

Tomographische Funktionsdiagnostik in der Nuklearmedizin

Harald Schicha und Udalrich Büll

Bildgebende Verfahren wie Sonographie, Röntgen, Computertomographie (CT) sowie Kernspintomographie (KST) erfassen die Morphologie und deren krankhafte Veränderungen. Im Gegensatz hierzu werden durch szintigraphische Verfahren Funktionsprozesse sichtbar gemacht und zum Teil auch quantitativ erfaßt (abbildungsunterstützte Funktionsdiagnostik). Rein bildgebende Verfahren sind für Diagnose und Differentialdiagnose zahlreicher Krankheiten essentiell; nuklearmedizinische Verfahren ergänzen sie durch nichtinvasive Erfassung regionaler Funktionsprozesse, auch unter Belastungsbedingungen (Perfusion und Perfusionsreserve, Funktion und Funktionsreserve, Stoffwechsel und Stoffwechselreserve). Damit liefert die nuklearmedizinische Funktionsdiagnostik neben differentialdiagnostischen Beiträgen die Möglichkeit, Erkrankungen in ihrem (funktionellen) Schweregrad zu beurteilen und zudem eine quantitative Verlaufs- und Therapiekontrolle vorzunehmen.

Emissions-CT (PET und SPECT)

Die Darstellung von Funktionsbildern mit emissionstomographischen Verfahren hat zu einer weiteren Verbesserung von Aussagefähigkeit und Anschaulichkeit geführt, da der unmittelbare Vergleich zwischen „Funktion“ (PET und SPECT) und „Morphologie“ (CT, KST) möglich wird.

Die Positronen-Emissions-Tomographie (PET) ist bisher wegen des hohen technischen Aufwandes und der hohen Kosten noch auf wenige Zentren begrenzt und damit klinisch noch nicht allgemein einsetzbar. Sie bietet den Vorteil, regionale Funktionsprozesse unter Verwendung von physiologischen Tracern (zum Beispiel mit ^{11}C , ^{13}N und ^{15}O markierte Fettsäuren, Glukose, Aminosäuren usw.) quantitativ (zum Beispiel in ml/min/100 g oder in mmol/min/100 g Gewebe) zu messen und abzubilden.

Im Gegensatz hierzu ist die Single-Photonen-Emissions-Computer-Tomographie (SPECT) inzwischen nahezu allgemein verfügbar. Sie erfolgt mit einer konventionellen Gamma-Kamera, die eine Rotationseinrichtung besitzt. Während einer Rotation um

den Patienten werden 30 bis 60 Einzelbilder aufgenommen und hieraus dann tomographische Schnitte der Aktivitätsverteilung (= der regionalen Funktion) in beliebigen Ebenen rekonstruiert.

Eine SPECT-Aufnahme dauert etwa 15 bis 30 Minuten. Eine echte Quantifizierung wie mit PET kann SPECT derzeit noch nicht liefern, vielmehr werden krankhafte Prozesse durch Änderung der Radionuklidkonzentration im zeitlichen Verlauf, unter unterschiedlichen physiologischen Bedingungen sowie im Seitenvergleich beziehungsweise durch Bestimmung von Ausmaß und Ausdehnung von Defekten beurteilt. Andererseits sind SPECT-fähige Gamma-Kameras nicht nur in großen nuklearmedizinischen Zentren, sondern auch in kleineren Krankenhäusern und teilweise auch in nuklearmedizinischen Praxen verfügbar. Hierbei werden die gleichen allgemein verfügbaren Radiopharmazeutika benutzt wie bei der sonst üblichen planaren Szintigraphie, also markiert mit $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{201}Tl , ^{123}I , ^{111}In und andere.

Klinische Anwendungsgebiete der SPECT

Da für SPECT-Aufnahmen eine angemessene Zeit (15 bis 30 Minuten) benötigt wird, können hiermit solche nuklearmedizinische Funktionsuntersuchungen durchgeführt werden, denen eine langsame Stoffwechselkinetik zugrunde liegt oder die auf „eingefrorenen Funktionsbildern“ beruhen. In einigen Bereichen stellt die SPECT-Aufnahme bereits primär die Methode der Wahl dar (zum Beispiel Myokard, Gehirn), in anderen Bereichen wird die SPECT je nach klinischer Fragestellung zusätzlich zur planaren Szintigraphie von verdächtigen Körperabschnitten angefertigt (zum Beispiel Tumor-, Skelett-, Leberszintigraphie und andere).

■ **Myokard-SPECT:** Die Myokard-Szintigraphie mit $^{201}\text{Thallium}$ oder neuerdings mit $^{99\text{m}}\text{Technetium}$ markiertem Methoxyisobutylisonitril (= MIBI) gestattet eine Erfassung der regionalen Mikrozirkulation des Myokards unter Belastungs- und Ruhebedingungen sowie seiner Vitalität. Hierbei erlaubt die SPECT eine überlagerungsfreie Darstellung aller Myokardabschnitte des linken Ventrikels in beliebigen Schnittebenen mit einer Schichtdicke von sechs bis zwölf mm. Folgende Indikationen ergeben sich für die Myokard-SPECT:

1. Nachweis oder Ausschluß einer koronaren Herzkrankheit (KHK): Lediglich bei dieser allgemeinen Indikation ist die konventionelle planare Szintigraphie der SPECT als weitgehend gleichwertig anzusehen. Bei allen differenzierteren Fragestellungen ist die SPECT in ihrer Aussagefähigkeit überlegen und daher vorzuziehen:

2. Nach Infarkt: Nachweis von Lokalisation, Ausdehnung und Vitalität des verbliebenen Myo-

kards, ferner von begleitenden belastungsabhängigen Ischämien.

3. Nach Koronarangiographie, zum Beispiel zur Beurteilung der hämodynamischen Signifikanz von Stenosen, von grenzwertigen Stenosen, technisch unzureichend dargestellten Stenosen, Kollateralen, Muskelbrücken, Koronarmaßbildungen, Mikroangiopathien, Spasmen.

4. Verlaufs- und Therapiekontrolle: antiangiöse Medikation, Thrombolyse nach akutem Infarkt, Bypassoperation, Angioplastie.

Je nach lokalen Gegebenheiten werden derzeit 70 bis 90 Prozent der verfügbaren SPECT-Kapazitäten für die Myokardszintigraphie eingesetzt.

■ **Hirn-SPECT:** Hierzu werden mit ^{99m}Tc markierte lipophile Substanzen (zum Beispiel HMPAO = Hexamethylpropylenaminnoxim) benutzt, die sich nach intravenöser Injektion abhängig von der regionalen Durchblutung (rCBF) anreichern. Zusätzlich kann das zerebrale Blutvolumen (rCBV) dargestellt werden. Durch SPECT des rCBF können Einschränkungen der regionalen zerebralen Perfusion sichtbar gemacht werden.

Dies ist zur Abgrenzung irreversibel geschädigten Hirngewebes nach Infarkt von Bedeutung, jedoch auch zur Erkennung von (zum Beispiel transitorischen) zerebralen Durchblutungsstörungen, die noch nicht zu morphologisch (CT, KST) faßbaren Läsionen geführt haben. Durch SPECT von rCBF und rCBV (parametrische Funktionsszintigraphie, SPECT-Darstellung des Quotienten aus rCBF und rCBV) sind Einschränkungen der zerebralen Perfusionsreserve bereits erkennbar, wenn sie klinisch noch nicht manifest geworden sind.

Weitere Indikationen zur Hirn-SPECT betreffen die Herdsuche bei Epilepsie und die Erkennung des Morbus Alzheimer. Neue radiopharmazeutische Entwicklungen (etwa mit ^{99m}Tc und ^{123}I markierbare Glukose oder Rezeptorsubstanzen) können in Zukunft möglicherweise weitere Anwendungsgebiete eröffnen.

■ **Tumor-SPECT:** Bei der Szintigraphie mit metabolischen Vorläufern endokriner aktiver Tumoren (wie Neuroblastom, Phäochromozytom, medulläres Schilddrüsenkarzinom, Apudome) ist die SPECT zum Tumornachweis sensitiver als die herkömmliche planare Szintigraphie und zudem zur Tumorklassifikation besser geeignet. Sie wird daher bei diesen seltenen Fragestellungen bereits routinemäßig eingesetzt. Auch bei der Szintigraphie mit radioaktiv markierten monoklonalen Tumorantikörpern, die sich kurz vor der klinischen Einführung befindet, ist die zusätzliche SPECT verdächtiger Areale von Vorteil.

■ **Skelett-SPECT:** Ergänzend zur planaren Skelettszintigraphie kann SPECT gezielt eingesetzt werden, um schwer zu erfassende Areale besser zu beurteilen. Dies betrifft den Nachweis entzündlicher oder tumoröser Veränderungen im Bereich

des Gesichtsschädels und der Schädelbasis, den Nachweis aseptischer Knochennekrosen (zum Beispiel Morbus Perthes) und der Vitalität von Knochentransplantaten sowie Nachweis und Ausdehnung entzündlicher Gelenkveränderungen, zum Beispiel der Iliosakral-, Knie-, Temporomandibulargelenke.

■ **Leber-SPECT:** Bei der Differentialdiagnose intrahepatischer Raumforderungen (maligner Prozeß, Hepatom, follikulär-noduläre Hyperplasie, Hämangiom) ist die SPECT, die mit gallengängigen und blutmarkierenden Radiopharmazeutika durchgeführt wird, in der Lage, Herde ab 1,5 bis 2,0 cm Durchmesser mit einer Wahrscheinlichkeit von 90 Prozent richtig zuzuordnen.

Schlußfolgerungen

Die angeführten Beispiele erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Häufigstes Anwendungsgebiet für die SPECT ist derzeit die Myokardszintigraphie, die dort, wo SPECT ausreichend verfügbar ist, in konventioneller planarer Szintigraphie kaum mehr durchgeführt wird. Hier wie auch in anderen möglichen Anwendungsbereichen (eingefrorene Funktionsbilder, langsame Funktionsprozesse) wird sich die SPECT entweder als einzige oder zusätzlich zur konventionellen planaren Szintigraphie durchgeführte Aufnahmetechnik weitgehend durchsetzen. Hiermit sind nicht nur Lokalisation, Ausmaß und Ausdehnung von Funktionsstörungen (zum Beispiel Ischämie, Infarkt) überlagerungsfrei darzustellen, sondern es wird auch ein Vergleich mit primär morphologisch orientierten bildgebenden Schnittbildverfahren (CT, KST) erleichtert. Durch die Einführung neuer Rekonstruktionsalgorithmen ist in Zukunft eine echte Quantifizierung denkbar. Durch Anpassung an Prinzipien der PET-Radiopharmakologie wird mit konventionellen Radionukliden darüber hinaus die Erfassung zahlreicher differenzierter Funktionsprozesse möglich werden.

Mit der Einführung der SPECT hat die Nuklearmedizin einen Schritt getan, regionale tomographische Funktionsuntersuchungen allgemein verfügbar zu machen.

Anschriften der Verfasser:

Professor Dr. med. Harald Schicha
Direktor des Instituts für klinische
und experimentelle Nuklearmedizin
der Universität zu Köln
Joseph-Stelzmann-Straße 9 · 5000 Köln 41

Professor Dr. med. Udalrich Büll
Direktor der Klinik für Nuklearmedizin
der RWTH Aachen
Pauwels-Straße 30 · 5100 Aachen