen nachgewiesen sein. Das dauert immer einige Zeit. Zwei aktuelle Beispiele:

Mit PET/CT Tumore besser therapieren

Die PET/CT, eine Kombination aus Positronen-Emissions-Tomografie (PET) und Computertomografie (CT) kann Krebsmetastasen im Körper zuverlässig aufspüren. Die CT lokalisiert Krebsgeschwüre, die PET zeigt, ob die Tumore lebendige Zellen enthalten und vital sind. Moderne PET/CT-Geräte kombinieren beide Untersuchungen. Das erspart den Krebspatienten einen zusätzlichen Termin. Die Ärzte können zudem kleinste Tumorreste und auch Neubildungen erkennen – so kann frühzeitig und systematisch therapiert werden.

Amerikanische Experten halten die Untersuchung bei Brustkrebs, Darmkrebs, Lymphdrüsenkrebs, Lungenkrebs, Melanom, Sarkom (Weichteil- oder Knochenkrebs) und Kopf-Hals-Tumoren zwingend erforderlich, um den Behandlungserfolg zu beurteilen und Rückfälle zu suchen. „In rund der Hälfte der Fälle resultiert aus der PET/CT eine Änderung der ursprünglich geplanten Therapie, was in Anbetracht der steigenden Therapiekosten die PET/CT auch wirtschaftlich rechtfertigt“, betont der Nuklearmediziner Professor Ken Hermann von der Uniklinik Essen. Die gesetzliche Krankenkasse übernimmt in Deutschland die PET/CT nur bei Hals-Kopf-Tumoren, bei Lungenkarzinomen und teilweise bei Lymphomen. Der Berufsverband Deutscher Nuklearmediziner fordert ihren Einsatz insbesondere zum frühzeitigen Erkennen von Rückfällen bei Brustkrebs und schwarzem Hautkrebs. Denn je früher eine zuverlässige Erfolgskontrolle der Brustkrebsbehandlung vorliegt, desto besser können unwirksame Therapien ab- und wirksame Behandlungen fortgesetzt werden.

Ultraschall entfernt Schilddrüsenknoten

Etwa ein Drittel der Erwachsenen in Deutschland leidet unter Schilddrüsenknoten. 95 Prozent davon sind gutartig. Werden die Knoten aber zu groß und lösen Beschwerden aus oder führen sie zu einer starken Schilddrüsenüberfunktion, wird häufig operiert. Bei heißen Knoten gibt es auch die Radiojodtherapie. Mit dem hochfokussierten Ultraschall gibt es nun eine Alternative zur diesen Therapien.

Das Verfahren wird schon länger eingesetzt, beispielsweise um Metastasen in der Leber zu zerstören oder gutartige Tumoren in der Brust, sogenannte Fibroadenomen, zu entfernen. Neue Geräte erlauben nun auch eine Anwendung in der Halsregion.

Für die Behandlung fährt der Ultraschallkopf den Knoten Punkt für Punkt ab und beschießt dabei das Gewebe mit den gebündelten Strahlen, die in der Tiefe eine Hitze von bis zu 80 °C entwickeln. In der Folge sterben die Zellen ab. „Die Behandlung kann pro Knoten eine Stunde dauern“, so der Bremer Nuklearmediziner Norbert Czech. Eine örtliche Betäubung ist nicht erforderlich. Die Patienten empfinden die Ultraschallschüsse als Nadelstiche.

Vor der Behandlung wird mit einer Ultraschalluntersuchung, einer Schilddrüsenszintigrafie und Laborwerten geklärt, dass es sich um gutartige Knoten handelt. Gutartige Knoten werden in „kalt“ und „heiß“ unterschieden. Kalte Knoten stellen kaum noch Hormone her, heiße Knoten zu viel davon. Beide Varianten kommen für die fokussierte Ultraschall-Behandlung infrage.

Die AOK Bremen/Bremerhaven übernimmt bereits die Kosten des Verfahrens, mit anderen Krankenkassen werden derzeit Gespräche geführt. Acht Zentren in Deutschland bieten die Therapie bisher an. Adressen finden Interessierte unter: www.echotherapie.com.