

Innovative Verfahren

Blicken Sie noch durch?

Geringere Strahlenbelastung, Auflösung feinsten Strukturen und die Visualisierung dynamischer Prozesse bis hinunter auf die molekulare Ebene kennzeichnen den Fortschritt der Radiologie.

Das konventionelle Röntgenbild bleibt sicher als Standardverfahren unverzichtbar, doch aus Sicht des Technologen besetzt es nur noch eine Nische im umfangreichen Repertoire moderner Bildgebung. Der beliebte Medizinerscherz, in diagnostisch aussichtslosen Situationen „Mensch in zwei Ebenen“ anzufordern, gelangt in technische Reichweite, denn die neuesten Verfahren erlauben in der Tat den Durchblick durch beinahe den gesamten Körper des Patienten- in drei Dimensionen und zeitlich aufgelöst. Der Computer spielt dabei zunehmend die Hauptrolle.

Computer-Tomografie

Die hochauflösende Computertomografie (High-Resolution-CT, HR-CT) wird beispielsweise in der Abklärung von Lungenerkrankungen immer bedeutsamer. Mit der HR-CT können Nachteile wie die Überlagerung anatomischer und pathologischer Strukturen vermieden werden.

Technisch gesehen handelt es sich um die Kombination dünner CT-Aufnahmen von 1 bis 2 mm Schichtdicke, die in kurzen Zeitabständen von weniger als einer Sekunde angefertigt und mit rechnerischen Rekonstruktionsverfahren übereinander gelegt werden.

Das entscheidende Kriterium der HR-CT ist die hohe Auflösung mit einer Kantenlänge der einzelnen Bildpunkte von weniger als 1 mm. Durch Schichtung im Abstand von 1 bis 2 cm wird die Strahlenbelastung

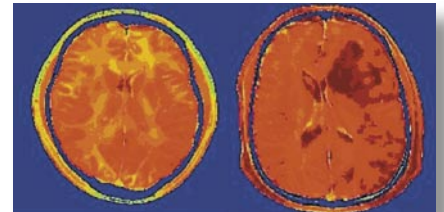
für den Patienten wesentlich verringert. Ein weiterer Vorteil: Die HR-CT kommt ohne Kontrastmittelgabe aus.

Ein Trend in der Computer-Tomografie geht dahin, dynamische Prozesse im Körper zu verfolgen (funktionelle CT), so z.B. den durch Kontrastmittel sichtbar gemachten Blutfluss in immer feineren Gefäßstrukturen. Eine Anwendung in der onkologischen Forschung ist die Erkennung maligner Gefäßneubildungen. Diese Neoangiogenese wird durch verschiedene Wachstumsfaktoren stimuliert, ermöglicht ein ungebremstes Tumorwachstum und ist deshalb einer der wichtigsten Ansätze der so genannten molekularen Tumorthera- pie-ausführlich beschrieben in der letzten Ausgabe des Trillium-Report. Man erkennt die maligne Gefäßbildung über Parameter der Perfusion und Gefäßpermeabilität.

Bei Wiederholungsuntersuchungen – z.B. im Rahmen der Tumorthera- pie-Kontrolle - muss der Nutzen der funk- tionellen CT gegen das Strahlenrisiko abgewogen werden. Hier wie auch bei anderen funktionellen Fragestellungen eignet sich die Magnet-Resonanz- Tomografie (MRT) oft besser.

Magnet-Resonanz-Tomografie

Diese Technik kommt ohne Strahlen- belastung und radioaktive Substanzen aus und ist deshalb schonender als das CT. Der Patient wird in ein starkes Magnetfeld mit einer Feldstärke von 1,5 Tesla gelegt. Ein zusätzliches schwaches Feld regt die



Wassergehalt im Gehirn: Links normal, rechts erhöht bei Hirntumor (Quelle: www.fz-juelich.de).

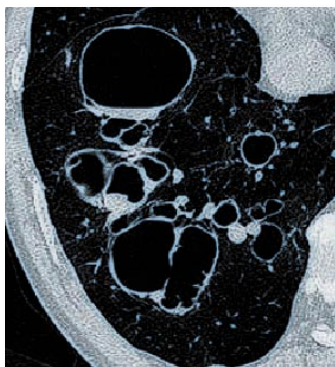
Protonen der Wassermoleküle im Körper an. Beim Abschalten des Magnetfelds geben die Protonen magnetische Signale ab. Man erkennt auf diese Weise Areale mit unterschiedlichem Wassergehalt und kann so flüssigkeitshaltige, also weiche Gewebestrukturen differenzieren.

Problem ist bislang, dass das MRT-Signal nur qualitative Informationen liefert, nicht aber eine wirkliche Messung des Wassergehalts ermöglicht. Forscher des Kernzentrums in Jülich stellten im Mai erstmals ein quantitatives Verfahren vor, das sich für die Beurteilung von Hirn- ödemen eignet. Bislang mussten Patienten hierfür mehrere Stunden regungslos im Magnetresonanz-Tomografen liegen. Die Qualität des Bildes verschlechterte sich dabei mit jeder Bewegung wie bei einem verwackelten Photo. Die neue Methode liefert bereits nach 20 Minuten präzise „Wasserkarten“ des Gehirns. Die Stärke des Magnetfelds soll nach Auskunft der Entwickler in Zukunft bis etwa 4 Tesla erhöht werden.

Molekulare Bildgebung

„Pet“ heißt auf englisch eigentlich Schoßtier, aber für den Nuklearmedizi- ner könnte PET als Positronen-Emissions- Tomografie bald zum neuen Maskottchen werden. Mit dieser zukunftssträchtigen Neuentwicklung der Bildgebung kann man die biochemischen Eigenschaften von Geweben als dynamische Prozesse auf molekularer Ebene sichtbar machen – eine faszinierende Disziplin im Grenzbereich zwischen Radiologie und Biochemie ist im Entstehen.

Bestimmte Radioisotope strahlen beim Zerfall Positronen, das Gegenstück der Elektronen, aus. Beim Zusammentreffen von Positronen mit Elektronen wird ihre



Während die Lunge auf einem herkömmlichen Röntgenbild (rechts) nur als schwarze Fläche erscheint, ermöglicht die HR-CT (links) die detailgenaue Beurteilung des Lungengerüsts, des Tracheobronchialbaums und der Bronchien sowie der Pleura.

Materie ausgelöscht, und es entstehen zwei Photonen, die als Gammastrahlung mit Hilfe ringförmig um den Patienten angeordneter Wismut-Germanium-Detektoren messbar sind. Die Position der in den Körper injizierten Strahlungsquelle kann dann auf komplexe Weise durch Überlagerung von Zerfallslinien berechnet werden, so dass ein Bild der Radioaktivitätsverteilung in einem Organ oder sogar im gesamten Körper entsteht.

Der Einsatz dieses Verfahrens hängt vorläufig noch von zahlreichen Randbedingungen, insbesondere der Verfügbarkeit eines Teilchenbeschleunigers, ab. In ihm müssen nämlich die der „Antimaterie“ nahe stehenden Positronenstrahler zuerst einmal erzeugt werden. Dank der genialen Erfindung des Zyklotrons durch Lawrence und Livingstone (1932) ist es heute nicht mehr nötig, die Atome im elektrischen Feld über Hunderte von Metern zu beschleunigen. Kompakte Geräte, in denen sie auf spiralförmigen Kreisbahnen beschleunigt werden können, haben nur noch Abmessungen von wenigen Metern.

PET-Tracer für Forschung und Routine

Isotop	Halbwertszeit (min)
Sauerstoff-15	2,1
Stickstoff-13	10,0
Kohlenstoff-11	20,4
Fluor-18	109

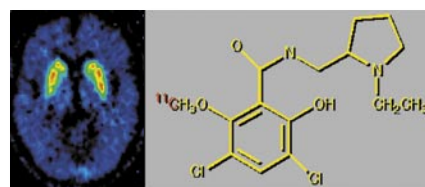
Ein zweites Problem ist die Kurzlebigkeit von Positronenstrahlern. Bei Halbwertszeiten von wenigen Minuten wie z.B. im Fall von Sauerstoff-15 und Stickstoff-13 müssen Produktion des Isotops, chemischer Einbau in ein Radiopharmakon, Injektion in den Körper und Messung Hand in Hand gehen, was eigentlich nur unter Laborbedingungen im Tierversuch möglich ist. Schon besser eignet sich Kohlenstoff-11, der mit 20 Minuten Halbwertszeit eine Stunde und länger eingesetzt werden kann. Da Kohlenstoff der Grundbaustein aller organischen Moleküle ist, kann man damit eine Vielzahl natürlicher Substanzen markieren und ihre Verteilung im Organismus messen. So erhält man beispielsweise mit C-11-markiertem Raclopride, das an D2-Rezeptoren im Gehirn bindet, eine hervorragende Darstellung der Areale, in denen der Botenstoff Dopamin wirkt. Die Messungen sind quantitativ auswertbar, d.h. hohe Signale sprechen für hohe Konzentrationen an den Rezeptoren und umgekehrt. Dopamin steuert beispielsweise das Essverhalten bei Fettleibigkeit und ist an neurologischen und psychischen Krankheiten wie M. Parkinson und Schizophrenie beteiligt.



Bei der Positronen-Emissions-Tomografie mit Fluor-markierter Deoxy-Glukose erkennt man Gewebe mit hohen Stoffwechselraten, hier z.B. die Knoten eines bösartigen Lymphoms.

Ganz besonders attraktiv ist das Isotop Fluor-18 mit einer Halbwertszeit von über 100 Minuten. Es kann nämlich auch in Krankenhäusern eingesetzt werden, die kein eigenes Zyklotron besitzen. Auch wenn Teilchenbeschleuniger noch immer zu den Prestigeobjekten der Bundesländer und ihrer Forschungseinrichtungen gehören, so findet sich mittlerweile fast in jeder Groß- und Universitätsstadt eine geeignete Quelle. Sofern diese innerhalb von ein bis zwei Stunden erreichbar ist, kann die Einrichtung einer PET-Abteilung erwogen werden.

Nuklearmediziner injizieren den langlebigen Strahler bevorzugt in Form der 18-Fluor-markierten chemischen Verbindung Deoxy-Glukose (FDG), die sich im Stoffwechsel wie normaler Traubenzucker verhält. Man erhält eine Art „Landkarte des Zuckerverbrauchs“. Er ist u.a. in Krebsgeweben und Entzündungsherden besonders hoch. So kann man z.B. Knoten eines Hodgkin-Lymphoms oder verstreute Metastasen eines Karzinoms entdecken. Sogar das Ansprechen eines Tumors auf eine Chemotherapie lässt sich mit quantitativen Vorher-Nachher-Vergleichen verfolgen. So kann man gegebenenfalls dem Patienten eine unwirksame, risikoreiche Behandlung ersparen.



C-13-Positronenstrahler erlauben faszinierende Einblicke in beinahe alle Stoffwechselwege, sind aber vorläufig nur für Forschungszwecke einsetzbar.

Da die räumliche Auflösung der PET-Technik nicht besonders gut ist, wird sie neuerdings mit dem CT kombiniert. Das Ergebnis sind „Fusionsbilder“, die die Stärken beider Verfahren vereinen: Dynamische Stoffwechselprozesse können so durch hochauflösende CT-Bilder den Gewebestrukturen im Körper besser zugeordnet werden. Das erste deutsche Gerät (und das zweite in Europa) wurde 2002 am Universitätsklinikum Essen in Betrieb genommen. Inzwischen sind weltweit einige Hundert platziert. Fusionsverfahren gibt es ansonsten auch für CT und MRT sowie für PET und MRT.

Virtuelle Welten

Traditionelle Röntgenaufnahmen stellen ein direktes Abbild der durch den Körper hindurchtretenden Strahlen dar, während CT, MRT und PET rein virtuelle Bilder als Ergebnis komplexer Berechnungen liefern. Bildgebung wird somit immer mehr eine Frage der Signalverarbeitung im Computer - die Technologie selbst, mit der die Signale erzeugt wurden, tritt in den Hintergrund.

Besonders eindrucksvoll ist die so genannte virtuelle Endoskopie, bei der anstelle der bisher üblichen flächigen Bilder auf dem Computerbildschirm der Eindruck dreidimensionaler Räume erweckt wird. So kann man Körperhöhlen wie zum Beispiel das Darmlumen per Mausklick gleichsam wie in einem Videospiel durchfahren. Auf dem Congress of Head and Neck Radiology, der im September letzten Jahres in Frankfurt stattfand, wurden kombinierte CT/MRT-Bilder in 3D-Darstellung als intraoperative Navigationssysteme an der Schädelbasis vorgestellt. Ein routinemäßiger Einsatz dieser Technologie in der Arztpraxis ist aber noch nicht in Sicht - die direkte Endoskopie bleibt auf absehbare Zeit der Standard. ■

Martin Roos
Valencia
maroos@compuserve.com



Sonothek: Ultraschallgeräte verschiedener Hersteller und Preisklassen im direkten Vergleich.

Vom Silberfilm zum Ultraschall

Der Sonoring Deutschland und seine Erfolgsstory

Wer sich unter einer Sonotheke eine besonders klangvolle Diskothek vorstellt, liegt falsch.

In den 22 deutschen Sonotheken kann man vielmehr Sonografie-Geräte verschiedener Hersteller vom einfachen Schwarz-Weiß-Gerät bis zum Farbdoppler direkt vergleichen und testen, ehe man sich zu einer Investition entschließt.

Rainer Schmitt-Haverkamp ist ein kreativer Tüftler, der das Motto „Innovationsmanagement in der Bildgebung“ geradezu persönlich verkörpert. Der Geschäftsführer und Gesellschafter der Sonoring Deutschland GmbH mit rund 40 Mio. Euro Umsatz übernahm vor 24 Jahren den Vertrieb von Röntgentüten von seinem Schwiegervater und erweiterte ihn durch Röntgenfilme zu einem ersten „Systemgeschäft“. Damals, Anfang der 80er Jahre, hielt gerade die Qualitätskontrolle im Bereich der Radiologie Einzug. Sie brachte viele Ärzte in ernsthafte Schwierigkeiten, den agilen Kaufmann aber auf eine innovative Geschäftsidee.

„Weder Hersteller noch Anwender waren auf die neue Herausforderung so richtig vorbereitet“, erinnert sich Schmitt-Haverkamp, „also nahm ich die Sache auf Anregung der Gesellschaft für Strahlenforschung in München-Neuherberg selbst in die Hand.“ Er kaufte in den USA in Plexiglas gegossene, menschliche Skelette, die als Phantome mit realistischen Aufnahmewerten von Schädel, Thorax, Lendenwirbelsäule usw. dienen, und begann, die Aufnahmetechnik fabrikatübergreifend zu vergleichen und zu standardisieren. Er spielte mit Belichtungs-

werten und Filmmaterialien und konnte durch Optimierung der Bedingungen zum Teil bis zu 75% Strahlendosis einsparen. Das kam bei den Anwendern gut an. Mit diesem Aufnahmetechnikvergleich war auch die Idee geboren, die Qualität und Bildcharakteristik der verschiedenen Filmhersteller vergleichbar zu machen, was seinerzeit ein absolutes Novum war. Dieser Gedanke zog sich ab da durch seinen gesamten weiteren Berufsweg.

Nachdem Schmitt-Haverkamp bei Ärzten die wesentlichen Fehlerursachen für das Nichtbestehen der Qualitätskontrolle erkannt und eliminiert hatte, nahm er die Qualität der Röntgenfilme namhafter Hersteller wie 3M, Agfa, Du Pont, Fuji, Kodak, Konika usw. unter die Lupe. Nachdem der Röntgenfilm mehr und mehr durch elektronische Bildgebungsverfahren Konkurrenz bekam, entwickelte sich 1985 die heutige Geschäftsgrundlage für den Sonoring. „Als



Vivid – GE-Farbdoppler mit 70% Marktanteil in der Kardiologie.



Voluson 730 – ein 3D-/4D-Gerät des Weltmarktführers GE.



Toshiba Famio – ein revolutionäres Schwarz-Weiß-Gerät mit extrem hoher Auflösung.

die Ultraschalldiagnostik immer mehr den Einsatzbereich der Arztpraxis eroberte“, erläutert Schmitt-Haverkamp den Hintergrund, „nahm die Zahl der Anwendungsmöglichkeiten und Anbieter sowie die Komplexität der Systeme schlagartig zu, so dass es für die Ärzte schwierig wurde, den Überblick zu behalten“.

Die Sonografie eröffnete zudem eine völlig neue Perspektive, weil man das Ergebnis der Untersuchung ohne Umweg über die Filmentwicklung sofort vor Augen hatte. Da lag die Analogie mit einem Fernsehgeschäft fast auf der Hand, und so wurde 1985 die Idee der Sonotheke geboren, die inzwischen 22 mal deutschlandweit umgesetzt wurde. Das Deutsche Ärzteblatt vom 10. April 2004 beschreibt sie in lobenden Tönen: „Von geschultem Personal betreut geht der Arzt von Gerät zu Gerät mit demselben Probanden ... Wer sich einen Fernseher kaufen will, geht ja auch nicht in ein Geschäft, in dem nur ein Fabrikat zur Auswahl steht.“ Und Probestellungen in der Praxis sind nicht nur zeitraubend, sondern stören auch den Arbeitsablauf und es fehlt der unerlässliche Direktvergleich.

Gerade im visuellen Bereich gebe es kein absolutes technisches Qualitätsmaß wie z.B. die Pixelgröße, ergänzt Schmitt-Haverkamp im Interview. „Was der Eine für gestochen scharf hält, kann dem Anderen womöglich zu klein und deshalb verschwommen erscheinen. Ein Brillenträger wählt oftmals eine andere Betrachtungsentfernung als ein Normal-



Die Sonoring-Mannschaft auf der MEDICA 2003.

sichtiger usw. Erst der direkte Vergleich unter Bedingungen, die denen in der eigenen Praxis ähnlich sind, ermöglicht es, eine individuelle Auswahl zwischen den verschiedenen Fabrikaten, Modellen und Preisklassen zu treffen.“ Bei einer Preisspanne von etwa 10.000 bis 80.000 Euro will diese Auswahl wohl überlegt sein. Eine Fehlentscheidung kann fatale Folgen haben. Wer es sich übrigens nach dem Kauf doch noch anders überlegt, kann das Gerät in den ersten zwei Wochen umtauschen.

Zum Praxisvergleich stehen derzeit u.a. Neugeräte von Toshiba und GE zur Verfügung. Zusätzlich vertreibt der Sonoring auch Gebrauchtgeräte aller Fabrikate. Diese können beim Neukauf in Zahlung gegeben, an Kollegen weiter vermittelt oder auch ins Ausland verkauft werden. Der Gebraucht-

gerätepool der Sonoring Deutschland GmbH ist der größte in Europa.

Die Initiative ist in Deutschland bislang einmalig. Mit acht Gesellschaftern, 35 Mitarbeitern und 22 Sonotheken hat das Unternehmen inzwischen eine eindrucksvolle Größe erreicht. Der ausschließlich in Deutschland aktive Sonoring hat bei Schwarz-Weiß-Geräten einen Marktanteil von knapp 40%, bei Farbdopplern rund 20%, Tendenz steigend. Insgesamt sind das immerhin fast 2000 Geräte pro Jahr.

Neun von zehn Kunden sind niedergelassene Ärzte. Die Älteren bauen weiterhin bevorzugt auf Schwarz-Weiß-Geräte, die Jüngeren entscheiden sich meist für den Farbdoppler. Ganz besonders laden die Sonotheken die Ärzte zur Zeit ein, das neue Modell Famio von Toshiba in ihre Vergleiche einzubeziehen. Es sei bezüglich Bildqualität und Preislage ein großer Wurf, aber „wie gesagt, das muss jeder nach seinen persönlichen Prioritäten selbst entscheiden“, relativiert Schmitt-Haverkamp seine Aussage. Sehr gefragt sind auch die in Kooperation mit den Herstellern durchgeführten Workshops für Kardiologen und Gynäkologen in der 3D- und 4D-Technik.

Was der Unternehmer sich wünschen würde, wäre eine stärkere Inanspruchnahme der Sonotheken durch Krankenhäuser, denn auch dort sitzt das Geld für Technologie nicht mehr locker und Fehlinvestitionen können ebenso fatale Folgen haben wie im niedergelassenen Bereich. Nicht nur Ärzte sollen sich angesprochen fühlen, auch Medizintechniker sind herzlich eingeladen und selbstverständlich diejenigen, die die Investitionsentscheidungen letztlich fällen müssen. ■

gh



Sonoring: Mit 22 Anlaufstellen in ganz Deutschland vertreten.



Sonoring Deutschland GmbH
Geschäftsführer:
Rainer Schmitt-Haverkamp
Mobil: 0171-6044100
Fax: 02301-1886-99
r.schmitt-haverkamp@t-online.de
www.sonoring.de