

Ina Sorge, Antje Krauße

## Positronenemissionstomographie (PET)

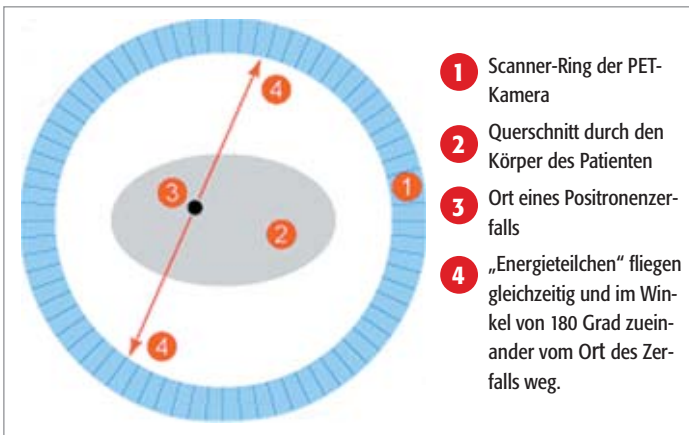
### Was ist PET ?

Die Positronenemissionstomographie (PET) ist ein nuklearmedizinisches, bildgebendes Verfahren, bei dem in einem Untersuchungsgang der gesamte Körper untersucht werden kann. Während die Schnittbildverfahren Ultraschall, Magnetresonanztomographie (MRT) und Computertomographie (CT) die Veränderungen von Größe, Struktur und Form von Organen oder Geweben sehr detailreich und mit hoher Auflösung abbilden, ist die Bildauflösung bei der PET gering. Dafür hat sie den Vorteil, dass gleichzeitig die Stoffwechselaktivität beurteilt werden kann.

Dazu werden sogenannte Tracer, das sind z.B. Traubenzucker, Eiweiße oder DNA-Bausteine, in den Stoffwechsel des Körpers eingeschleust. Diese werden zuvor radio-

es hier zu einer vermehrten Anreicherung kommt, die dann im Bild „aufleuchtet“. Dies ist besonders bei kleinen Gewebeveränderungen hilfreich, da allein aufgrund der

unter der Therapie oft Narbengewebe, welches sich in den Schnittbildverfahren als „Gewebeplus“ darstellt. Dabei ist jedoch nicht erkennbar, ob noch lebende Tumorzellen vorhanden sind. Hier kann wiederum die PET anhand der Stoffwechselaktivität in diesem Herd eine Aussage treffen. Das heißt, die PET ist geeignet, stoffwechselaktives und damit tumorverdächtiges Restgewebe während bzw. nach einer Krebsbehandlung aufzuspüren.



■ Abb. 1: Ein Scannerring zeichnet die durch Positronenzerfall freiwerdenden Energieteilchen auf, ein Hochleistungs-PC errechnet daraus ein Bild (Quelle: [http://www.nuklearmedizin.de/pat\\_info](http://www.nuklearmedizin.de/pat_info))

aktiv markiert. Die Verteilung dieser Tracer entspricht also der Stoffwechselaktivität, die dann mit einer Kamera aufgezeichnet werden kann.

Die Stoffwechselaktivität ist bei vielen bösartigen Tumoren gegenüber normalem Gewebe erhöht, so dass

Größe eine Unterscheidung zwischen Gut- und Bösartigkeit mittels CT oder MRT schwierig sein kann. Deshalb bietet sich die PET als Ergänzung zur Frühdiagnose und zum Ausbreitungsverhalten mancher Krebsarten an. Außerdem entsteht im Verlauf einer Tumorerkrankung

### Wie funktioniert PET?

Zunächst müssen die oben beschriebenen Tracer mit einer radioaktiven Substanz gekoppelt werden. Als solche verwendet man sogenannte Positronenstrahler. Diese müssen in einem technisch aufwändigen Verfahren in einem Kreisbeschleuniger (Zyklotron) hergestellt werden. Sie haben nur eine kurze Halbwertszeit (20 bis 120 min) und müssen deshalb möglichst am Ort der Anwendung produziert werden. Eine gebräuchliche Substanz ist z.B. 18Fluor, welches

man dann mit Traubenzucker verbindet. Nachdem der so markierte Tracer durch Stoffwechselvorgänge in die (Tumor-)Zellen eingebaut wurde, „strahlt“ er von dort aus durch radioaktiven Zerfall. Dies passiert bei den Positronenstrahlern durch die gleichzeitige Aussendung von zwei Energieteilchen in einem Winkel von genau 180°.

Diese Ereignisse werden von einer PET-Kamera mit Hilfe eines Scannerringes, in dem der Patient liegt, registriert. Die gleichzeitige Aufzeichnung der beiden Energieteilchen erlaubt es, die Linie, auf der der Zerfall stattgefunden hat, zu bestimmen.

Ein an die Kamera angeschlossener Computer errechnet schließlich ein komplexes Bild der radioaktiven Tracerverteilung im Körper des Patienten (Abb. 1). Der gesamte Patient wird schrittweise durch die PET-Kamera gefahren, so dass mit einer einzigen Untersuchung der gesamte Körper aufgenommen und anschließend als Bild dargestellt werden kann.

**Wie läuft eine PET-Untersuchung ab?**

Zunächst spritzt der Nuklearmediziner dem Patienten den radioaktiv markierten Traubenzucker über eine Armvene (meist in der Ellenbeuge oder am Handrücken). Während der anschließenden Wartezeit von etwa einer Stunde verteilt sich die



■ Abb. 2: Der Patient wird während der Wartezeit mit einem Heizkissen gewärmt, um eine Verfälschung des Untersuchungsergebnisses durch Muskelanspannung zu vermeiden



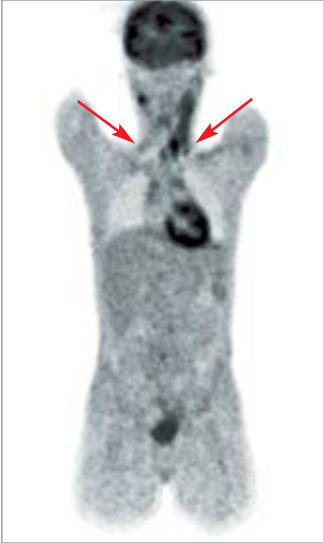
■ Abb. 3: Der Patient liegt auf einer Untersuchungs- liege, die schrittweise durch die PET-Kamera fährt

Substanz im Körper und reichert sich im Zielgewebe an. Viele Krebsarten benötigen wegen ihres schnellen Wachstums viel Energie, so dass sich hier im Vergleich zum gesunden Gewebe besonders viel von dem radioaktiven Zucker anreichert, der dann in den Bildern „aufleuchtet“ und damit krankheitsverdächtig erscheint.

Eine Krebsdiagnose an sich kann aus einer PET-Untersuchung allein jedoch nicht gestellt werden, da z.B. auch entzündetes oder wärmepro-

duzierendes Gewebe einen erhöhten Zuckerstoffwechsel hat und ebenfalls vermehrt den Zucker anreichert.

Deshalb ist es wichtig, den Patienten in der Zeit zwischen der Spritze und der Aufnahme in der Kamera zu wärmen (z.B. mit Heizkissen auf den Schultern), um so die körpereigene Wärmeproduktion durch Muskelanspannung zu reduzieren. Ansonsten könnte sich der markierte Zucker auch im Muskelgewebe anreichern und dadurch das Untersu-



■ *Abb. 4: Gewebe mit hoher Stoffwechselaktivität stellt sich in der PET als schwarze Zone („aufleuchtend“) dar. Dazu gehören z.B. das Gehirn und der Herzmuskel. Krankhaft gesteigerte Stoffwechselaktivitäten finden sich bei dieser 12jährigen Patientin mit Hodgkin-Lymphom auf der linken Halsseite sowie im Hals rechts oben*

chungsergebnis verfälschen. Nach etwa einer Stunde wird der Patient mit leicht überstrecktem Hals auf einer Liege in der PET-Kamera bequem gebettet. Die Untersuchung dauert zwischen 30 Minuten und 2 Stunden (je nach Größe des Patienten und dem Ausschnitt des Körpers, der untersucht werden soll). Das ruhige Liegen des Patienten während dieser Zeit ist sein Beitrag zum Untersuchungserfolg.

Zum Zeitvertreib kann der Patient z.B. eine Musik-CD mitbringen, die er während der Untersuchung hö-

ren kann. Während der gesamten Untersuchung ist der Patient nie allein, denn im Vorraum, der durch eine große Glasscheibe abgetrennt ist, verfolgen medizinisch-technische Assistenten und/oder der Arzt den vollständigen Untersuchungsablauf und halten Sicht- und Sprechkontakt zu dem Patienten.

Von der eigentlichen Messung ist nur der schrittweise Vorschub der Untersuchungs- liege durch die PET-Kamera zu merken. Die Patienten müssen nach der Untersuchung weder stationär aufgenommen werden, noch müssen sie besondere Vorsichtsmaßnahmen beachten.

Nach der Untersuchung erfolgt die Datenrekonstruktion am Computer, was aufgrund der enormen Datenmenge viel Zeit in Anspruch nimmt.

### Wie stark belastet eine PET- Untersuchung den Körper?

Vor Untersuchungsbeginn müssen vom Nuklearmediziner die Vorteile der Untersuchung gegen die Nachteile genau abgewogen werden, so dass beim Patienten keine unnötige Strahlenbelastung entsteht.

Die bei der PET verwendeten radioaktiv markierten Tracer sind Strahler mit einer kurzen Halbwertszeit, d.h. nach wenigen Stunden sind sie bereits zum Großteil zerfallen. Für den markierten Traubenzucker bedeutet das, dass bereits nach 110 Minuten nur noch die Hälfte der ur-

sprünglich injizierten Radioaktivität im Körper vorhanden ist, nach 220 Minuten nur noch ein Viertel, nach 330 Minuten ein Achtel usw.. Außerdem wird ein erheblicher Anteil der Radioaktivität mit dem Urin ausgeschieden, so dass reichliches Trinken zur Strahlenreduktion beiträgt.

Weil der zu diagnostizierende Krebs- oder Entzündungsherd den Tracer ohne weiteres Zutun stark anreichert, kommt man mit geringsten Mengen an Radioaktivität aus, die fast ausschließlich im Zielgewebe landet. Die Strahlenbelastung einer PET-Untersuchung beträgt etwa das Zwei- bis Dreifache der natürlichen, jährlichen Strahlenbelastung.

### Wofür kann PET eingesetzt werden?

Nicht nur für die Diagnose von Krebs, sondern auch für die Bewertung des Therapieerfolgs spielt die PET eine wichtige Rolle.

Da eine Krebsbehandlung, wie z.B. eine Chemo- oder Bestrahlungstherapie, oft starke Nebenwirkungen hat, ist es wichtig, frühzeitig über den Therapieerfolg und damit über die Art der weiteren Therapie entscheiden zu können. Im Rahmen von Studien (z.B. beim Hodgkin-Lymphom) wird unter anderem getestet, ob die PET nach Chemotherapie zwischen narbigen Restbefunden und lebendem Tumorgewe-



■ Abb. 5: 15jähriger Patient mit Hodgkin-Lymphom: Das CT zeigt einen großen Tumor in der rechten Achselhöhle, das PET zeigt eine deutlich erhöhte Stoffwechselaktivität in dieser Region, es ist „positiv“



■ Abb. 6: Nach Chemotherapie findet sich in der MRT noch Restgewebe in der erkrankten Region, das PET zeigt jedoch keine erhöhte Stoffwechselaktivität mehr an, es ist „negativ“

be unterscheiden kann. Außer in der Onkologie kommt die PET auch in der Herzmedizin und Neurologie zum Einsatz: Z.B. nach Herzinfarkt, bei der Diagnose der Parkinson'schen Erkrankung, Epilepsie und von degenerativen Veränderungen. Dies ist jedoch überwiegend bei Erwachsenen von Bedeutung, bei Kindern spielen diese Anwendungsgebiete eine untergeordnete Rolle.

#### Was ist PET-CT?

Neben den geschilderten Vorteilen hat die PET einen Nachteil: Da sie im Gegensatz zu anderen bildgebenden Verfahren wie Computertomographie oder Magnetresonanztomographie keine genauen anatomischen Informationen liefert, lassen sich die mit ihr nachgewiesenen Erkrankungen oft nicht genau lokalisieren. Der Arzt sieht zwar einen Herd „aufleuchten“, kann jedoch nicht immer genau sagen, welchem

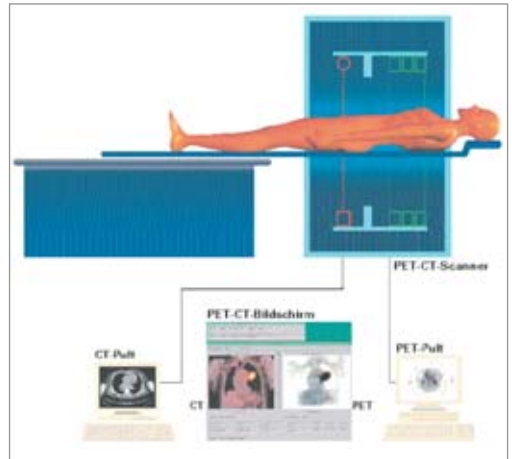
Organ oder welcher Lymphknotenstation dieser zuzuordnen ist.

Deshalb wurde eine Kombination aus PET und Computertomographie, das sogenannte PET-CT, entwickelt. Der Patient durchläuft in einem Gerät zunächst die CT-Komponente des Scanners und dann jenen Teil, der mit Hilfe der PET Aufschlüsse über den Stoffwechsel gibt. Die Daten beider Aufnahmen werden dann im Systemcomputer zu ei-

nem Bild kombiniert. Es zeigt nicht nur die „aufleuchtenden Herde“, mit denen sich Krebs in der PET verhält, sondern auch die anatomischen Strukturen, in die sie eingebettet sind. Das Prinzip der PET-CT lässt sich recht gut an diesem Alltagsbeispiel veranschaulichen: Bei einer PET-CT-Untersuchung zeigt das PET-Bild die Zellfunktion, also zum Beispiel den erhöhten Traubenzuckerumsatz in bestimmten Zellen.

Das CT-Bild funktioniert dabei wie eine präzise darunter gelegte Landkarte oder ein Luftbild des Vermessungsamtes. Im Fusionsbild ist klar

erkennbar, wo sich der Gewebebereich mit dem erhöhten Traubenzuckerumsatz befindet. (Abb. 8) Während Landkarte oder Luftbild lediglich zweidimensional sind, lässt sich das PET-Ergebnis auch in einer dreidimensionalen CT-„Landkarte“ exakt lokalisieren. Die im Rahmen einer PET-CT durchgeführte

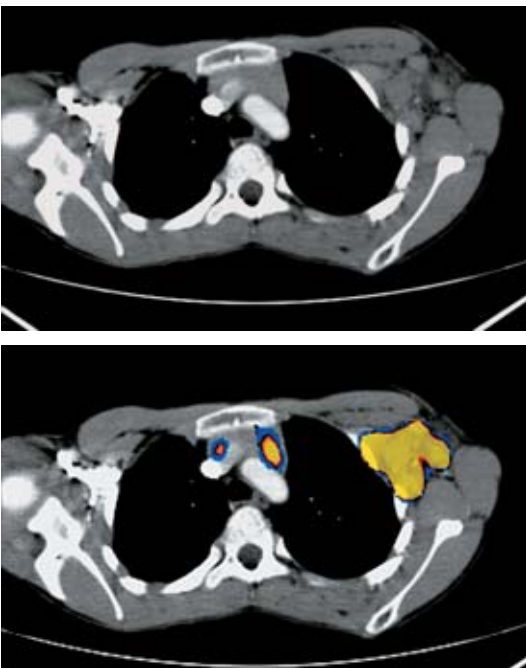


■ Abb. 7: Prinzip des PET-CT (Quelle: Siemens)

Computertomographie arbeitet mit einer sehr geringen Dosis Röntgenstrahlung und meist ohne Kontrastmittel, da sie nur der Lokalisation von auffälligen PET-Befunden dient. Deshalb ersetzt ein PET-CT nicht eine diagnostische Computertomographie mit Kontrastmittel oder eine MRT-Untersuchung, mit der Veränderungen von Geweben oder Organen zunächst diagnostiziert werden.

#### Quellen:

- [http://www.nuklearmedizin.de/p\\_at\\_info](http://www.nuklearmedizin.de/p_at_info)
- [http://www.krebsinformation.de/Fragen\\_und\\_Antworten/pet.html](http://www.krebsinformation.de/Fragen_und_Antworten/pet.html)
- [http://w4.siemens.de/Ful/de/archiv/newworld/heft1\\_01/artikel05/index.html](http://w4.siemens.de/Ful/de/archiv/newworld/heft1_01/artikel05/index.html)



■ Abb. 8: PET-CT: Hodgkinbefall des Thymus und in der linken Achselhöhle- CT-Untersuchung nach Überlagerung mit PET-Daten bei einem 8-jährigen Mädchen. Die gelb markierten Areale entsprechen aktivem Tumorgewebe mit erhöhtem Traubenzuckerumsatz.

- ▶ OÄ Dr. med. Ina Sorge  
Abteilung Pädiatrische Radiologie  
Klinik und Poliklinik für Diagnostische Radiologie an der Universität Leipzig  
Stephanstr. 11  
D-04317 LEIPZIG
- ▶ Dr. med. Antje Krauß  
Klinik für Nuklearmedizin  
Oststraße 21-25  
D-04317 LEIPZIG