

Molekulare Hybridbildgebung mit PET/CT



Informationen für zuweisendes ärztliches Fachpersonal



Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
Was ist PET/CT?	6
Warum PET/CT?	9
Gängige Tracer und Indikationsempfehlungen	10
Ablauf der PET/CT-Untersuchung bei diesen Tracern	11
Indikationen für PET/CT	12
Vorteile der PET/CT in der Onkologie anhand ausgesuchter Tumorentitäten	14
Lungenkarzinom	14
Lymphome	16
Kolorektales Karzinom	17
Mammakarzinom	18
Prostatakarzinom	19
Neuroendokriner Tumor	20
Kopf-Hals-Tumore	21
„Cancer of Unknown Primary“ (CUP-Syndrom)	22
Malignes Melanom	23
Schilddrüsenkarzinom	24
Vorteile der PET/CT-Untersuchung bei nicht onkologischen Erkrankungen	26
Kardiologie	26
Entzündungsdiagnostik	28
Neurologie	29
Weiterführende Informationen	30
Weiterführende Literatur	31



Die Photonen-Emissions-Tomographie (PET)/Computertomographie (CT) ist eine etablierte moderne Technik in der medizinischen diagnostischen Bildgebung, mit der Stoffwechselfvorgänge im Körper von Patient*innen mittels nuklearmedizinischer Tracer dreidimensional sichtbar werden. Während eine PET die metabolischen Vorgänge im Gewebe darstellt, gibt die zeitgleiche CT Auskunft über die Anatomie, wodurch in Kombination eine exakte anatomometabolische Zuordnung von Stoffwechselfvorgängen im Körper möglich ist.

Die PET/CT eignet sich bei Tumorerkrankungen zur präzisen Ausbreitungs- und frühzeitigen Rezidivdiagnostik. Darüber hinaus kann sie aber auch bei nicht onkologischen, z.B. kardiologischen, infektiologischen oder neurologischen Erkrankungen wegweisend sein.

Im Folgenden finden Sie allgemeine Informationen und Hinweise zur Molekularen Hybridbildgebung als Ganzkörperdiagnostik mit PET/CT, die wir in enger Zusammenarbeit mit erfahrenen Nuklearmediziner*innen für Sie zusammengestellt haben.

Was ist PET/CT?

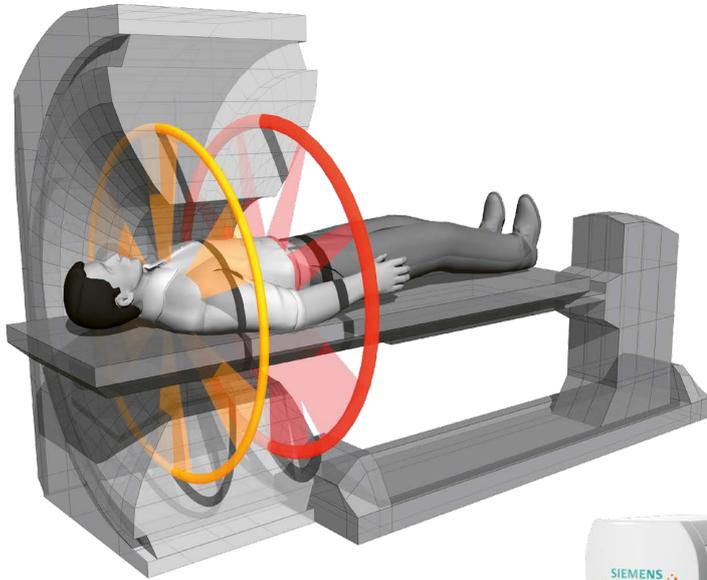
Die Positronen-Emissions-Tomographie (PET) ist seit mehr als 30 Jahren das Verfahren der Wahl für quantitative in vivo Bildgebung in der Nuklearmedizin. Bei diesem Verfahren wird ein mit einem Positronenstrahler markiertes Radiopharmakon typischerweise in die Vene injiziert und es werden metabolische Vorgänge im menschlichen Körper mit einem PET-Scanner aufgezeichnet.

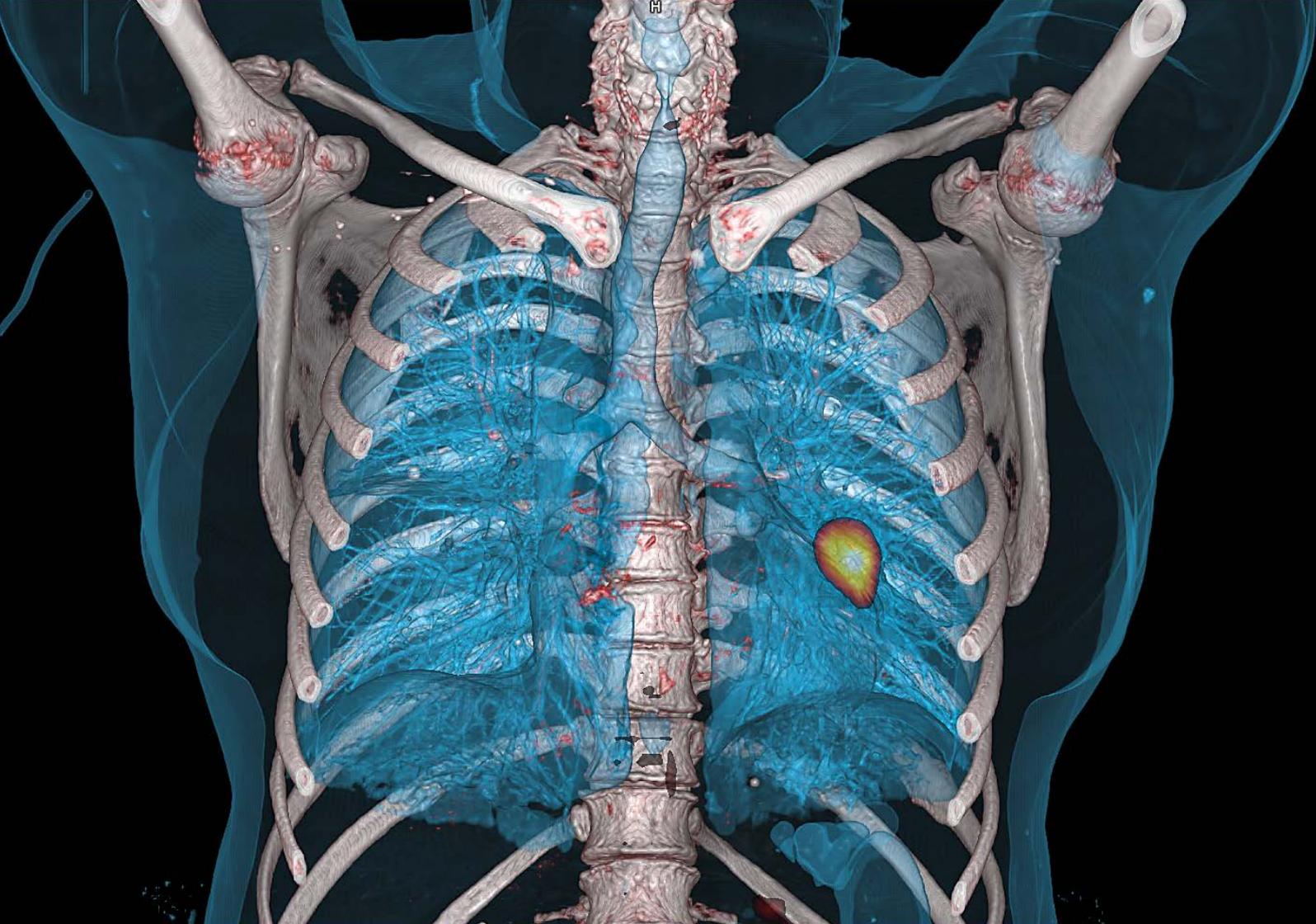
Das physikalische Prinzip der PET-Untersuchung basiert auf dem Beta-Plus-Zerfall (Positronenfreisetzung). Nach kurzer Laufstrecke im Gewebe vereinigt sich das Positron mit einem Elektron. Bei diesem so genannten Annihilationsereignis wird die Masse beider Teilchen in Energie umgesetzt und zwar in zwei, in einem Winkel von 180° zueinander ausstrahlende, diametral entgegengesetzte Photonen. Ein PET-System besteht aus vielen kleinen, ringförmig angeordneten Photonen-Detektoren. Nur dann, wenn je ein Photon auf zwei Detektoren gleichzeitig auftrifft, registriert das System ein bilderzeugendes Ereignis (Hermann, 1992; Valk et al., 2003). Die heute häufig verwendeten Positronenstrahler sind ^{18}F , ^{68}Ga , ^{11}C , ^{13}N oder ^{124}I . Im Prinzip werden physiologische und biochemische Prozesse des Stoffwechsels im menschlichen Körper mittels Positronen-

Emittern in vivo bildlich dargestellt (J. Ruhlmann et. al., 1998; Valk et al., 2003). Der PET Scanner ermöglicht dadurch nicht nur eine Zuordnung der anatomischen Verteilung, sondern auch eine quantitative Messung von Stoffwechsel in den Zellen des menschlichen Körpers. Diese Untersuchung erlaubt Therapeut*innen eine Aussage über (Tumor-) Diagnostik und Therapieergebnisse in der Verlaufskontrolle. (Büll et al., 1987; H. N. Wagner, 1998; Wahl et al., 1991, D. Delbeke 1999, E. Bombardieri et al. 1999, E. Bombardieri et al. 2007 Book Chapter).

Die Computertomographie (CT) ist ein morphologisches bildgebendes Verfahren in der radiologischen Diagnostik unter Anwendung von Röntgenstrahlung, das bereits in den siebziger Jahren entwickelt wurde (Seynaeve et al., 1995).

Die PET/CT stellt eine Hybridbildgebung, eine Kombination eines nuklearmedizinischen (also PET) mit einem röntgenologischen (also CT) Verfahren dar. Durch die Kombination von metabolischer und morphologischer Bildgebung hat es das PET/CT geschafft, in die Geschichte als ‚die medizinische Entdeckung des Jahres‘ einzugehen (Beyer et al., 2006).





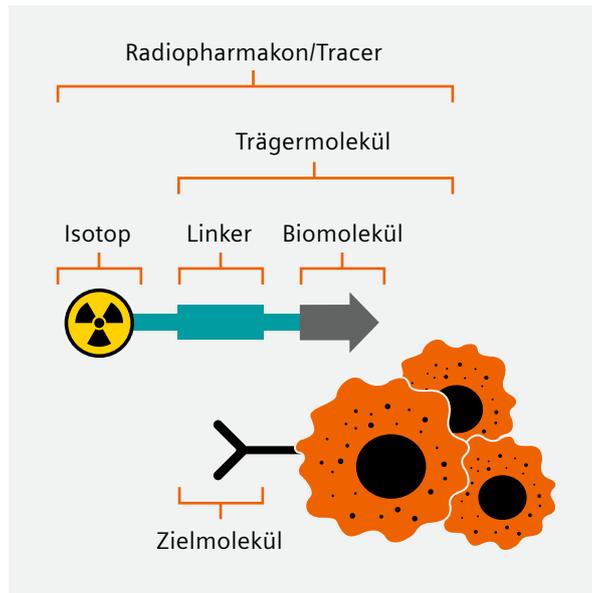
Warum PET/CT?

Der wesentliche Vorteil von PET/CT gegenüber der alleinigen PET ist eine wesentliche Erleichterung der Differentialdiagnose durch Synergieeffekte beider Modalitäten. Die CT-Aufnahmen bei dieser Kombinationsdiagnostik dienen einerseits zur Schwächungs- und Streukorrektur (des PET-Datensatzes) und andererseits als vollwertiger diagnostischer Bilddatensatz (vor allem nach i.v. Kontrastmittelgabe). Zwei getrennte Untersuchungen – mit geringerem Aussagegewicht – können den Patient*innen erspart werden. Ein weiterer Vorteil ist, dass sich die PET und die CT in der Zusammenschau gegenseitig unterstützen. Damit ist eine präzisere Ganzkörper-Diagnostik möglich (Pfluger et al., 2004), und ferner erhöht sich hierdurch auch der Komfort für die Patient*innen.

Seit der Einführung der PET/CT in der klinischen Routine hat sich ihre Anwendung vor allem in der Onkologie etabliert. Diese Kombinationsdiagnostik findet ihre Anwendung sowohl in der Initialdiagnostik als auch in der Therapieverlaufskontrolle diverser Tumorerkrankungen. Darüber hinaus kann die PET/CT auch bei Fieber unklarer Genese, chronischer Osteomyelitis oder Gelenkprotheseninfektionen bzw. in der Diagnostik der Alzheimererkrankung hilfreich sein (Biersack, 2009; Bockisch, 2006).

Gängige Tracer und Indikationsempfehlung

Zurzeit finden am häufigsten diese nuklearmedizinischen Radiopharmaka ihre Anwendung in der PET/CT-Diagnostik:



- Fluor-18-FDG (^{18}F -FDG) bei Fieber unklarer Genese, chronischer Osteomyelitis oder Gelenkprotheseninfektionen sowie neurologischen und onkologischen Fragestellungen
- Gallium-68-DOTA-SSTR (^{68}Ga -DOTA-SSTR) sowohl bei Initialdiagnostik als auch in der Therapieverlaufskontrolle neuroendokriner Tumorerkrankungen
- Gallium-68-PSMA und Fluor-18-PSMA sowohl bei Initialdiagnostik als auch in der Therapieverlaufskontrolle von Prostatakarzinomen
- Fluor-18-Fluorethyltyrosin (^{18}F -FET) zur Darstellung des Aminosäurestoffwechsels von Hirntumoren
- Fluor-18-BA-Liganden zur Darstellung von beta-Amyloid-Ablagerungen cerebral im Rahmen der Alzheimererkrankung

Biochemisches Wirkprinzip eines Radiopharmakons/Tracers (vereinfachte Darstellung)

Ablauf der PET/CT-Untersuchung



Tracer	Aufklärung/Applikation/Vorbereitung	Wartezeit	Untersuchungsdauer
¹⁸ F-FDG	Ca. 20 min. min. 6 Stunden vorher Nüchternheit Aktuelle Blutwerte nicht älter als 2 Wochen: TSH (Schilddrüsenwert), Kreatinin (Nierenwert)	60 min.	Ca. 20-30 min.
⁶⁸ Ga-DOTA-SSTR	Ca. 20 min. Aktuelle Blutwerte nicht älter als 2 Wochen: TSH (Schilddrüsenwert), Kreatinin (Nierenwert)	30 min.	Ca. 20-30 min.
⁶⁸ Ga-PSMA/ ¹⁸ F-PSMA	Ca. 20 min. Aktuelle Blutwerte nicht älter als 2 Wochen: TSH (Schilddrüsenwert), Kreatinin (Nierenwert), ggf. den letzten PSA-Wert	60-120 min.	Ca. 20-30 min.
¹⁸ F-FET	Ca. 20 min. min. 6 Stunden vorher Nüchternheit Aktuelle Blutwerte nicht älter als 2 Wochen: TSH (Schilddrüsenwert), Kreatinin (Nierenwert)	20-30 min.	Ca. 20-40 min.
¹⁸ F-BA-Liganden	Ca. 20 min. Aktuelle Blutwerte nicht älter als 2 Wochen: TSH (Schilddrüsenwert), Kreatinin (Nierenwert)	60 min.	Ca. 20-30 min.

Die Notwendigkeit von Blutwerten hängt von der Durchführung einer kontrastmittelgestützten CT ab. Diese dienen der Einschätzung der Nieren- und Schilddrüsenfunktion. Kreatinin (Nierenfunktion) und TSH (Schilddrüsenfunktion) sind die zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Informationsbroschüre gängigsten Parameter zur Evaluation einer Kontrastmittelgabe. Ob eine kontrastmittelgestützte CT durchgeführt wird, erfahren Sie beim durchführenden Zentrum vor Ort.

Indikationen für PET/CT

Indikationen für die PET in der Onkologie

Tumorart	Indikationsempfehlung
Lungenkarzinom	FDG-PET/CT: Staging, Nachweis von Lymphknoten- und Fernmetastasen, Therapiekontrolle
Solitärer unklarer Lungenrundherd	FDG-PET/CT: Differentialdiagnose maligner/benigner Dignität
Kolorektales Karzinom	FDG-PET/CT: Therapiekontrolle, Re-Staging bei Tumormarkeranstieg, Nachweis von Lokalrezidiven sowie von Lymphknoten- und Fernmetastasen
Pharynxkarzinom	FDG-PET/CT: Staging, Nachweis von Fernmetastasen, Therapiekontrolle
Larynxkarzinom	FDG-PET/CT: Staging, Nachweis von Fernmetastasen, Therapiekontrolle
Melanom	FDG-PET/CT: Metastasensuche, Lymphknotenstaging
Glomatöse Hirntumoren	FDG-PET/CT, FET-PET/CT: Rezidivdiagnostik, Vitalität von Resttumoren, „biologisches Volumen“
Prostatakarzinom	PSMA-PET/CT: Staging, Nachweis von Lymphknoten- und Fernmetastasen, Therapiekontrolle, Indikationsstellung und Evaluation einer nuklearmedizinischen Therapie
Neuroendokriner Tumor (NET) und neuroendokrines Karzinom (NEC)	FDG-PET/CT oder DOTA-SSTR-PET/CT: Staging, Restaging bei Verdacht auf Rezidiv, Therapiekontrolle, Indikationsstellung und Evaluation einer nuklearmedizinischen Therapie
Schilddrüsenkarzinom	FDG-PET/CT, DOTA-SSTR-PET/CT: Restaging bei Verdacht auf Rezidiv, Nachweis von Lymphknoten- und Fernmetastasen
Oesophaguskarzinom	FDG-PET/CT: Lymphknoten- und Fernmetastasennachweis

Indikationen für die PET in der Onkologie

Tumorart	Indikationsempfehlung
Unklare Metastasen in der Leber	FDG-PET/CT: Nachweis extrahepatischer Herde bei inkonklusivem Befund im CT/MRT
Pankreaskarzinom	FDG-PET/CT: Differentialdiagnose Pankreaskarzinom/chronische Pankreatitis, Rezidivnachweis
Hodenkarzinom	FDG-PET/CT: Nachweis von Lymphknoten- und Fernmetastasen
Ovarialkarzinom	FDG-PET/CT: Nachweis von Lymphknoten- und Fernmetastasen im Staging und in der Nachsorge
Lymphom	FDG-PET/CT: Primäres Staging, Therapiekontrolle, Frühdiagnostik von Lokalrezidiven, Staging und Verlaufskontrolle
Metastasen eines unbekanntes Primärtumors	FDG-PET/CT: Primärtumor-Suche

Indikationen für die PET/CT nicht onkologischer Fragestellungen

Fachbereich	Indikationsempfehlung
Kardiologie	FDG-PET/CT: Vitalitätsdiagnostik, V.a. Endokarditis, Infektfoki
Entzündungsdiagnostik	FDG-PET/CT: Okkulte Infektfoki, FUO, Prothesen/Implantatinfektion, Rheumatologie
Neurologie	βA-Liganden-PET/CT oder FDG-PET/CT: Demenzabklärung/Amyloidablagerung

Im Sinne der Übersichtlichkeit wurde auf eine wiederholte Nennung der Radionuklide verzichtet.

Auf Seite 10 finden Sie die zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Informationsbroschüre am häufigsten verwendeten Tracerkombination. Welcher Radiotracer letztendlich verwendet wird, entscheidet das zuständige fachärztliche Personal für Nuklearmedizin nach Überprüfung der rechtfertigenden Indikation.

Vorteile der PET/CT in der Onkologie anhand ausgesuchter Tumorentitäten

Lungenkarzinom

Die meisten nicht kleinzelligen Bronchialkarzinome konzentrieren ^{18}F -FDG. Viele vergleichende Studien bei Patient*innen mit Bronchialkarzinomen zeigten, dass integrierte PET/CT-Diagnostik die separat akquirierten PET- bzw. CT-Bilder bei der Dignitätsabklärung pulmonaler Rundherde als auch der Ausbreitungsdiagnostik übertrifft. ^{18}F -FDG-PET/CT ist bei dieser Tumorentität besonders wertvoll für die folgenden Indikationen:

- Differentialdiagnose des solitären pulmonalen Rundherdes oder weiterer, suspekter Raumforderungen
- Präoperatives Staging des nicht kleinzelligen Bronchialkarzinoms
- Therapiekontrolle (Restaging) des nicht kleinzelligen Bronchialkarzinoms
- Rezidivdiagnostik des nicht kleinzelligen Bronchialkarzinoms
- Strahlentherapieplanung, insbesondere Bestimmung des Zielvolumens

Wie das nicht kleinzellige Bronchialkarzinom weist auch das maligne Pleuramesotheliom einen deutlich erhöhten Glukosemetabolismus auf, so dass ^{18}F -FDG-PET/CT bei diesem Tumor mit den o.g. Indikationen ebenfalls eingesetzt werden kann.

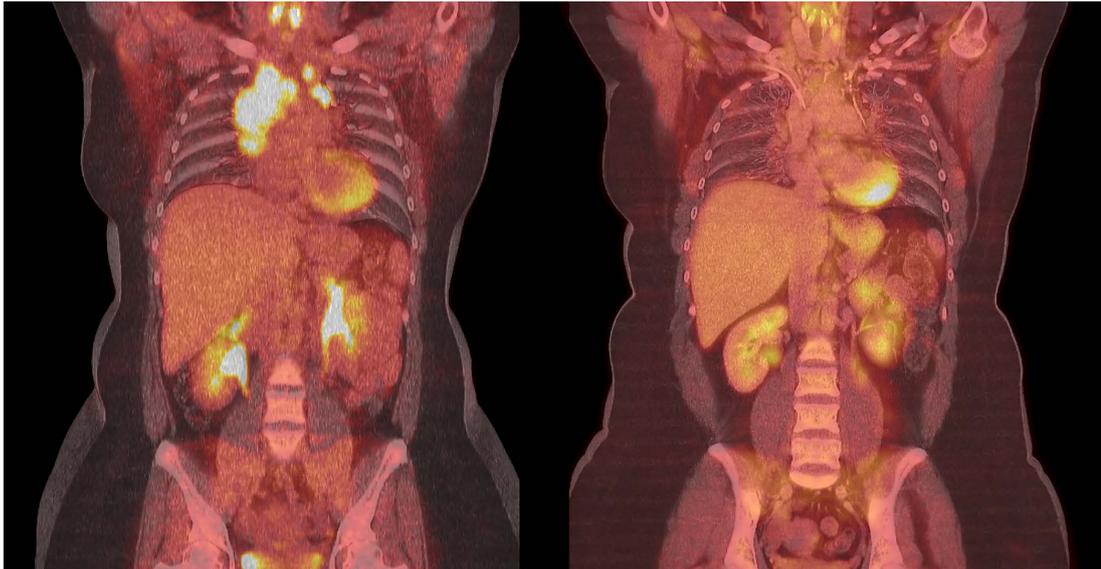
Kleinzellige Bronchialkarzinome reichern größtenteils ebenfalls FDG an, insbesondere bei den Fragestellungen „limited vs. extensive disease“ sowie Ausbreitungsdiagnostik sollte eine ^{18}F -FDG-PET/CT in Erwägung gezogen werden. Eine geringe Anreicherung von FDG findet sich bei Karzinoiden (siehe Neuroendokrine Tumore) und bronchiolo-alveolären Lungenkarzinomen. Falsch-positive Anreicherungen werden gelegentlich in entzündlichen Herden wie beispielsweise Aspergillomen gefunden.



Staging eines Bronchialkarzinoms des linken Lungenflügels vor Therapie. Der Tumor zeigt einen intensiv gesteigerten Glukosemetabolismus, kein Hinweis auf eine Lymphknoten- oder Fernmetastasierung.

Lymphome

Die meisten Lymphome reichern intensiv FDG an, so dass sich eine ^{18}F -FDG-PET/CT in hervorragender Weise zum Staging dieser Lymphome eignet. Die Radionuklidanreicherung gibt einen Rückschluss über die Vitalität der Tumorzellen, sodass die ^{18}F -FDG-PET/CT mittlerweile als Goldstandard im Rahmen des Therapiemonitorings von Lymphomen gilt (PETAL-Studie; Dührsen et. al. 2019).



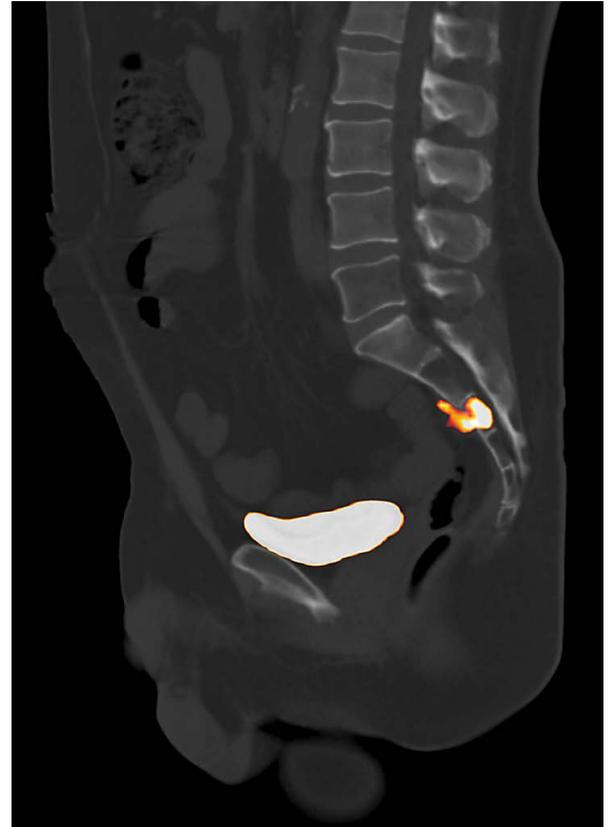
Großes, mediastinales Lymphom mit intensivem Glukose-metabolismus.

Links Initialstaging, rechts Abschlussstaging nach erfolgreicher Chemotherapie.

Kolorektales Karzinom

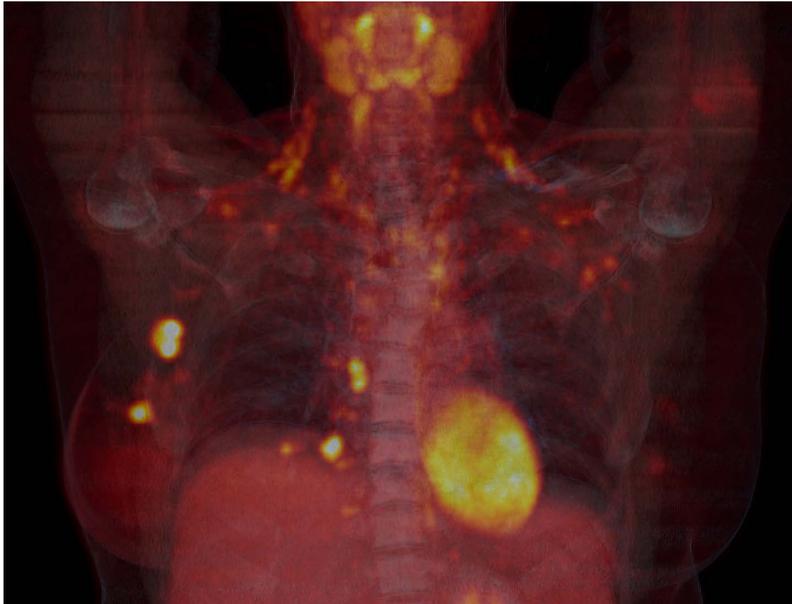
Der Glukosemetabolismus kolorektaler Karzinome ist vergleichsweise hoch. Dennoch spielt die ^{18}F -FDG-PET/CT beim initialen Staging dieses Tumors nur eine geringe Rolle und wird aktuell nicht empfohlen, da gerade initial befallene regionale Lymphknotenmetastasen sich aufgrund ihrer häufig nur geringen Größe dem sicheren Nachweis durch diese Technologie entziehen können. Anders ist die Situation bei einem vermuteten Rezidiv, beispielsweise bei einem CEA-Anstieg. So eignet sich die ^{18}F -FDG-PET/CT zum Restaging und insbesondere zum Nachweis von Leber- und Lymphknotenmetastasen, aber auch zur Diagnostik regionaler Rezidive.

Restaging bei Tumormarkeranstieg. Lokales Weichteilrezidiv mit ventraler Infiltration in das Os Sarcum. Harnblase dorsal der Symphyse mit physiologischer Tracerfüllung.



Mammakarzinom

Brustkrebszellen können einen intensiv gesteigerten Glukosemetabolismus aufweisen, als Goldstandard in der Initialdiagnostik gelten jedoch andere Verfahren wie z.B. die Mammographie. Dementsprechend sollte die ^{18}F -FDG-PET/CT nicht zum Initialstaging und lediglich im Rahmen der Rezidivdiagnostik durchgeführt werden.



Restaging aufgrund einer unklaren, axillären Lymphknotenschwellung 1 Jahr nach erfolgter brusterhaltender Therapie sowie adjuvanter Radio- und Chemotherapie. Lokalrezidiv mit axillären sowie parasternalen Lymphknotenmetastasen.

Prostatakarzinom

Prostatakarzinome und ihre Metastasen konzentrieren wenig FDG. Prostatakrebszellen sowie deren Metastasen exprimieren jedoch das sogenannte prostataspezifische Membranantigen („PSMA“), wofür seit 2013 die hochspezifischen, radioaktiv markierten PSMA-Liganden zu Verfügung stehen. Viele Studien zeigen einen deutlichen Vorteil der hybriden $^{68}\text{Ga}/^{18}\text{F}$ -PSMA-PET/CT-Bildgebung gegenüber der konventionellen Bildgebung insbesondere im Rahmen der Rezidivdiagnostik, z.B. bei einem biochemischen Rezidiv ohne bisherigen Nachweis einer Tumormanifestation. Auch im Rahmen des Initialstaging kann ein $^{68}\text{Ga}/^{18}\text{F}$ -PSMA-PET/CT durchgeführt werden, der Stellenwert dafür ist jedoch Teil aktueller Studien.

Darüber hinaus dient die $^{68}\text{Ga}/^{18}\text{F}$ -PSMA-PET/CT-Bildgebung der Indikationsstellung und Evaluation einer nuklearmedizinischen Therapie (sog. PSMA-Radioligandentherapie) bei Patienten mit metastasiertem Prostatakarzinom. Nur PSMA-affine Tumoranteile können mit dieser PSMA-Radioligandentherapie erreicht/therapiert werden.



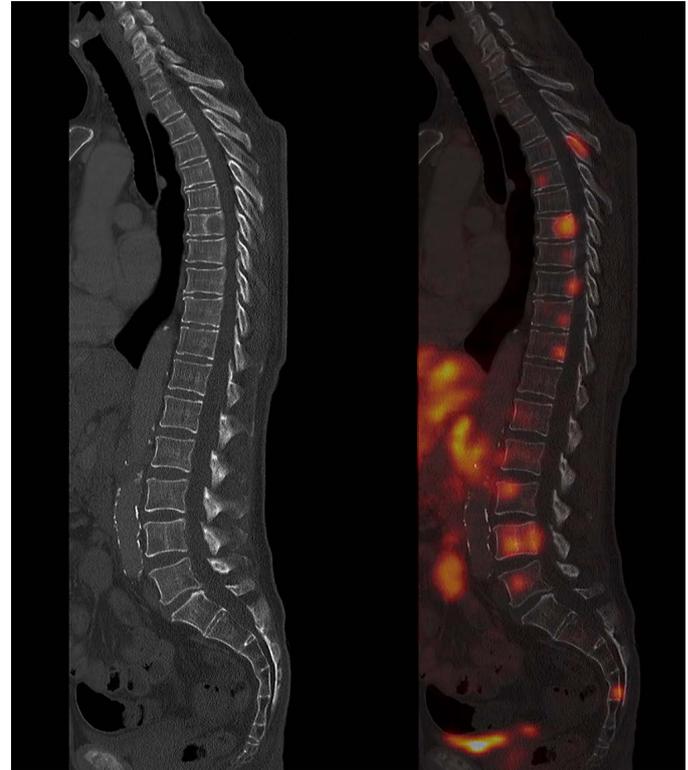
Biochemisches Rezidiv mit einem PSA von 10,5 ng/ml. Lokalrezidiv mit disseminierten Lymphknoten und Knochenmetastasen.

Neuroendokriner Tumor

Gut differenzierte (G1) bis mäßig differenzierte (G2) neuroendokrine Tumore exprimieren intensiv Somatostatinrezeptoren (SSTR) auf ihrer Membranoberfläche (insb. SSR-Subtyp 2). Hierfür stehen mehrere hochaffine, radioaktiv markierte, sog. „DOTA-Peptid-Liganden“ zur Verfügung. Dementsprechend stellt die ^{68}Ga -DOTA-SSTR-PET/CT eins der wichtigsten Standbeine im Rahmen des Initialstagings, Restagings und der Therapiekontrolle der meisten NETs dar. Auch schlecht differenzierte (G3), undifferenzierte (G4) neuroendokrine Tumore und neuroendokrine Karzinome können Somatostatinrezeptoren exprimieren, sollten aber durch ein ergänzendes ^{18}F -FDG-PET/CT abgeklärt werden.

Darüber hinaus dient ^{68}Ga -DOTA-SSTR-PET/CT-Bildgebung der Indikationsstellung und Evaluation einer nuklearmedizinischen Therapie (sog. Radiopeptidtherapie) bei Patient*innen mit metastasierten, neuroendokrinen Tumoren. Nur DOTA-SSTR-affine Tumore können mit dieser Radiopeptidtherapie erreicht/therapiert werden.

Hepatisch und ossär metastasiertes NET des Pankreas. Links im CT zeigt sich eine singuläre, osteolytische Knochenmetastase in BWK 7. Rechts Demaskierung weiterer, morphologisch nicht detektierbarer Knochenmetastasen im PET-Fusionsbild.

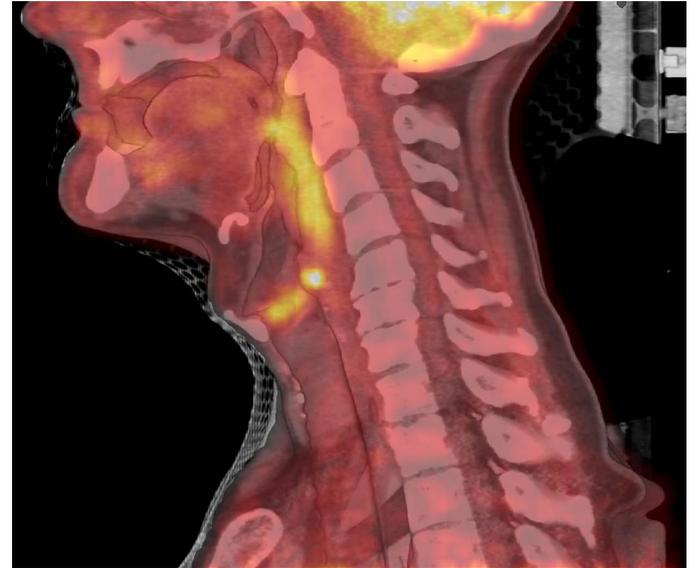


Kopf-Hals-Tumore

Der Glukosemetabolismus der Kopf-Hals-Tumore ist variabel, dennoch lässt sich die ^{18}F -FDG-PET/CT für das lokoregionäre Staging, die Identifizierung von Fernmetastasen und die Darstellung von Therapieeffekten einsetzen.

Ein Problem kann die relativ hohe physiologische FDG-Anreicherung in verschiedenen Strukturen dieser anatomischen Region darstellen, insbesondere können falsch-positive Befunde durch FDG-Aufnahme in die Halsmuskulatur oder in das braune Fettgewebe entstehen. Diese falsch-positiven Befunde lassen sich durch Fusion der PET mit der idealerweise kontrastmittelgestützten, gleichzeitig aufgenommenen CT sehr gut identifizieren.

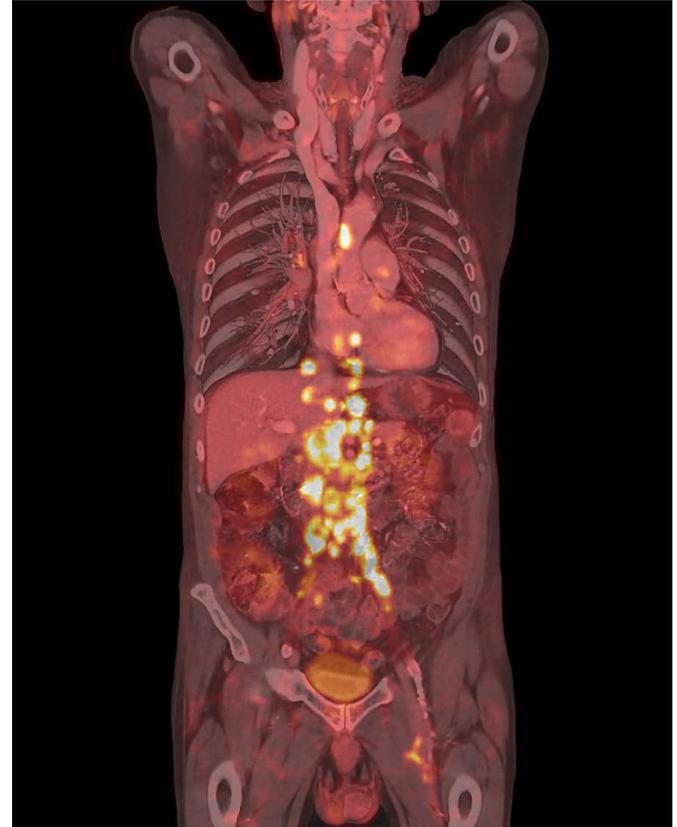
Restaging eines Pharynxkarzinoms zur Bestrahlungsplanung. Zur besseren Evaluation erfolgte die Aufnahme bereits mit angefertigter Bestrahlungsmaske.



„Cancer of Unknown Primary“ (CUP-Syndrom)

Der Großteil von Metastasen mit unbekanntem Primarius weist einen hohen Glukosemetabolismus auf. Hierbei kann die ^{18}F -FDG-PET/CT bei der Identifizierung des Primarius helfen.

In seltenen Fällen kann ein CUP-Syndrom eines neuroendokrinen Tumors (sog. NET-CUP) auftreten, konkordant sollte hier der Einsatz einer ^{68}Ga -DOTA-SSTR-PET/CT zur Primariussuche erfolgen (siehe Neuroendokrine Tumore).



Disseminierte lymphonoduläre Metastasierung eines pankreatischen Primarius.

Malignes Melanom

Melanome gehören zu den Tumoren mit dem höchsten Glukosemetabolismus. Entsprechend genau ist die ^{18}F -FDG-PET/CT beim Staging dieser Tumore. So lassen sich mit molekularer Bildgebung die häufig in atypischen Regionen vorhandenen Lymphknoten- und Fernmetastasen dieser Tumorentität exzellent darstellen.

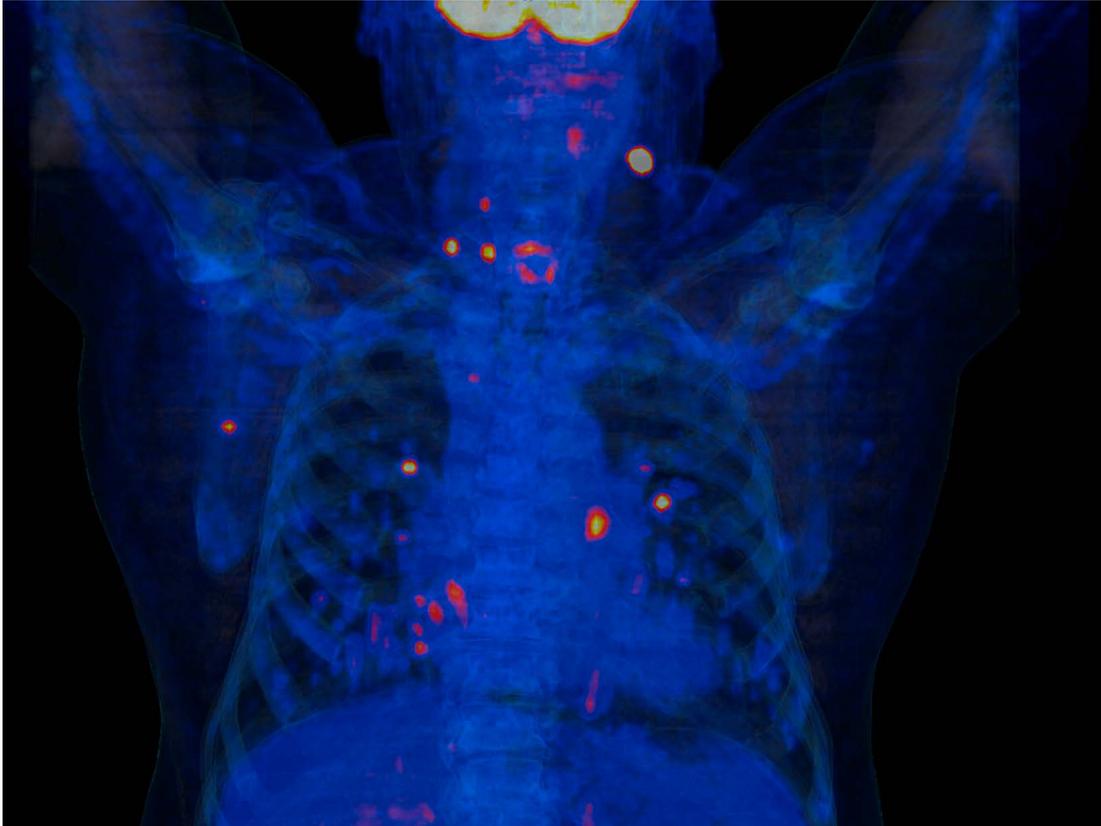
Restaging eines thorakoabdominell disseminiert metastasierten malignen Melanoms zur Therapiekontrolle. Multiple vitale Metastasen mit weiterhin gesteigertem Glukosemetabolismus. Avitale Tumormanifestationen zeigten keinen gesteigerten Glukosemetabolismus.



Schilddrüsenkarzinom

Mit Radiojod lassen sich im Regelfall schon mit konventioneller nuklearmedizinischer Methode gut differenzierte Schilddrüsenkarzinome diagnostizieren und auch behandeln. Bei etwa 10% dieser Tumore kommt es allerdings zu einem Verlust ihrer Jodspeicherfähigkeit als Ausdruck ihrer zunehmenden Entdifferenzierung. Die ^{18}F -FDG-PET/CT ist das genaueste bildgebende Verfahren zur Lokalisation radiojod-negativer Absiedlungen des Schilddrüsenkrebs. Die Diagnostik ermöglicht damit die gezielte operative Resektion solcher Metastasen. Je nach Tumorentität kann auch ein ergänzendes ^{68}Ga -DOTA-SSTR-PET/CT sinnvoll sein.

Pulmonal, cervikal sowie ossär metastasiertes, entdifferenziertes (jodnegatives) Schilddrüsenkarzinom.



Vorteile der PET/CT-Untersuchung bei nicht onkologischen Erkrankungen

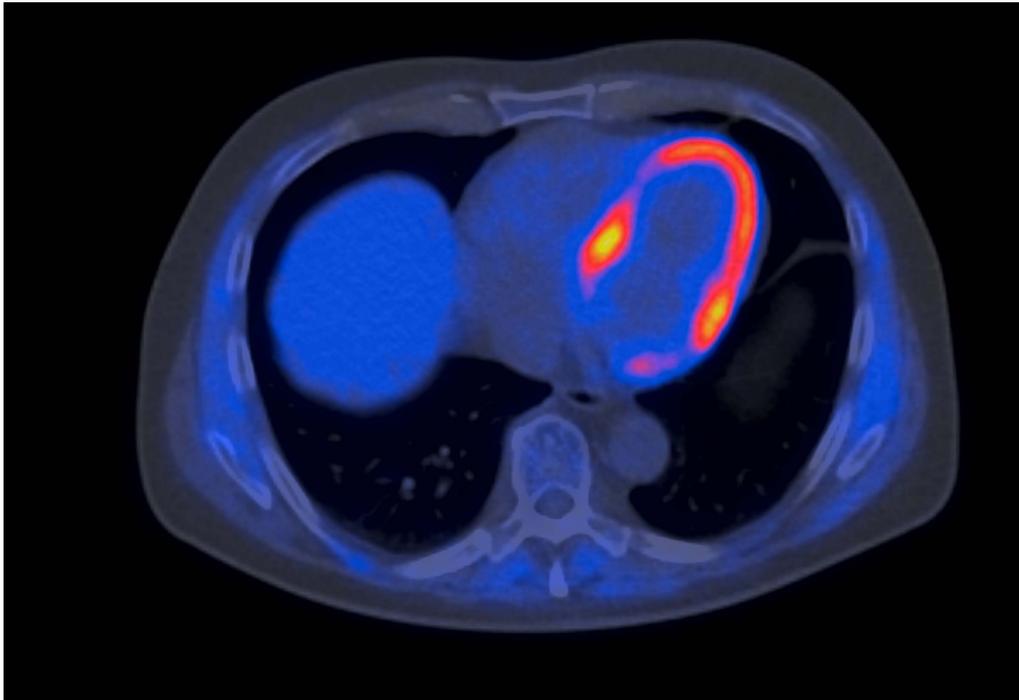
Die stürmische Entwicklung des Einsatzes von PET in den onkologischen Fächern hat vielerorts vergessen lassen, dass die ^{18}F -FDG-PET/CT eines der genauesten bildgebenden Verfahren zum Nachweis neurodegenerativer Prozesse ist. Auch im Rahmen der Diagnostik kardialer Fragestellungen oder infektiologischer und autoimmuner Erkrankungen sollte eine PET-Diagnostik nicht erst als letzte Möglichkeit gesehen, sondern vielmehr schon zur Früherkennung genutzt werden.

Kardiologie

Das Herz verstoffwechselt bevorzugt Glukose, wodurch es sich optimal zur Aufnahme von FDG eignet. Unter Normalbedingungen zeigt das Myokard, insbesondere das linksventrikuläre, eine homogene FDG-Anreicherung; das rechtsventrikuläre Myokard ist aufgrund der geringeren Dicke häufig nicht beurteilbar. Im klinischen Alltag hat sich die ^{18}F -FDG-PET/CT in folgenden Fragestellungen als besonders wichtig erwiesen:

- Differentialdiagnose Myokardnarbe vs. hibernierendes Myokard
- Lokalisation eines autonomen Arealen bei ventrikulärer Tachykardie
- Verdacht auf Endokarditis oder Perikarditis
- Nachweis/Ausschluss von Protheseninfekte
- Abklärung einer kardialen Amyloidose (Amyloid-Tracer)

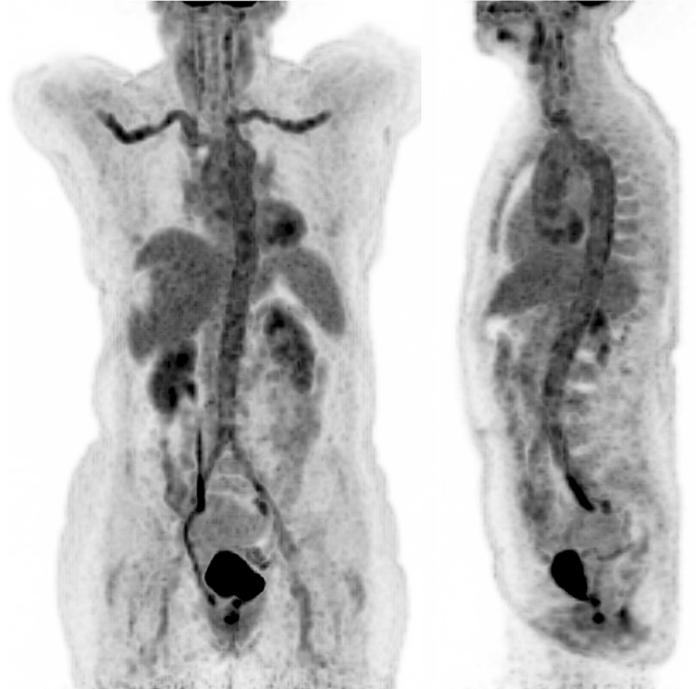
Bitte beachten: Vor einer ^{18}F -FDG-PET/CT-Untersuchung des Herzens ist eine spezielle Vorbereitung des myokardialen Glukosestoffwechsels mittels spezieller Diäten/Medikamente in vielen Fällen unerlässlich. Die notwendigen Informationen stellt das zuständige fachärztliche Personal im Rahmen der Anmeldung der Patient*innen zur Verfügung.



Differenzierung einer myokardialen Narbe vs. hibernierendes Myokard vor einer Reperfusion mittels Bypass. Myokardnarbe des antero-septalen bis mid-septalen linksventrikulären Kammermyokards. Das rechtsventrikuläre sowie atriale Myokard zeigt physiologischerweise keinen verwertbaren FDG-Uptake.

Entzündungsdiagnostik

Infektionen und Entzündungen haben aufgrund von Perfusionssteigerung und Immunreaktionen eingewanderter Zellen einen erhöhten Glukosemetabolismus. Im Rahmen des sog. Fiebers unklarer Genese („FUO – Fever of unknown origin“) oder eines okkulten Infektes erweist sich die konventionelle Diagnostik häufig nicht als zielführend. Das FDG-Verteilungsmuster kann nicht nur eine genauere Einschätzung über die Ausbreitung, sondern auch Hinweise auf eine mögliche Ursache geben. Analog zur kardialen Diagnostik zeigen auch extrakardiale Prothesen (z.B. Gefäßprothesen, Gelenkprothesen uvm.) sowie Implantate im Rahmen eines Infektes eine gesteigerte FDG-Anreicherung. Darüber hinaus eignet sich eine ^{18}F -FDG-PET/CT-Untersuchung auch zur Ausbreitungsdiagnostik und Therapiekontrolle einiger autoimmuner und rheumatoider Erkrankungen (z.B. Vaskulitiden).

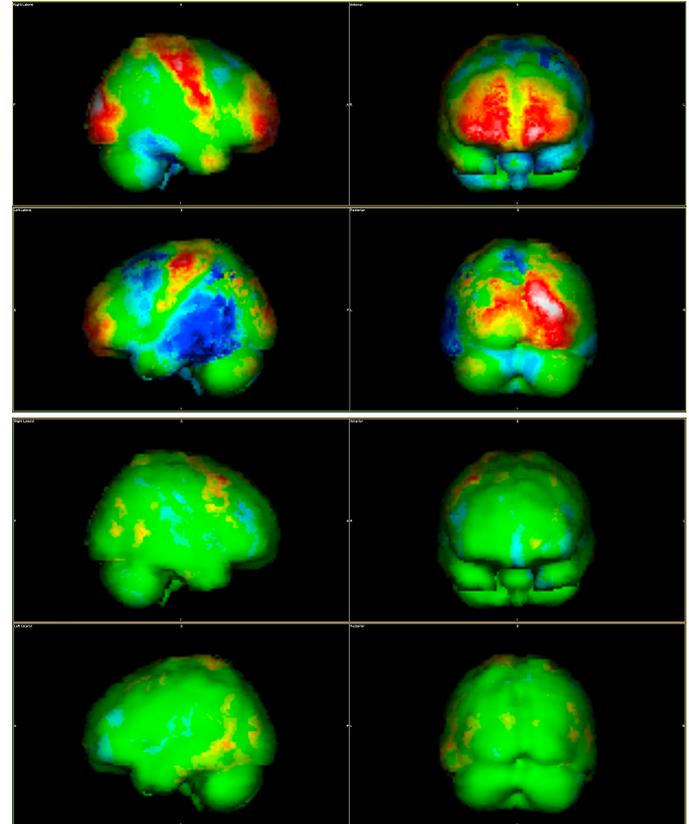


Vaskulitis der großen Gefäße mit langstreckig gesteigertem Glukosemetabolismus der Aorta sowie abgehenden großen Arterien. Links koronarer Schnitt, rechts sagittaler Schnitt.

Neurologie

Demenzielle Erkrankungen sind in vielen Fällen durch einen verminderten, kortikalen Glukosemetabolismus charakterisiert. Ein ^{18}F -FDG-PET/CT eignet sich mit sehr hoher Genauigkeit zur Früh- und Differentialdiagnostik von Demenzen. Ferner eignet es sich zum Nachweis epileptogener Foki und mit ^{18}F -DOPA auch zur Frühdiagnose des M. Parkinson. Amyloid-Tracer eignen sich aufgrund ihres hochspezifischen Verteilungs- und Anreicherungsmusters zur Differentialdiagnostik bei Morbus Alzheimer.

Abklärung Demenz. Oben Oberflächenprojektion des kortikalen Glukosemetabolismus mit ausgeprägten Minderanreicherung charakterisch für M. Alzheimer im Vergleich zum altersgenormten Kollektiv. Unten Oberflächenprojektion des kortikalen Glukosemetabolismus einer nicht betroffenen Person.



Weiterführende Informationen

Deutsche Gesellschaft für Nuklearmedizin e.V.

www.nuklearmedizin.de

Berufsverband deutscher Nuklearmediziner e.V.

www.berufsverband-nuklearmedizin.de

Verein zur Förderung und Verbreitung der
Positronen-Emissions-Tomographie e.V.

www.petev.de

Norddeutsche Gesellschaft für Nuklearmedizin e.V.

www.ngn-home.org

Berlin-Brandenburgische Gesellschaft für Nuklearmedizin e.V.

www.bbgn-online.de

Gesellschaft für Nuklearmedizin Mitteldeutschlands e.V.

www.nuklearmedizin-mitteldeutschlands.de

Rheinisch-Westfälische Gesellschaft für Nuklearmedizin e.V.

www.rwgn.de

Mittelrheinische Gesellschaft für Nuklearmedizin e.V.

www.mg-nuklearmedizin.de

Südwestdeutsche Gesellschaft für Nuklearmedizin e.V.

www.swdg-nukmed.de

Bayerische Gesellschaft für Nuklearmedizin e.V.

www.nuklearmedizin-bayern.de

Deutsche Gesellschaft für Medizinische Physik e.V.

www.dgmp.de

Österreichische Gesellschaft für Nuklearmedizin und
Molekulare Bildgebung

www.ognmb.at

Schweizerische Gesellschaft für Nuklearmedizin

www.nuklearmedizin.ch

European Association of Nuclear Medicine (EANM)

www.eanm.org

Weiterführende Literatur

- 1) Beyer, T., Townsend, D. W. (2006). Putting ‚clear‘ into nuclear medicine: a decade of PET/CT development. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 33, 857-861.
- 2) Biersack, H. J. (2009). Evaluation of PET-CT : product safety, clinical usefulness, reimbursement in Germany and the USA. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 52, 594-600.
- 3) Bockisch, A. et al. (2006) PET/CT Evolution oder Revolution in der onkologischen Diagnostik? *Deutsches Ärzteblatt Heft 103 / 2006, Ausgabe 5, Seite A-249 / B-215 / C-210*
- 4) Boellaard, R. et al. „FDG PET/CT: EANM procedure guidelines for tumour imaging: version 2.0“. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2015, 42: 328-354
- 5) Bombardieri, E. et al. (2007) Book “Clinical Nuclear Medicine”, Chapter 18 “The relevance of PET in Diagnostic Oncology”: Springer-Verlag
- 6) Bozkut, M. F. et al. „Guideline for PET/CT imaging of neuroendocrine neoplasms with 68Ga-DOTA-conjugated somatostatin receptor targeting peptides and 18F-DOPA“. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2017, 44: 1588-1601
- 7) Cecchin, D. et al. “PET Imaging in Neurodegeneration and Neuro-oncology: Variants and Pitfalls.“ *Seminars in nuclear medicine*, S0001-2998(21)00016-7. 2021.
- 8) Delbeke, D., (2001). Positron emission tomography imaging in oncology. *Radiologic Clinics of North America* 35, 1:883-917.
- 9) Fendler, W. et al. „68Ga-PSMA PET/CT: Joint EANM and SNMMI procedure guideline for prostate cancer imaging: version 1.0“. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2017, 44: 1014–1024
- 10) Ferdinandus, J. et al. “Prostate-specific membrane antigen targeted PET imaging for prostate cancer recurrence.“ *Current opinion in urology* vol. 30,5 (2020)
- 11) Hermann, H.-J. (2004): *Nuklearmedizin* 5. Auflage: Urban & Schwarzenberg.
- 12) Iking, J. et al. “Imaging Inflammation with Positron Emission Tomography.“ *Biomedicines* vol. 9,2 212. 2021
- 13) Kunikowska, J. et al. “EANM Focus 3: The International Conference on Molecular Imaging and Theranostics in Neuroendocrine Tumours-the consensus in a nutshell.“ *European journal of nuclear medicine and molecular imaging* vol. 48,5 (2021)
- 14) Pfluger, T., la Fougere, C., Stauss, J., Santos, R., Vollmar, C., Hahn, K. (2004). [Combined Scanners (PET/CT, SPECT/CT) Versus Multimodality Imaging with Separated Systems]. *Radiologe* 44, 1105-1112.
- 15) Valk, P. E., Bailey, D. L., Townsend, D. W., Maisey, M. N. (2006): *Positron Emission Tomography Basic Science and Clinical Practice*. London: Springer-Verlag.

Hinweis: Bei der Druckwiedergabe von Originalbildern ist eine geringere Detailzeichnung unvermeidlich.

Diese Informationsbroschüre entstand in enger Zusammenarbeit mit der Klinik für Nuklearmedizin des Universitätsklinikums Essen. (<https://nuklearmedizin.uk-essen.de>)

Alle verwendeten klinischen Bilder wurden vom Universitätsklinikum Essen auf Systemen von Siemens Healthineers erstellt.

Siemens Healthineers Headquarters

Siemens Healthcare GmbH
Henkestr. 127
91052 Erlangen, Germany
Phone: +49 9131 84-0
siemens-healthineers.com

Local Contact Information

Siemens Healthcare GmbH
Karlheinz-Kaske-Str. 2
91052 Erlangen, Germany
Phone: +49 800 311 22 99
siemens-healthineers.de