

## 1.7 PET/CT-Protokolle in der Onkologie

THOMAS LIND, UN-HIE KIM, HILMAR KÜHL, GERALD ANTOCH, WALTER JENTZEN, LUTZ S. FREUDENBERG, ANDREAS BOCKISCH

### Einleitung

Die kombinierte PET/CT ist nach der Entwicklung und Erprobung in den Jahren von 1998 bis 2001 seit etwa fünf Jahren im klinischen Alltag verfügbar [8, 21, 24]. Der klinische Erfolg der Kombination der Einzelverfahren PET und CT ist vor allen Dingen auf die Vereinigung von morphologischer und metabolischer Information in einer Untersuchung zurückzuführen. Die Güte der Kombinationsuntersuchung gegenüber der Kombination der Einzeluntersuchungen ist davon abhängig, ob es gelingt, antagonistische Effekte zu unterdrücken und Synergien freizusetzen. Dies ist davon abhängig, wie man die Untersuchungsparameter wählt. Bei der PET sind das die Dauer der Aktivitätsmessung, Akquisitionsrichtung und die Patientenlagerung, bei der CT Röhrenstrom, Kontrastmittelgabe, Akquisitionsrichtung und Patientenlagerung. Je nach klinischer Fragestellung können diese Parameter variiert und an die jeweilige klinische Fragestellung angepasst werden, um ein optimales Zusammenspiel von PET und CT zu gewährleisten. Die jeweiligen optimierten Parameterzusammenstellungen werden in Form von Untersuchungsprotokollen festgehalten. In diesem Kapitel wird zunächst die Anpassung der CT an die Bedürfnisse der PET/CT-Protokolle diskutiert. Anschließend werden verschiedene CT-Artefakte und ihre Auswirkung auf die PET/CT-Bildgebung vorgestellt und diskutiert, wie sie durch eine Anpassung des Protokolls vermieden werden können. Darauf folgt die Darstellung von Standardprotokollen und von speziellen Protokollen für bestimmte Tumorerkrankungen.

### CT in PET/CT-Protokollen

Die CT-Komponente der PET/CT dient zum einen zur Schwächungs- und Streustrahlenkorrektur (*attenuation correction* [AC]) der PET und zum anderen optional zur zusätzlichen morphologischen Bildgebung. Je nach Fragestellung sind aus diesem Grund zwei grundsätzliche PET/CT-Protokolle möglich, die von der Aufgabe der CT bei der Unter-

suchung bestimmt werden. Die CT kann nur zur AC eingesetzt werden und wird dann nicht diagnostisch genutzt oder die CT soll „voll“ diagnostisch verwertet werden und muss sich somit mit einer dedizierten CT-Untersuchung messen können. Durch zusätzlichen Einsatz von oralem und intravenösem (i.v.) Kontrastmittel (KM) ergeben sich drei Standardprotokolle:

- PET/CT mit „diagnostischer“ CT mit intravenösem Kontrastmittel
- PET/CT mit „diagnostischer“ CT ohne intravenöses Kontrastmittel
- PET/CT mit „Niedrig-Dosis“-CT

Die volle Potenz der PET/CT kann nur ausgeschöpft werden, wenn eine diagnostische CT mit i.v. KM-Gabe durchgeführt wird. Unter radiologischen Gesichtspunkten sind dabei folgende Forderungen an eine diagnostische CT zu stellen [4]:

- ausreichende räumliche Auflösung mit einem akzeptablen Signal-zu-Rauschen-Verhältnis;
- ausreichende Gabe von oralem und i.v. KM, wenn keine Kontraindikationen vorliegen;
- eine Strahlendosis, die einerseits eine diagnostische Information ermöglicht und andererseits so klein wie möglich ist, um die Strahlenexposition für den Patienten möglichst gering zu halten.

Eine ausreichende räumliche Auflösung mit einem akzeptablen Signal-zu-Rauschen-Verhältnis setzt einen adäquaten Detektorkollimator voraus. Dieser sollte so groß wie möglich sein, um eine kurze Akquisitionzeit für eine Ganzkörperuntersuchung zu ermöglichen (1,5 bis 2,5 mm). Andererseits sollte auch eine Obergrenze von 2,5 mm nicht überschritten werden, um eine 3D-Rekonstruktion bei 2,5 mm zu ermöglichen.

Die Erkennung von pathologischen Strukturen geht bei morphologischen Verfahren wie der CT auf die Erkennung von pathologisch veränderten Anatomien zurück. Da sowohl die Organe als auch die meisten Tumormanifestationen einen Dichtewert zwischen 30 bis 80 HU besitzen, ist eine Differenzie-

nung erschwert. Aus diesem Grund wird mithilfe von Kontrastmitteln versucht, einen größeren Schwächungskontrast zu erreichen. Dieses Vorgehen ist bei vielen klinischen Fragestellungen auch nützlich für eine PET/CT-Untersuchung [6]. Als intravenöses Kontrastmittel kann hier wie bei der CT jodhaltiges Kontrastmittel eingesetzt werden, als orales Kontrastmittel sollte ein negatives Kontrastmittel verwendet werden [1].

Die Vorteile, die von einer PET/CT mit KM zu erwarten sind, liegen in der besseren Erkennbarkeit von zusätzlichen kleinen Läsionen mit geringer oder fehlender Traceranreicherung, in der Charakterisierungsmöglichkeit der KM-Dynamik pathologischer Strukturen, in der besseren Charakterisierungsmöglichkeit von Läsionen in der Nähe von Blutgefäßen, des Interstitiums oder von Organparenchym [1].

Zu beachten ist allerdings, dass hohe KM-Anreicherungen in der CT zu einer falschen AC führen können und somit KM-Artefakte erzeugen. Doch scheinen KM-Artefakte vermeidbar oder können leicht erkannt werden.

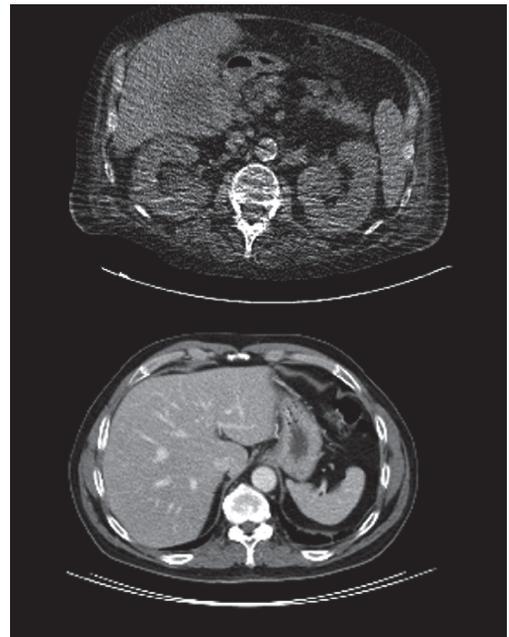
In einigen Fällen kann die KM-Gabe kontraindiziert sein. Beispiele für Kontraindikationen sind eine geplante Radiojodtherapie oder Niereninsuffizienz. In einem solchen Fall muss individuell entschieden werden, ob ohne KM-Gabe weiterhin eine Voll-Dosis-CT angebracht ist. Dieses Protokoll sollte nur speziellen Indikationen vorbehalten sein, da der Verzicht auf Kontrastmittel auf jeden Fall zu einer Herabsetzung des Weichteilkontrastes führt.

Ein wichtiger Gesichtspunkt der PET/CT-Untersuchung ist die Strahlenexposition. Sie beträgt 15–20 mSv für ein übliches Untersuchungsgebiet (definiert als Ganzkörper) vom Kopf bis zum Oberschenkel. Dabei fällt der größere Teil der Strahlenexposition der Untersuchung auf die CT [12]. Es ist deshalb bei jeder Indikationsstellung zu prüfen, ob die zusätzliche diagnostische CT-Untersuchung sinnvoll ist oder die PET allein zur Beantwortung der Fragestellung ausreicht. In letzterem Fall wird die CT nur durchgeführt, um eine AC der PET durchzuführen. Für diese Aufgabe kann die Strahlenexposition auf ca. 3–5 mSv [22] reduziert werden bei allerdings reduzierter Sensitivität und Spezifität der Untersuchung für die Entdeckung von Tumormanifestatio-

nen durch die geringere morphologische Information der CT (Abb. 1–25). Die Niedrig-Dosis-PET/CT ist vergleichbar mit einer dedizierten PET, wobei die AC nicht über die  $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ -Quelle (511 keV), sondern unter Verwendung der Röntgenstrahlung der CT-Röhre erfolgt. Die Verwendung der Niedrig-Dosis-CT hat im Vergleich zur Verwendung des Transmissionsdatensatzes zwei Vorteile:

- Zeitvorteil (Reduzierung der Untersuchungsdauer von ca. 20 min – bei sieben Bettpositionen – für die Transmission auf unter eine Minute für CT) sowie
- genauere morphologische Lokalisation der Tracermehranreicherungen.

Eine genaue Lokalisation ist allerdings wegen des schlechten Signal-zu-Rauschen-Verhältnis nicht immer möglich, sodass zur exakten Lokalisation gegebenenfalls zusätzlich ein PET/CT mit einem



**Abb. 1–25:** Die obere Abbildung zeigt eine Niedrig-Dosis-CT (Röhrenstrom 20–40 mA, Röhrenspannung 110 kV), die untere Abbildung eine diagnostische CT (Röhrenstrom 100 mA, Röhrenspannung 130 kV). Die Niedrig-Dosis-CT dient zur Schwächungskorrektur des PET-Datensatzes, grobe anatomische Beurteilung ist möglich, die diagnostische CT mit oralem und i.v. KM ermöglicht integriert im PET/CT die maximale mögliche diagnostische Aussagekraft.

diagnostischen CT in der Befundregion angefertigt werden muss. Alternativ kann aber auch auf schon vorhandene CT- oder MRT-Untersuchungen zurückgegriffen werden. Mithilfe einer softwarebasierten retrospektiven Bildfusion ist dann eine Überlagerung von PET und CT möglich. Da die Bildkoregistrierung zwischen der Niedrig-Dosis-CT und der vorhandenen diagnostischen CT erfolgt, also zwischen Bildern grundsätzlich identischen Inhalts, sind bessere Ergebnisse zu erwarten als bei der Verwendung von PET- und CT-Daten. Allerdings ist die Genauigkeit der retrospektiven Bildkoregistrierung außerhalb des Schädels selbst unter optimalen Untersuchungsbedingungen (möglichst zeitnahe Datenakquisition, gute Lagerungsreproduktion, keine Therapien zwischen den Untersuchungen) auf etwa 15 mm limitiert [23]. Da die Durchführung der Niedrig-Dosis-PET/CT auf die Gewinnung eines PET-Bilddatensatzes abzielt, ist das Indikationsgebiet mit dem der dedizierten PET vergleichbar [26].

### Artefakte im PET/CT

Bildartefakte sind künstlich herbeigeführte, nicht der ungestörten Abbildung der Morphologie oder der Tracerverteilung des untersuchten Körpers entsprechende, Strukturen. In der PET/CT können folgende Artefakte auftreten:

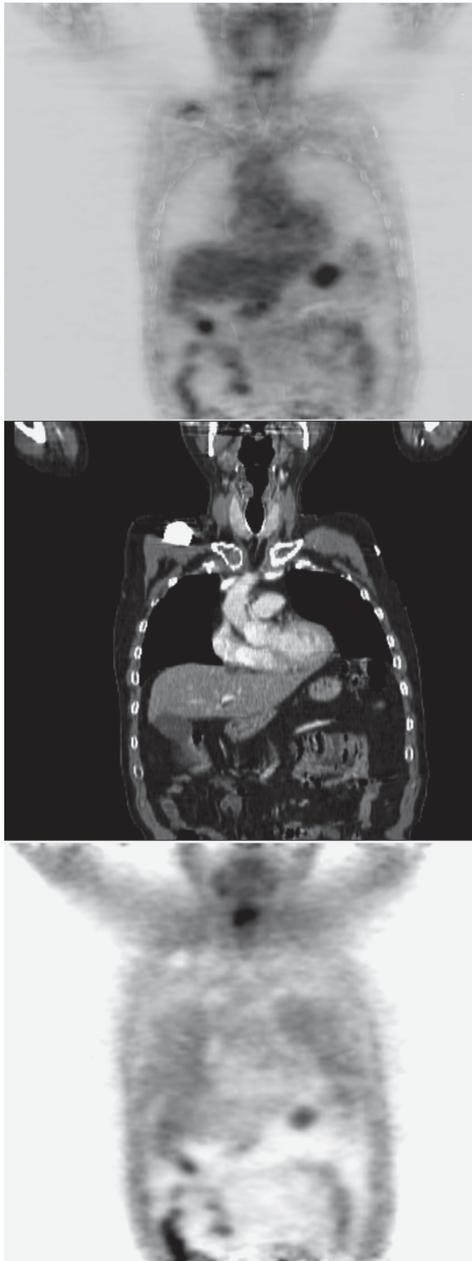
- Aufhärtungsartefakte in der CT, verursacht durch Metallimplantate (z.B. Zahnprothesen, Portimplantation, TEP);
- Bewegungsartefakte, verursacht durch Körperbewegung (z.B. im Bereich des Diaphragma);
- Positionierungsartefakte;
- Artefakte, die durch die Nutzung der CT für die Schwächungskorrektur erzeugt werden. Dies ist immer dann der Fall, wenn entweder das CT-Bild, das zeitlich vor der PET aufgenommen wird, nicht (mehr) die Gegebenheit der PET-Untersuchung reflektiert oder die Umrechnung der Schwächung der Röntgenstrahlung auf die Schwächung der Vernichtungsstrahlung fehlerhaft ist, beispielsweise:
  - Kontrastmittelartefakte;
  - Artefakte durch fehlerhafte Schwächungskorrektur für Material mit hoher Ordnungszahl: Jod, Barium, Metallimplantate;

- Verlagerungsartefakte, verursacht durch Organverschiebung (z.B. im Bereich des Diaphragma, Blasenfüllung, Darmbewegung).

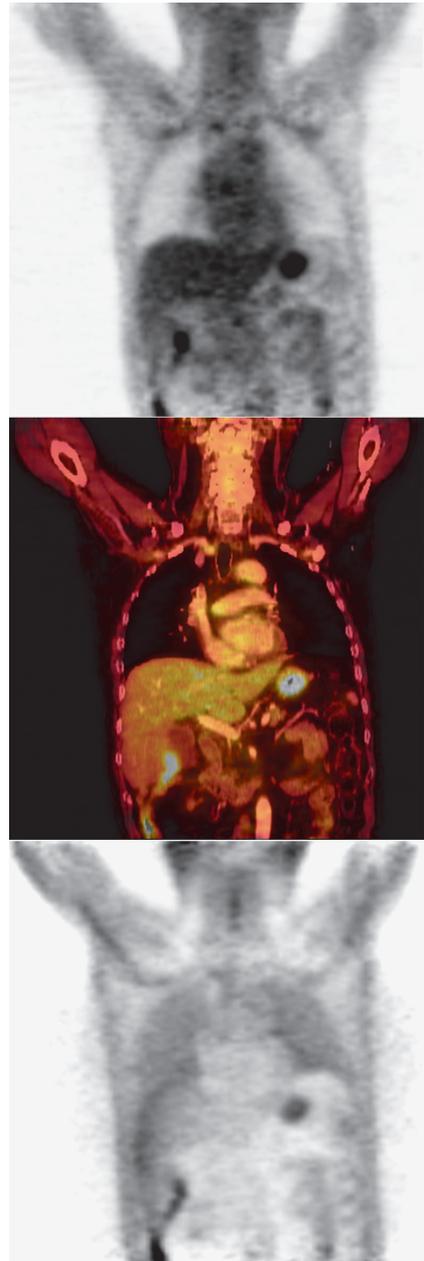
Metallimplantate führen in der CT zu Aufhärtungsartefakten und in der PET zu falsch hohen SUV-Werten (Abb. 1–26). Infolge dessen lässt sich die CT in diesem Bereich nicht befunden. Die Konsequenzen für die PET sind weniger gravierend, da sich durch einen Vergleich mit den nicht schwächungskorrigierten PET-Bildern eine gegebenenfalls maskierte tatsächlich vorhandene pathologische Läsion leicht erkennen lässt. Die durch Metallimplantate hervorgerufenen Artefakte lassen sich nicht durch eine Veränderung des Protokolls verhindern. Hier helfen nur verbesserte Bilderzeugungsalgorithmen weiter, die vom Hersteller des CT implementiert werden.

Eine weitere Art von Aufhärtungsartefakten stellen die durch jodhaltige iv-KM induzierten Kontrastmittelartefakte dar (Abb. 1–27). Sie beruhen darauf, dass im CT-Bild eine hohe Kontrastmittelkonzentration abgebildet ist, die zum Zeitpunkt der PET-Untersuchung an der Stelle nicht mehr vorhanden ist. Somit ergibt sich eine artifizielle regionale Überkorrektur der Schwächung in den venösen Gefäßen, die vom Injektionsgebiet zum Herzen führen, und gelegentlich auch in der Aorta. Diese artifiziellen SUV-Erhöhungen sind im Regelfall niedriger als die von Metallartefakten [2, 6, 9, 10, 32]. Wie bei den dichteren Metallartefakten ist die Beurteilung der CT in der Region des KM-Bolus erschwert und die Beurteilung der nicht schwächungskorrigierten PET-Bilder ist erforderlich. Im Gegensatz zu den durch Metallimplantate induzierten Artefakten sind die KM-Artefakte durch ein geeignetes Untersuchungsprotokoll (kaudokraniale Scanrichtung, Verzögerung zwischen KM-Injektion und Aufnahme, Kochsalzspülung nach dem KM-Bolus) zu minimieren [2]. Bei der zeitlichen Abstimmung sind natürlich die CT-Scanner-Spezifikationen zu berücksichtigen.

KM-Artefakte können auch bei der Verwendung von oralem KM entstehen (Abb. 1–28). Zur Kontrastierung des Magens werden orale Kontrastmittel verwandt, um die Dünndarmschlingen von angrenzenden Strukturen zu differenzieren. Grundsätzlich sollte die Einnahme während der Stunde vor der

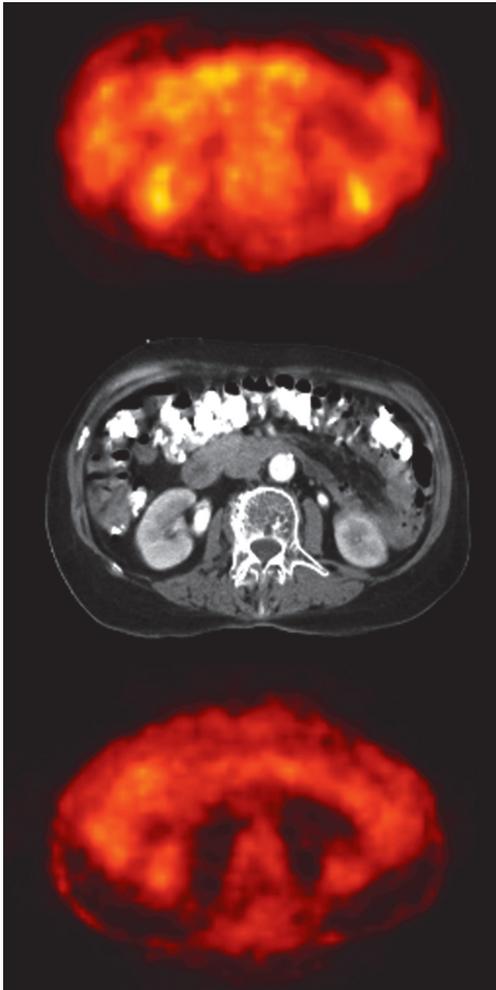


**Abb. 1–26:** Im schwächungskorrigierten PET-Bild (oben) zeigt sich rechts supraklavikulär eine artifizielle Tracermehranreicherung, die auf eine fehlerhafte Schwächungskorrektur zurückzuführen ist. Ursache hierfür sind stark erhöhte Dichtewerte im Bereich des Ports (Mitte). Sie sind nicht in den nicht schwächungskorrigierten Bildern enthalten und so sicher zu identifizieren.



**Abb. 1–27:** Im schwächungskorrigierten PET-Bild zeigt sich eine scheinbare fokale Tracermehranreicherung rechtsseitig im oberen Mediastinum (oben), die durch eine fehlerhafte Schwächungskorrektur im Bereich des KM-Bolus (Mitte) hervorgerufen wird. Durch ein angepasstes PET/CT-Protokoll (kaudokraniale Scanrichtung, angepasster Scandelay nach KM-Gabe, Kochsalzbolus nach KM-Gabe) lassen sich KM-Artefakte vermeiden.

Untersuchung erfolgen. Wird zu lange gewartet, ist nicht mehr der Dünndarm, sondern der Dickdarm kontrastiert. Es werden bei dedizierten CT-Untersuchungen meist positive orale KM verwendet, die entweder Barium (2,5 %ige Bariumsuspension) oder Jod (3 % Gastrographinlösung) enthalten.

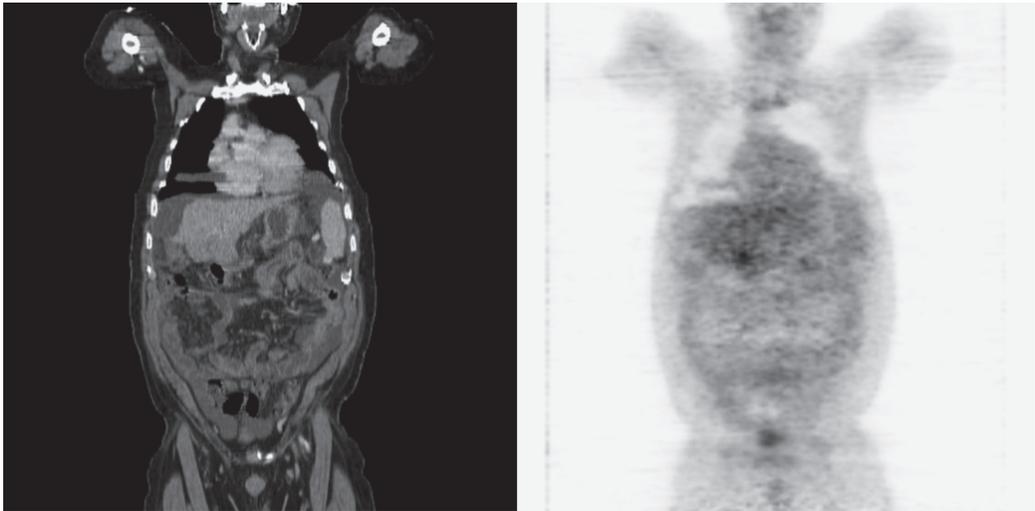


**Abb. 1–28:** Das obere Bild zeigt das schwächungskorrigierte PET-Bild. Zu erkennen ist eine artifizielle scheinbare Traceranreicherung (KM-Artefakt) im Bereich der mit bariumhaltigem KM gefüllten Darmschlingen (s. CT, Bild Mitte). Das untere Bild zeigt den nicht schwächungskorrigierten PET-Datensatz, der keine durch falsche Schwächungskorrektur einzelnen Artefakte enthält. Die sehr schwache Traceranreicherung im Bereich der Darmschlingen ist „echt“ und entspricht einer unspezifischen Darmanreicherung.

Während einzelne Studien keinen Effekt positiver oraler Kontrastmittel auf die [ $^{18}\text{F}$ ]FDG Aktivitätskonzentration nachweisen konnten [16], fanden andere Autoren Artefakte und überschätzte [ $^{18}\text{F}$ ]FDG-Aktivitätskonzentration bei der Verwendung oraler Kontrastmittel [1, 13]. Die klinische Praxis zeigt, dass positive orale Kontrastmittel mit geringen Mengen an Barium und Gastrographin meist nur unwesentliche Artefakte in der PET machen. Kommt es jedoch zu Motilitätsstörungen mit Akkumulation größerer Mengen der o.g. Kontrastmittel, kann die starke Erhöhung der Schwächung zu Artefakten und Fehlern in der Quantifizierung der Aktivitätskonzentration führen. Da vor einer Untersuchung nicht vorhergesagt werden kann, ob eine Darmmotilitätsstörung vorliegt, ist die Verwendung eines oralen Kontrastmittels mit wasseräquivalenten Dichtewerten sinnvoll. Wir verwenden eine Kombination aus 2,5 % Mannitol und 0,2 % Johannisbrotkernmehl gelöst in 1,5 Liter Wasser [1]. Wasser alleine ist inadäquat, da es zu schnell aus dem Dünndarm resorbiert wird und so zu einer nur unzureichenden Distension führt und zudem (während der im Vergleich zur CT langen PET/CT-Untersuchungszeit) zu Harndrang führt.

Der bedeutendste Bewegungsartefakt entsteht durch die Atmung (Abb. 1–29). Im Gegensatz zur CT, bei der aufgrund kurzer Messzeiten die Aufnahme des Thorax in einer bestimmten Atemphase erfolgt, muss der Patient während der typischerweise etwa 30 Minuten dauernden PET-Akquisition atmen, was zu einer Mittelung der Zwerchfelllage führt. Durch die Atembewegung wird Bewegungsunschärfe in den rekonstruierten Bildern und eine Fehlregistrierung zwischen CT und PET induziert [5, 15, 17, 18]. Die Atemungsartefakte fallen in erster Linie nahe dem Diaphragma störend auf und können im Einzelfall dazu führen, dass ein Tumor nicht mehr sicher dem oberen Bereich der Leber oder der basalen Lunge zugeordnet werden kann [25].

Zur Verringerung dieser Bewegungsartefakte müssen alternative Atmungsprotokolle definiert werden. Nach Evaluierung verschiedener Atmungsprotokolle hat sich ein Verfahren als vorteilhaft erwiesen [5, 7]: Der Patient atmet zunächst flach bis zum Erreichen des Diaphragmas. Danach erfolgt ein Atemkommando zum Atemanhalten in Expiration bis zum Erreichen des mittleren Tho-



**Abb. 1–29:** Deutlicher Atemartefakt oberhalb des Diaphragmas. Durch die Schwächungskorrektur wird im PET an gleicher Stelle eine scheinbare Tracermehranreicherung sichtbar. Durch geeignete Atemprotokolle lassen sich Atemartefakte reduzieren.

rax, anschließend flaches Weiteratmen. Das Ausmaß der Bewegungsunschärfe hängt sowohl von der CT-Akquisitionszeit als auch von der Kooperation des Patienten ab. Selbst Mehrzeilen-CTs (z.B. 64-Zeilen-CT) weisen Artefakte auf, die allerdings im Vergleich zu Ein- oder Zweizeilen-CT-Scanner geringer ausfallen [27].

Positionierungsartefakte entstehen durch unterschiedliche Patientenlagerung in CT und PET. Hierbei sind grobe Verschiebungen des gesamten Körpers oder eines Körperteils gemeint. Da die CT zur Schwächungskorrektur verwendet wird, aber nicht die topographischen Gegebenheiten der PET repräsentiert, werden gravierend falsche Schwächungskorrekturen vorgenommen. Besonders häufig treten diese Probleme im Bereich von Kopf und Hals auf, wenn nicht eine sorgfältige Lagerung und Fixierung vorgenommen wird. Positionierungsartefakte entstehen auch häufig im Bereich der Arme, die im PET/CT zur Vermeidung von Schwächungsartefakten neben dem Kopf gelagert werden. Durch die Verkürzung der Untersuchungsdauer im Vergleich zur PET ist diese Lagerung im Regelfall für die Patienten auch tolerabel. Trotzdem kommt es häufig zu Positionsveränderungen der Arme. Deshalb ist eine komfortable und sichere

Lagerung der Patienten erforderlich und kann z.B. mit Vakuum- oder Schaumstoffkissen erfolgen.

### Standardprotokolle

Das Staging von Tumoren erfordert, dass neben dem Primärtumor die lokoregionären Metastasen und die Fernmetastasen erfasst werden. Dazu ist eine Ganzkörperuntersuchung notwendig. Da aber die ganz überwiegende Zahl von Metastasen im Körperstammbereich zu finden sind, wird aus Effizienzgründen eine Untersuchung vom Kopf bis zum Oberschenkel durchgeführt. Dieser Untersuchungsumfang wird allgemein als Ganzkörperuntersuchung bezeichnet.

Das gegenwärtig in unserer Klinik verwendete Standard-Ganzkörperprotokoll ist in Tabelle 1–10 aufgeführt. Zur Untersuchung wird ein PET/CT Scanner mit einem Zweizeilen-Spiral-CT verwendet (Biograph Duo, Siemens Medical Solutions, Hoffman Estates, IL, USA). Die CT-Untersuchung ist so optimiert, dass die Bildqualität nahezu der eines dedizierten CT entspricht und Artefakte weitgehend vermieden werden. Wie schon angesprochen, bedeutet das die Verwendung von:

- negativem oralen Kontrastmittel

- jodhaltigem i.v. Kontrastmittel mit abgestimmter Zeitverzögerung zum Beginn der CT-Akquisition
- einem Atemprotokoll zur Reduzierung der Atemartefakte
- einem adäquaten Röhrenstrom bzw. einer adäquaten Spannung

Vor der Untersuchung wird das [<sup>18</sup>F]FDG (<sup>18</sup>F-Fluoro-2-deoxy-D-Glukose) intravenös injiziert. Die applizierte Aktivität ist gewichtsadaptiert und liegt beim 70 kg schweren Patienten typischerweise bei 350 MBq [8]. Das axiale Untersuchungsfeld wird je nach Indikation festgelegt. Bei Patienten mit thorakalen und abdominellen Tumoren wird von der Orbitaunterkante bis zum Oberschenkel untersucht, bei Patienten mit v.a. Tumoren im Bereich der Extremitäten (z.B. Melanome und periphere Sarkome) wird der Untersuchungsbereich entsprechend

ausgeweitet, was allerdings mit einer längeren Untersuchungszeit verbunden ist. Zur Untersuchung der Unterschenkel ist ein zusätzlicher Scan von den Zehen bis zum Beckenbereich notwendig. Während der Anreicherungsphase des [<sup>18</sup>F]FDG wird das orale Kontrastmittel verabreicht. Für die PET/CT-Bildgebung hat sich orales Kontrastmittel mit wasseräquivalenten Dichtewerten bewährt, um kontrastmittelassoziierte Artefakte in der PET zu vermeiden [1, 3]. Nach 60 Minuten erfolgt die PET/CT-Untersuchung. Der Patient wird auf der Patientenliege mithilfe von Vakuumkissen fixiert, um die Patientenbewegung zu minimieren. Die Arme werden zusätzlich mit einem Schaumstoffkissen abgestützt. Die PET/CT-Untersuchung beginnt mit der Akquisition eines CT-Topogramms zur Definition des kombinierten Scanbereichs (Abb. 1–30A). Vor der diagnostischen CT-Ganzkörperuntersuchung erfolgt die i.v. KM-Gabe (Abb. 1–30B). Es werden

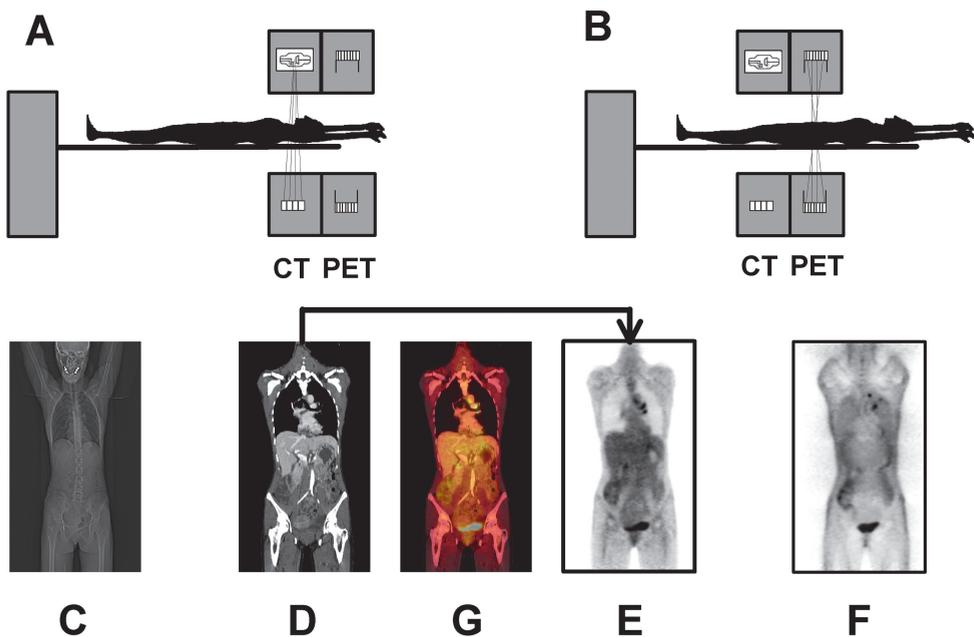
**Tab. 1–10:** Protokoll zur Ganzkörperuntersuchung

|   |
|---|
| 1. Patientenvorbereitung  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Legen eines Zugangs, falls nicht vorhanden</li> <li>• Injektion von FDG (gewichtsadaptiert)</li> <li>• 1,5 l orales negatives KM</li> </ul>  |
| 2. Patientenlagerung:   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eine Stunde nach Injektion wird der Patient mit dem Kopf in Richtung Gantry auf der Untersuchungsliege positioniert</li> <li>• Hände über dem Kopf</li> </ul>  |
| 3. CT Topogramm   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• von Kopf bis Oberschenkel</li> </ul>   |
| 4. CT   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Scanrichtung und -umfang von den Oberschenkeln zum Orbitaunterrand</li> <li>• Verzögerung nach KM-Gabe: 50 sec</li> </ul>  |
| CT Parameter  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Röhrenstrom: 100 mA</li> <li>• Röhrenspannung: 130 kV</li> <li>• Schichtdicke 5 mm</li> <li>• Atemprotokoll<br/>Zunächst flaches Atmen bis zum Erreichen des Diaphragmas, danach Atemkommando Atemanhalten in Expiration, nach Erreichen des mittleren Thorax flaches Weiteratmen</li> </ul> |
| 5. PET  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Scanrichtung von den Oberschenkeln zum Orbitaunterrand</li> <li>• flaches Atmen während der gesamten Untersuchung</li> </ul>   |

die üblichen CT-Parameter für ein Ganzkörperprotokoll angewandt (z.B. 100 mA, 130 kV, 5 mm Schichtdicke, Tischvorschub von 8 mm pro Rotation, Dauer der intravenösen Kontrastmittelinjektion ca. 70 s für 140 ml). Zur Vermeidung von Artefakten durch das i.v.-Kontrastmittel wird die Verzögerung der Untersuchung nach Injektion des KM länger gewählt als bei einer reinen CT-Untersuchung. Ferner ist das Nachspülen mit isotoner Kochsalzlösung empfehlenswert. Die Patientenliege wird nach dem CT-Scan automatisch in die erste PET-Tischposition verschoben, wobei sich die Untersuchung vom Becken nach kranial empfiehlt (Abb. 1–30C). Dadurch ist zum Untersuchungszeitpunkt nicht nur der Füllungszustand der Blase mit radioaktivem Harn minimiert, sondern – wichtiger – Blase und Darm werden in einem möglichst ähnlichen Zustand erfasst wie bei der CT-Untersuchung. Die PET-Emissionsdaten werden über denselben axialen Untersuchungsbereich wie der CT-Scan erfasst. Die CT- und PET-Daten werden also sequen-

ziell aufgenommen und nicht wie oft formuliert gleichzeitig; die CT-Untersuchung erfolgt immer zuerst. Die Dauer des CT-Scans hängt vom axialen Untersuchungsbereich und den gewählten CT-Scanparametern sowie dem CT-Scanner ab. Die typische Dauer variiert zwischen 25 und 60 s für einen Untersuchungsbereich vom Kopf bis zu den Oberschenkeln. Die entsprechende PET-Untersuchungszeit liegt bei etwa 20–40 Minuten. Eine typische PET/CT-Ganzkörperuntersuchung dauert daher nur wenig länger als eine halbe Stunde. Gegenüber der dedizierten PET ergibt sich eine Zeitersparnis von etwa 30 % durch die Verwendung des CT-Datensatzes zur Schwächungs- und Streukorrektur (AC). Nach erfolgter Streustrahlenkorrektur der PET-Daten stehen die intrinsisch koregistrierten Datensätze zur Befundung zur Verfügung (Abb. 1–30G).

Was die Untersuchung von Hirntumoren angeht, ist die [<sup>18</sup>F]FDG wenig sensitiv, was auf den hohen Glukosegrundumsatz des Gehirns zurückzuführen



**Abb. 1–30:** Standardprotokoll: Zunächst erfolgt die Festlegung des Scanbereiches mithilfe eines Topogramms (C), danach wird ein Ganzkörper-CT-Scan durchgeführt (A), der auch zur Schwächungskorrektur des dem CT-Scan folgenden Ganzkörper-PET-Scans verwendet wird (B). Nach der Datenrekonstruktion stehen ein CT-Bilddatensatz (D), ein schwächungskorrigierter (E) und ein nicht schwächungskorrigierter PET-Datensatz zur Verfügung (F). Der PET- und der CT-Datensatz sind aufgrund der gleichen Patientenaufnahme intrinsisch koregistriert (G).