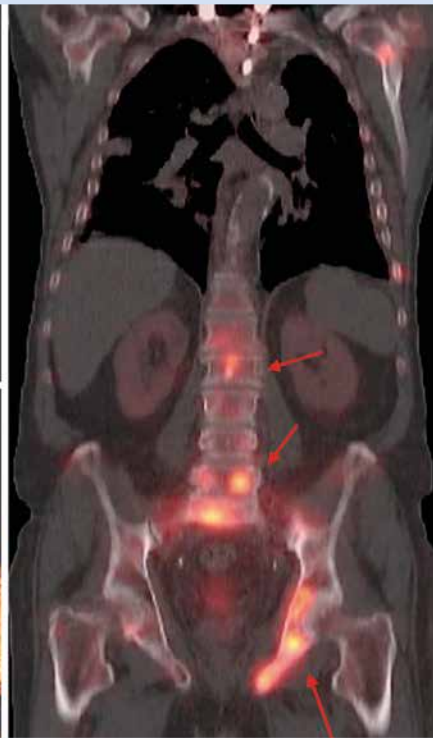
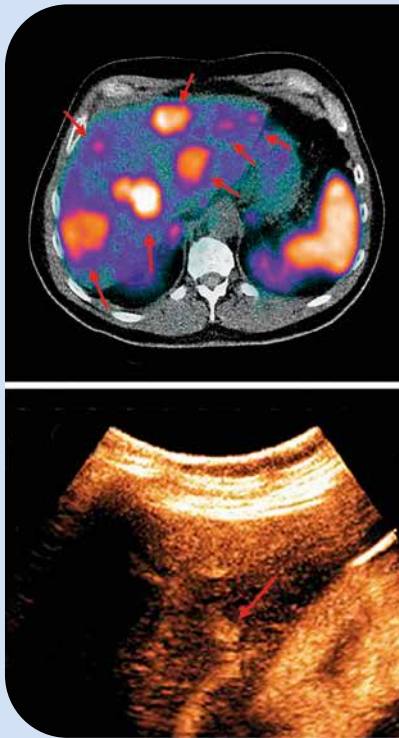


Neuroendokrine
Neoplasien
besser
verstehen

Nuklearmedizin bei Neuroendokrinen Tumoren

Prof. Dr. med. Hojjat Ahmadzadehfar, PD Dr. med. Anna Lensing,
Prof. Dr. med. Michael Kreißl, Dr. med. Daniel Hescheler, Annika Gral,
Prof. Dr. med. Markus Essler



NETZWERK *NeT*

Herausgeber: Netzwerk Neuroendokrine Tumoren (NeT) e. V., Wörnitzstr. 115 a, 90449 Nürnberg

1. Auflage, Stand 2025

© Urheberrechtlich geschützt

Nachdruck, Wiedergabe, Vervielfältigung und Verbreitung in jedweder Form, auch von Auszügen oder Abbildungen, bedürfen der schriftlichen Genehmigung des Herausgebers.

Wichtiger Hinweis:

Medizin und Wissenschaft unterliegen ständigen Entwicklungen. Autoren, Herausgeber und Verlag verwenden größtmögliche Sorgfalt, dass vor allem die Angaben zu Behandlung und medikamentöser Therapie dem aktuellen Wissensstand entsprechen. Eine Gewähr für die Richtigkeit der Angaben ist jedoch ausdrücklich ausgeschlossen. Jeder Benutzer muss im Zuge seiner Sorgfaltspflicht die Angaben anhand der Beipackzettel verwendeter Präparate und gegebenenfalls auch durch Hinzuziehung eines Spezialisten überprüfen und ggf. korrigieren. Jede Medikamentenangabe und/oder Dosierung erfolgt ausschließlich auf Gefahr des Anwenders.

Diese Broschüre ersetzt keinesfalls den Arztbesuch.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	6
1 Bildgebende Diagnostik bei Neuroendokrinen Tumoren (NET)	7
Warum sind diese Informationen für Sie als Patient*in relevant?	7
Was ist für Sie wichtig zu wissen?	7
Sonographie (Ultraschall)	7
Prinzip und Funktionsweise	7
Indikationen	8
Vorbereitung	8
Ablauf	8
Ergebnisse	8
Abstände der Kontrolluntersuchungen	9
Computertomographie (CT)	9
Prinzip und Funktionsweise	9
Indikationen	10
Kontraindikationen	10
Vorbereitung	10
Kontrastmittel	10
Ablauf	11
Platzangst	11
Strahlenbelastung	11
Ergebnisse	11
Abstände der Kontrolluntersuchungen	12
Magnetresonanztomographie (MRT)	12
Prinzip und Funktionsweise	12
Indikationen	13
Kontraindikationen	13
Vorbereitung	13
Ablauf	14
Kontrastmittel	14
Weitere Risiken	15
Platzangst	15
Ergebnisse	15
Abstände der Kontrolluntersuchungen	15

Skelettszintigraphie mit SPECT/CT	16
Prinzip und Funktionsweise	17
Indikationen	17
Kontraindikationen	17
Vorbereitung	17
Ablauf der Untersuchung	17
Umgang mit Platzangst	18
Strahlenbelastung	18
Ergebnisse	18
Abstände der Kontrolluntersuchungen	18
Somatostatin-Rezeptor-Bildgebung	18
Prinzip und Funktionsweise	19
Indikation	20
Kontraindikation	20
Vorbereitung	21
Ablauf	21
Platzangst	22
Strahlenbelastung	22
Ergebnisse	22
Abstände der Kontrolluntersuchungen	22
Fluorodesoxyglukose-Positronenemissionstomographie/ Computertomographie	23
Prinzip und Funktionsweise	23
Indikationen	23
Kontraindikationen	23
Vorbereitung	24
Ablauf	24
Platzangst	25
Strahlenbelastung	25
Ergebnisse	25
Abstände der Kontrolluntersuchungen	25
2 SIRT (Selektive Interne Radiotherapie)	26
Grundprinzipien der SIRT	26
Wann wird sie angewandt? Welche Erfolge sind zu erwarten?	26
Ablauf der SIRT	27
Vorbereitung	27

Fragen und Antworten	30
Muss ich nüchtern kommen?	30
Ist die SIRT schmerzhaft?	30
Bekomme ich bei der SIRT eine Vollnarkose?	31
Wie lange muss ich danach mit Druckverband stillliegen?	31
Was ist, wenn ich Wasserlassen muss oder der Durchfall kommt?	31
Bekomme ich etwas zu essen oder zu trinken?	31
Wie lange dauert die SIRT und wie lange bleibe ich im Krankenhaus?	31
Wiederholung SIRT-Therapie und in welchem Abstand?	31
Wie hoch ist die verabreichte Radioaktivität?	31
Ist die SIRT gefährlich?	32
Besteht eine Gefährdung für meine Umgebung?	32
3 Peptid-Rezeptor-Radionuklid-Therapie (PRRT) mit ¹⁷⁷LuDOTATOC – zielgerichtete Therapie bei neuroendokrinen Tumoren (NET)	33
Was macht die PRRT genau?	33
Nachgewiesene Erfolge	34
Profitieren von einer Therapie mit solider Datenlage	34
Ablauf und Planung	34
Ablauf des stationären Aufenthalts	34
Welche Nebenwirkungen sind zu erwarten?	35
Was soll nach der Entlassung beachtet werden?	35
Therapieplan und Nachsorge: Wie viele Zyklen sind üblich?	35
Begleitung und Unterstützung	36
Ausblick	36
4 Erfahrungsberichte	
Mit Zuversicht durch die Therapie – mein Weg, meine Hinweise und Erfahrungen zur bei mir durchgeführten Radiopeptidtherapie mit Lutetium-177 DOTATOC	37
„Wir empfehlen Ihnen daher die Radioembolisation (SIRT-Therapie)“ – ein Erfahrungsbericht aus Patientensicht	41
PRRT – Erfahrungen aus Patientensicht	45

Vorwort

Liebe Leserin, lieber Leser,

wir freuen uns sehr, Ihnen hiermit eine Informationsbroschüre zum Thema: „Nuklearmedizin bei Neuroendokrinen Tumoren“ präsentieren zu können.

Die Nuklearmedizin ist ein eher kleines medizinisches Fach, aber in der Diagnostik und Therapie von Neuroendokrinen Tumoren sehr bedeutend. Sie arbeitet mit strahlenden Radionukliden. Nukleare Strahlung ist oft mit vielen Ängsten und Befürchtungen verbunden, sei es bezüglich schweren Nebenwirkungen oder die Auswirkungen auf die Umwelt. Früher haben einige von uns mit „Atomkraft - nein danke“ auf der Straße gegessen, und nun soll die „Strahlung“ nützlich und heilsam sein?

Ausgewiesene Expertinnen und Experten auf dem Gebiet der Nuklearmedizin erläutern gut verständlich die Durchführung der Diagnostik und Therapie (PRRT und SIRT), was Sie dabei beachten sollten, welche Ergebnisse erzielt werden können.

Betroffene, die diese Therapie bereits mitgemacht haben, berichten aus ihrer Erfahrung und geben wertvolle Tipps, wie man sich gut darauf vorbereiten kann und was einen erwartet. Dadurch können viele Ängste genommen werden, Sie können zuversichtlich in eine solche Therapie gehen, wenn das Tumorboard sie Ihnen vorgeschlagen hat.

Wir als Netzwerk Neuroendokrine Tumore NeT e.V. unterstützen Sie gerne bei weiteren Fragen. Rufen Sie uns an oder kontaktieren Sie uns unter: info@netzwerk-net.de. Auf unserer Website finden Sie weitere hilfreiche Informationen über NET.

Besuchen Sie: www.netzwerk-net.de

Wir haben stets ein offenes Ohr für Ihre Fragen und Sorgen.

Ich wünsche Ihnen viele neue Erkenntnisse beim Lesen sowie Mut und viel Kraft bei der weiteren Bewältigung Ihrer Erkrankung.

Irmgard Baßler

Fachärztin für Innere Medizin

Vorsitzende Netzwerk NeT e.V.

1 Bildgebende Diagnostik bei Neuroendokrinen Tumoren (NET)

Im ersten Teil präsentieren wir Ihnen in verständlicher Weise die verschiedenen Methoden der bildgebenden Diagnostik, darunter die Computertomographie, Magnetresonanztomographie und Positronemissionstomographie (PET/CT).

Warum sind diese Informationen für Sie als Patient*in relevant?

Die Wahl der richtigen Diagnosemethode kann zunächst verwirrend erscheinen. Wir möchten Ihnen dabei helfen zu verstehen, wann und wie oft jede Methode angewendet wird und ob eine spezielle Untersuchung, wie zum Beispiel PET-CT, in Ihrem Fall erforderlich ist.

Was ist für Sie wichtig zu wissen?

Medizinische Untersuchungen können Unsicherheiten hervorrufen. Daher möchten wir auf häufig gestellte Fragen eingehen, um Ihnen mehr Klarheit zu verschaffen:

- Ist es notwendig, nüchtern zur Untersuchung zu erscheinen?
- Wie lange dauert die Untersuchung?
- Welcher Strahlenbelastung bin ich ausgesetzt, und spielt ein eventuelles Kontrastmittel eine Rolle?
- Ist das Kontrastmittel gefährlich?
- Wie geht man mit Platzangst um?
- Wie lange dauert es, bis Sie die Untersuchungsergebnisse erhalten?

Diese Patientenbroschüre bietet Ihnen einfache Erklärungen, damit Sie sich besser vorbereitet fühlen und während des gesamten Untersuchungsprozesses mehr Sicherheit gewinnen. Unser Ziel ist es, Ihnen die Informationen zu geben, die Sie benötigen, um Ihre eigene Situation besser zu verstehen.

Sonographie (Ultraschall)

Die Sonographie bietet einen schonenden Einblick in den Körper und ermöglicht eine präzise Diagnose ohne Strahlenbelastung.

Prinzip und Funktionsweise

Die Sonographie nutzt hochfrequente Schallwellen, die von einem Schallkopf ausgesendet und im Körper reflektiert werden. Ein Computer wandelt die reflektierten Schallwellen in Echtzeitbilder um. Die unterschiedliche Dichte des Gewebes im Körper ermöglicht die Darstellung von Organen und Strukturen.

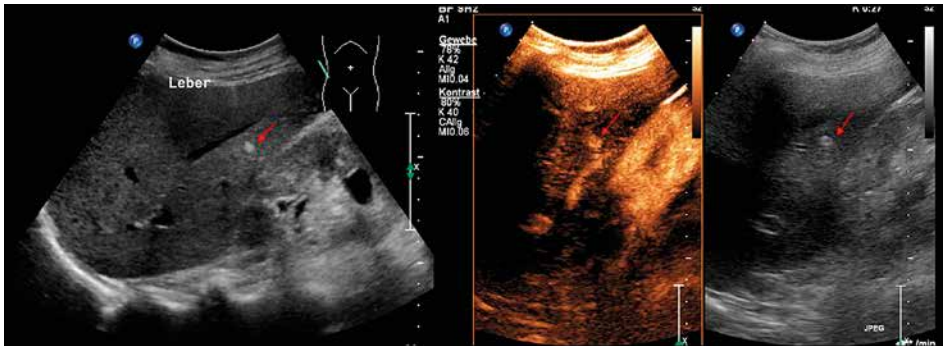


Abb. 1 zeigt die sonographische Untersuchung einer unklaren Läsion in der Leber, die durch einen roten Pfeil markiert ist. Um diese Läsion genauer zu charakterisieren, wurde eine Kontrastmittel-unterstützte Sonographie (KM-Sonographie) durchgeführt (mittleres Bild). Bei dieser Methode wird ein Kontrastmittel in den Blutkreislauf injiziert, um die Blutversorgung der Leberläsionen besser darzu-stellen und dadurch genauere Informationen über die Art und das Verhalten der Läsion zu gewinnen. Dies kann helfen, zwischen benignen (gutartigen) und malignen (bösartigen) Veränderungen zu unterscheiden und die weitere Diagnostik und Therapie zu planen.

Indikationen

- Erstuntersuchung zur Lokalisierung eines Tumors.
- Überwachung des Tumorwachstums.
- Identifizierung von Lebermetastasen.

Vorbereitung

In der Regel ist keine spezielle Vorbereitung erforderlich.

Bei Untersuchungen des Bauches empfiehlt sich jedoch, dass der Magen nicht zu voll ist. Außerdem sollte eine vermehrte Gasansammlung im Magen-Darm-Bereich vermieden werden, da dies zu Gasschatten in der Sonographie und somit eingeschränkter Beurteilbarkeit der Untersuchung führt.

Ablauf

Der Oberkörper muss frei sein und Sie legen sich auf dem Rücken auf die Unter-suchungs-liege.

Ein Gel wird auf die Haut aufgetragen, um den Ultraschallwandler, auch Ultraschall-kopf genannt, zu bewegen.

Das ärztliche Fachpersonal führt den Wandler über die Haut, um Bilder zu erzeugen. Die schmerzfreie Untersuchung dauert in der Regel 15–20 Minuten.

Ergebnisse

Die Ergebnisse sind normalerweise direkt abfragbar.

Abstände der Kontrolluntersuchungen

Die Sonographie erfolgt je nach klinischer Notwendigkeit.

Regelmäßige Untersuchungen zur Überwachung des Tumorwachstums und zur Erkennung von Metastasen können in Intervallen von einigen Monaten bis zu einem Jahr durchgeführt werden.

Computertomographie (CT)

Die Bildgebung mittels Computertomographie (CT) ist vergleichbar mit einem detaillierten Röntgenbild. Sie ermöglicht mittels Röntgenstrahlen den Körper auf potenzielle Tumoren zu untersuchen und liefert präzise Informationen über den Ort und die Größe des Tumors zwecks Früherkennung und Charakterisierung von Gewebeveränderungen. Die CT ist ein wichtiger diagnostischer Ansatz, der insbesondere kombiniert mit Positronenemissionstomographie, die Diagnose und gezielte Behandlungsplanung bei neuroendokrinen Tumoren unterstützt.

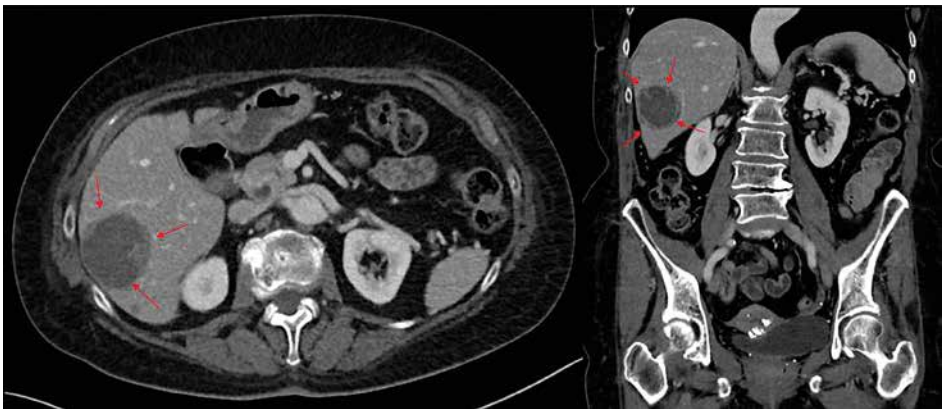


Abb. 2: Kontrastmittelunterstützte CT-Untersuchung mit Darstellung einer Leberläsion im rechten Leberlappen. Die roten Pfeile markieren die Position der Läsion. Das Kontrastmittel hebt die Läsion hervor, wodurch sie sich deutlich vom umgebenden gesunden Gewebe abgrenzt, und ermöglicht eine präzise Beurteilung ihrer Größe und Beschaffenheit.

Prinzip und Funktionsweise

Die CT nutzt Röntgenstrahlen, die durch den Körper durchdringen. Detektoren messen die Intensität der durch das Gewebe hindurchgehenden Strahlen, und ein Computer erstellt auf Basis dieser Daten detaillierte Querschnittsbilder. Meist wird ein jodhaltiges Kontrastmittel verwendet, um den Kontrast zu verbessern und bestimmte Bereiche besser sichtbar zu machen.

Indikationen

- Lokalisierung und Charakterisierung des Tumors.
- Beurteilung von Lymphknotenbeteiligung.
- Erkennung von Lebermetastasen, Lungenmetastasen und andere Organmetastasen sowie Knochenmetastasen.

Kontraindikationen

- Schwangerschaft
- Überempfindlichkeit oder allergische Reaktion auf Kontrastmittel
- Fortgeschrittene Nierenfunktionsstörung
- Ausgeprägte Schilddrüsenüberfunktion

Vorbereitung

In der hausärztlichen Praxis sollte zunächst eine Laboruntersuchung zur Beurteilung der Nierenfunktion und der Schilddrüsenfunktion durchgeführt werden.

Bitte bringen Sie, abgesehen von der Überweisung, Ihre Laborwerte sowie relevante Berichte und CDs mit früheren Untersuchungen zum Vergleich mit.

Nüchternheit kann insbesondere bei Verwendung von jodhaltigem Kontrastmittel sinnvoll sein. Ein Grund wäre eine gleichmäßige Verteilung des oralen Kontrastmittels (das vor der Untersuchung getrunken wird) im Magen-Darm-Trakt. Zudem kann Essen oder Tablettenreste im Magen zu Artefakten führen, die die Bildqualität beeinträchtigen. Des Weiteren reagieren einige Patienten mit Übelkeit auf das Kontrastmittel. Nüchternheit reduziert das Risiko von Übelkeit und daraus resultierenden Komplikationen.

Wichtig: Geben Sie Informationen zu Allergien, insbesondere gegenüber jodhaltigem Kontrastmittel an.

Kontrastmittel

Bei den meisten Staging-Untersuchungen mittels CT wird ein jodhaltiges Kontrastmittel verwendet, um bestimmte Bereiche hervorzuheben. Die Kontrastmittelgabe erfolgt intravenös und oral, nur selten zusätzlich rektal, um z. B. nach einer Darmoperation eine Leckage auszuschließen.

Selten, aber möglich sind allergische Reaktionen. Menschen mit Nierenerkrankungen haben ein höheres Risiko für Kontrastmittel-induzierte Nierenfunktionsstörung. Personen mit Schilddrüsenenerkrankungen, insbesondere Schilddrüsenüberfunktion, sollten vor der Untersuchung dies ansprechen.

Übliche, nur kurz andauernde und ungefährliche Reaktionen während der intravenösen Kontrastmittelgabe sind Wärmegefühl, metallischer Geschmack im Mund und Druck in der Harnblase.

Es ist wichtig, Bedenken und Vorerkrankungen vorher zu besprechen. Das ärztliche Fachpersonal wird die individuellen Risiken und Vorteile bewerten, um sicherzustellen, dass die Untersuchung sicher und effektiv ist.

Ablauf

- Nach Einholen der schriftlichen Einwilligung zur Untersuchung wird ein venöser Zugang gelegt.
- Gürtel, Schmuck und andere metallische Gegenstände sollten Sie vor der Untersuchung ablegen.
- Sie legen sich auf dem Rücken auf eine bewegliche Liege, die in den CT-Scanner geschoben wird. Während der Untersuchung rotiert der Scanner um den Körper und erstellt Querschnittsbilder. In den meisten Fällen wird ein jodhaltiges Kontrastmittel injiziert, um die Bildqualität zu verbessern.
- Die Untersuchung im CT-Scanner dauert in der Regel etwa 3–5 Minuten.
- Nach der Untersuchung werden Sie aufgefordert für ca. eine halbe Stunde Platz im Warteraum zu nehmen um auszuschließen, dass es zu einer akuten allergischen Reaktion nach Kontrastmittelgabe kommt.

Platzangst

Da die neuen CT-Scanner sehr schnell sind und wie ein breiter Ring konstruiert sind, ist die Untersuchung selbst bei Platzangst meist problemlos durchführbar.

Bei Platzangst ist es hilfreich die Augen während der Untersuchung zu schließen und zu versuchen, sich auf die Atmung zu konzentrieren. Äußert selten sind Beruhigungsmittel vor der Untersuchung notwendig.

Strahlenbelastung

CT verwendet Röntgenstrahlen, daher gibt es eine Strahlenbelastung. Wenn Kontrastmittel verwendet wird, kann dies zu einer leicht höheren Strahlenexposition als bei einer nativen CT (ohne Kontrastmittel) führen. Die Strahlendosis wird in der Einheit Sievert bzw. Millisievert (Sv bzw. mSv) gemessen. Die Gesamtstrahlenbelastung von einer kombinierten CT Thorax/Abdomen-Untersuchung mit Kontrastmittel kann je nach Geräteeinstellung und der individuellen Anatomie der zu untersuchenden Person im Bereich von 5 bis 15 mSv liegen. Zum Vergleich liegt die durchschnittliche jährliche natürliche Strahlenbelastung zwischen 2 bis 3 mSv.

Ergebnisse

In einer Staging-CT vom Thorax und Abdomen werden mehr als 1000 Bilder erfasst, sorgfältig bearbeitet und ausgewertet. Oft werden diese Bilder auch mit tausenden von Bildern aus Voruntersuchungen verglichen, um Veränderungen im Verlauf der Erkrankung besser zu verstehen. Die endgültigen Ergebnisse solcher umfassenden Untersuchungen sind in der Regel nach einigen Tagen bis zu einer Woche verfügbar.

Abstände der Kontrolluntersuchungen

CT-Untersuchungen können zur Überwachung des Tumorstatus und zur Bewertung des Ansprechens auf die Behandlung durchgeführt werden. Intervalle können je nach klinischer Notwendigkeit variieren, üblicherweise alle 6 bis 12 Monate.

Magnetresonanztomographie (MRT)

Die Magnetresonanztomographie (MRT) verwendet Magnetfelder und Radiowellen, um den Körper detailliert darzustellen. Dies ermöglicht Ärzten, Gewebestrukturen genau zu sehen und Tumoren zu identifizieren. Besonders bei Fragestellungen, die eine genaue Darstellung der Weichteile oder Differenzierung von Leberveränderungen erfordern, zeichnet sich die MRT durch ihre überlegene Fähigkeit aus, ohne Verwendung von ionisierender Strahlung hochauflösende Bilder zu liefern.

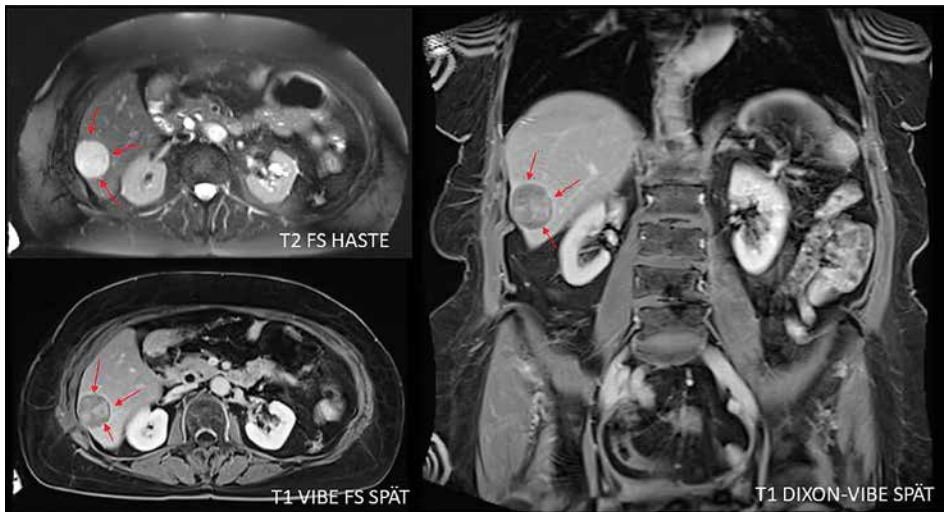


Abb. 3: Kontrastmittelunterstützte MRT-Untersuchung mit Darstellung einer Leberläsion im rechten Leberlappen. Die roten Pfeile markieren die genaue Position der Läsion. Kontrastmittel hilft dabei, die Läsion deutlich von dem umgebenden gesunden Lebergewebe abzugrenzen und ihre Struktur und Ausdehnung genauer zu beurteilen.

Prinzip und Funktionsweise

Die MRT nutzt ein starkes Magnetfeld und Radiowellen, um detaillierte Bilder des Körperinneren zu erstellen.

Wasserstoffatome im Körper reagieren auf das Magnetfeld, und die dabei entstehenden Signale werden von einem Computer in hochauflösende Bilder umgewandelt.

Gadoliniumhaltiges Kontrastmittel kann in einigen Fällen verwendet werden, um bestimmte Strukturen besser darzustellen.

Die MRT verwendet keine ionisierenden Röntgenstrahlen und ist somit mit keiner ionisierenden Strahlenexposition verbunden.

Indikationen

- Besonders geeignet bei Tumoren und Metastasen im Kopf, Hals, Leber und Nebenniere.
- Es werden detaillierte Bilder zur präzisen Bestimmung von Tumorlage, -größe und -beschaffenheit zwecks Therapieplanung und Beurteilung des Therapieansprechens erstellt.
- Als Alternative zu CT insbesondere bei wiederholten Untersuchungen und bei jungen Patienten sowie bei Kontraindikationen für die Gabe eines jodhaltigen Kontrastmittels.

Kontraindikationen

- Metallische Implantate im Körper oder Fremdkörper, die nicht MRT-sicher sind (wie bestimmte Herzklappenprothesen oder neurologische Implantate).
- Schwangerschaft: In den ersten Schwangerschaftswochen wird die MRT oft vermieden, es sei denn, es besteht eine dringende medizinische Notwendigkeit. Später in der Schwangerschaft kann die MRT in Erwägung gezogen werden, wenn der Nutzen das potenzielle Risiko überwiegt.
- Vorhandensein von Herzschrittmachern oder nicht-MRT-kompatiblen elektronischen Implantaten.
- Nicht entfernbare Metallpartikel im Auge.
- Fortgeschrittene Nierenfunktionsstörungen bei MRT-Untersuchungen, die Kontrastmittel erfordern.
- Schwere Klaustrophobie, wenn eine Sedierung abgelehnt oder nicht durchführbar ist.
- Allergie gegenüber Gadolinium-haltigen Kontrastmitteln.

Vorbereitung

Bitte bringen Sie, abgesehen von der Überweisung, ein aktuelles Labor mit dem Nierenwert Kreatinin sowie relevante Berichte und CDs mit früheren Untersuchungen zum Vergleich mit.

Teilen Sie bitte Informationen über Schrittmacherimplantate, Metallimplantate oder Allergien gegenüber gadoliniumhaltigem Kontrastmittel und Nierenerkrankungen mit. Bei Untersuchung der Gallenwege und des Magen-Darm-Traktes sollten Sie nüchtern kommen. Bei den meisten MRT-Untersuchungen, z. B. MRT-Kopf und MRT-Hals ist keine Nüchternheit erforderlich.

Bei Untersuchungen der Gallenwege und des Magen-Darm-Traktes wird Ihnen eventuell ein orales Kontrastmittel zum Trinken gegeben.

Zur Vorbereitung bei Untersuchungen des Bauchraumes könnte die Gabe von Buscopan erforderlich sein. Dabei wäre die Fähigkeit zum Autofahren und zum Bedienen von Maschinen für wenige Stunden beeinträchtigt.

Auch im Falle einer allergischen Reaktion oder Sedierung wären Sie nicht in der Lage selbst nach Hause zu fahren.

Nehmen Sie sich daher sicherheitshalber eine Begleitperson mit.

Unmittelbar vor der Untersuchung entfernen Sie jeglichen metallischen Schmuck, Uhren, Brillen, Piercings und andere Metallgegenstände. Nehmen Sie kein Handy und keine Chip-Karten in den MRT- Untersuchungsraum mit.

In einigen Fällen werden Sie aufgefordert Ihre Kleidung abzulegen und ein Krankenhauskleid anzuziehen.

Ablauf

Nach Einholen der schriftlichen Einwilligung zur Untersuchung erfolgt die Punktion einer Vene, um einen venösen Zugang zu legen, falls erforderlich.

Sie legen sich auf eine Liege, die in den MRT-Tunnel geschoben wird.

Dann wird Ihnen der Notfallknopf erläutert und ein Gehörschutz aufgrund der entstehenden Lautstärke angelegt.

Mithilfe von Magnetfeldern und Radiowellen entstehen präzise Bilder des untersuchten Bereichs. Dabei werden Sie klopfende Geräusche wahrnehmen.

Bei Bedarf wird gadoliniumhaltiges Kontrastmittel injiziert.

Die Untersuchung dauert in der Regel etwa 25–40 Minuten.

Kontrastmittel

Die gängigen Kontrastmittel enthalten Gadolinium, ein Metall, das das MRT-Bild verbessert.

Es gibt zwei Haupttypen von gadoliniumhaltigen Kontrastmitteln: lineare und makrozyklische. Makrozyklische Kontrastmittel werden im Allgemeinen als stabiler angesehen und zeigen eine geringere Neigung zur Ablagerung im Körper. Die gesundheitlichen Auswirkungen der Gadolinium-Ablagerungen, insbesondere im Gehirn sind nicht vollständig verstanden. Es wird jedoch angenommen, dass sie im Allgemeinen keine akuten gesundheitlichen Probleme verursachen.

Allergische Reaktionen auf Kontrastmittel sind selten, können aber vorkommen.

Bei Verwendung gadoliniumhaltiger Kontrastmittel besteht bei Personen mit eingeschränkter Nierenfunktion ein geringes Risiko für nephrogene systemische Fibrose. Die Entscheidung über die Verwendung von Kontrastmitteln sollte individuell getroffen werden.

Weitere Risiken

Die Wärmeentwicklung während einer MRT-Untersuchung ist normalerweise minimal, gefährdet könnten jedoch Personen mit eingeschränkter Thermoregulation sein. Ältere metallische Implantate könnten sich erwärmen und selten dislozieren (sich von ihrem Platz wegbewegen). Schrittmacher und ältere Cochlea-Implantate enthalten elektronische Komponenten, die durch das starke Magnetfeld des MRT beeinträchtigt werden können.

Platzangst

Falls Sie Platzangst haben, sprechen Sie das beim medizinischen Team vor der Untersuchung gezielt an, damit entsprechende Maßnahmen ergriffen werden können. In einigen Fällen kann ein leichtes Beruhigungsmittel gegeben werden, um die Angst zu lindern. Selten ist eine Sedierung erforderlich.

Klären Sie vorab ob es erlaubt ist, eine vertraute Person zur Unterstützung während der Untersuchung mitzubringen. Insbesondere wenn eine Sedierung notwendig ist, sind Sie auf eine unterstützende Begleitperson nach der Untersuchung angewiesen. Hilfreich können Entspannungstechniken sein, z. B. versuchen Sie sich während der Untersuchung auf Ihren Atem oder positive Gedanken bzw. beruhigende Bilder zu konzentrieren.

Viele Einrichtungen bieten Kopfhörer mit entspannenden Klängen während der Untersuchung an.

Gegebenenfalls hätten Sie die Möglichkeit die Untersuchung in einer Einrichtung mit offenem MRT-Gerät durchführen zu lassen. Diese bietet etwas mehr Platz und könnte für Personen mit Platzangst komfortabler sein.

Ergebnisse

Die MRT-Untersuchung generiert eine Vielzahl von Bildern, typischerweise mehrere Hundert bis über Tausend, die sorgfältig ausgewertet werden müssen. Dieser Prozess erfordert Zeit und Präzision, um genaue diagnostische Informationen zu gewinnen. Nach Abschluss der Bildauswertung sind die Ergebnisse in der Regel nach einigen Tagen verfügbar.

Abstände der Kontrolluntersuchungen

Intervalle der Kontrolluntersuchungen können je nach klinischer Notwendigkeit variieren, üblicherweise alle 6 bis 12 Monate. Die Abstände können größer sein, wenn die MRT abwechselnd mit Computertomographie oder PET/CT im Rahmen der Tumornachsorge angewendet wird.

Skelettszintigraphie mit SPECT/CT

Die Skelettszintigraphie ist eine nuklearmedizinische Untersuchung zur Darstellung des Knochenstoffwechsels. Sie wird häufig zur Diagnose von Knochenmetastasen, Entzündungen, Frakturen oder anderen Knochenerkrankungen eingesetzt.

Die Kombination mit SPECT/CT (Single Photon Emission Computed Tomography/Computed Tomography) ermöglicht eine verbesserte drei-dimensionale Darstellung und anatomische Zuordnung der Veränderungen.

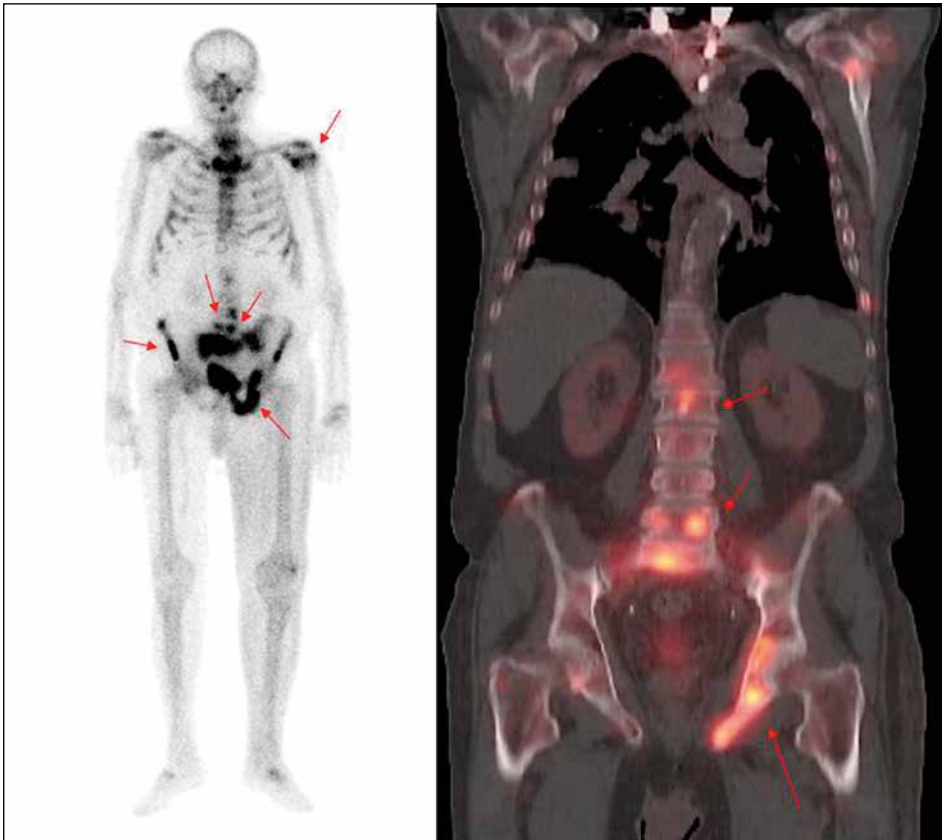


Abb. 4: Die Abbildung zeigt eine Skelettszintigraphie, sowohl in der planar als auch in der SPECT/CT-Darstellung. Mehrere Knochenmetastasen sind in der Wirbelsäule und im Becken zu sehen, die durch rote Pfeile markiert sind. Die planare Szintigraphie liefert eine Übersicht über die Verteilung der radioaktiven Substanz im Skelett, während die SPECT/CT eine detailliertere dreidimensionale Darstellung bietet, die die genaue Lokalisation und das Ausmaß der Metastasen besser sichtbar macht.

Prinzip und Funktionsweise

Für die Untersuchung wird ein radioaktiv markiertes Phosphat-Derivat, meist Technetium-99m-markiertes MDP (Methylen-Diphosphonat) oder HDP (Hydroxy-Methylen-Diphosphonat), verwendet. Diese Substanz reichert sich in Bereichen mit erhöhtem Knochenstoffwechsel an. Die Gammastrahlen, die vom Tracer ausgesendet werden, werden von einer Gamma-Kamera erfasst und in Bilder umgewandelt, die die Verteilung der Aktivität im Skelett zeigen.

Oft wird zusätzlich eine SPECT/CT durchgeführt. Die SPECT-Komponente liefert dreidimensionale Bilder des Knochenstoffwechsels, während die CT-Komponente genaue anatomische Informationen liefert. Diese Kombination ermöglicht eine präzise Lokalisation und Charakterisierung von pathologischen Veränderungen.

Indikationen

- Die Hauptindikation für eine Skelettszintigraphie bei NET ist die Diagnose und Staging von Knochenmetastasen.

Zudem kann die Untersuchung hilfreich sein zur:

- Erkennung von Frakturen, z. B. bei unklaren/tumorbedingten oder multiplen Frakturen.
- Identifizierung der Ursache von unklaren Knochenschmerzen.

Kontraindikationen

- Schwangerschaft: Schwangere Frauen sollten die Untersuchung vermeiden, da die Strahlenbelastung potenziell schädlich für den Fötus ist.
- Stillzeit: Stillende Frauen sollten die Muttermilch abpumpen und entsorgen, um die Strahlenexposition des Säuglings zu minimieren.

Vorbereitung

Es ist nicht notwendig, nüchtern zur Untersuchung zu erscheinen. Ausreichend Flüssigkeit vor und nach der Untersuchung hilft, den Tracer schneller aus dem Körper auszuschcheiden.

Bitte bringen Sie einen Überweisungsschein, frühere Untersuchungsergebnisse und aktuelle Laborwerte mit.

Metallische Gegenstände sollten vor der Untersuchung abgelegt werden.

Ablauf der Untersuchung

Nach der schriftlichen Einwilligung erfolgt die Punktion einer Vene zur Injektion des Radiopharmakons und anschließend wird die Substanz injiziert. Danach folgt eine Wartezeit von etwa 2–4 Stunden, in der sich der Tracer im Knochen anreichert.

Bei der Bilderstellung werden Sie in Rückenlage auf eine bewegliche Liege positioniert, die in den SPECT/CT-Scanner geschoben wird. Die Bildgebung dauert etwa 30–60 Minuten.

Umgang mit Platzangst

Das medizinische Team kann beruhigende Gespräche führen und Ihnen den Ablauf der Untersuchung erklären. Bei ausgeprägter Platzangst wird bei der Skelettszintigraphie die Aufnahme vom Kopf ausgespart. Beruhigende Musik kann während der Untersuchung helfen. Eine vertraute Person kann Sie zur Untersuchung begleiten. In seltenen Fällen werden Beruhigungsmittel eingesetzt, die jedoch die Fahrtüchtigkeit beeinträchtigen.

Strahlenbelastung

Die Strahlenbelastung wird in der Einheit Sievert (Sv) gemessen. Die effektive Dosis einer Skelettszintigraphie liegt bei etwa 4–6 mSv, vergleichbar mit der Dosis einer CT-Untersuchung des Abdomens. Die tatsächliche Strahlenbelastung kann je nach Patientengewicht und Untersuchungsprotokoll variieren.

Ergebnisse

Die Auswertung der Bilder ist anspruchsvoll und erfolgt durch Fachleute, die die funktionellen und anatomischen Informationen kombinieren. Die Ergebnisse sind in der Regel nach einigen Tagen bis einer Woche verfügbar.

Abstände der Kontrolluntersuchungen

Die Häufigkeit der Skelettszintigraphien hängt von der individuellen Krankengeschichte und dem Verlauf der Erkrankung ab. Häufig wird der Befund 6–12 Wochen nach erfolgter Therapie kontrolliert und mittels einer SSTR-Bildgebung korreliert.

Somatostatin-Rezeptor-Bildgebung

Die Somatostatin-Rezeptor-Bildgebung ist eine spezielle Form der Diagnostik, die die Sichtbarkeit von Somatostatin-Rezeptoren (SSTR) auf Zellen im ganzen Körper ermöglicht. Da diese Rezeptoren häufig auf NET-Zellen vorhanden sind, unterstützt dies die präzisere Tumoridentifikation. Die Anwendung von Somatostatin-Rezeptor-Szintigraphie mit SPECT/CT (in English: Single Photon Emission Computed Tomography) und SSTR-PET/CT (Positronenemissionstomographie/Computertomographie mit somatostatinrezeptoraffinen Radiopharmaka) bei NET hängt von verschiedenen Faktoren ab, darunter die spezifischen klinischen Gegebenheiten, die Verfügbarkeit der Technologien in der medizinischen Einrichtung und die Präferenzen des behandelnden ärztlichen Teams. SSTR-PET/CT bietet im Vergleich zur SSTR-Szintigraphie eine verbesserte Bildqualität und räumliche Auflösung und erweist sich als überlegen, insbesondere wenn es darum geht, kleine Tumoren und Metastasen aufzuspüren. Bei beiden Verfahren werden radioaktiv markierte tumorspezifische Substanzen, so genannte Tracer verwendet.

Prinzip und Funktionsweise

Für die Untersuchung wird ein radioaktiv markiertes Somatostatinanalogon verwendet. Diese Substanz bindet spezifisch an die Rezeptoren auf den Tumorzellen.

SSTR-Szintigraphie: Der Tracer sendet Gammastrahlen, die von einer Szintillationskamera aufgezeichnet werden. Die Kamera erstellt daraus Bilder, die die Verteilung des Tracers im Körper zeigen. Die SPECT/CT-Kamera dreht sich um den Körper, sodass 3D Daten erstellt werden und dadurch die Auflösung verbessert und die Artefaktbildung minimiert wird.

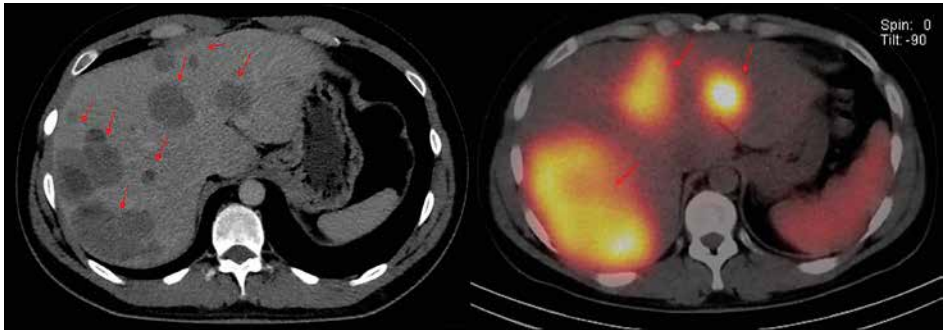


Abb. 5: Zwei Darstellungen der Leber bei Metastasen eines neuroendokrinen Tumors:

Links: Die CT-Aufnahme zeigt die Leber in einer detailreichen Darstellung. Die Metastasen sind in beiden Leberlappen durch rote Pfeile markiert.

Rechts: Die SSTR-SPECT/CT der Leber kombiniert die funktionelle Bildgebung der SPECT mit der anatomischen Bildgebung der CT. Die roten Pfeile markieren ebenfalls die Metastasen in beiden Leberlappen. Diese Methode nutzt radioaktiv markierte Substanzen, die spezifisch an Somatostatin-Rezeptoren binden, welche häufig auf neuroendokrinen Tumoren zu finden sind. Die SPECT/CT-Darstellung ermöglicht es, die genaue Lage und Aktivität der Tumorherde zu bestimmen.

SSTR-PET/CT: kombiniert die hohe Empfindlichkeit der PET-Bildgebung für molekulare Prozesse mit der räumlichen Auflösung der CT-Bildgebung für anatomische Strukturen. Für die SSTR-Bildgebung werden radioaktiv markierte Somatostatin-Analoga, meist DOTATOC, DOTATATE oder DOTANOC verwendet. Nach der Injektion eines radioaktiven Tracers, der an die Somatostatin-Rezeptoren bindet, werden Positronen (positiv geladene Elektronen) emittiert. Die Positronen treffen auf Elektronen (negativ geladene Teilchen) im Körper und löschen sich gegenseitig aus, die so genannte Positron-Elektron-Annihilation. Bei dieser Vernichtungsstrahlung entstehen zwei Photonen (hoch-energetische Gammastrahlen), die sich in entgegengesetzte Richtungen bewegen. Das Detektionssystem von der PET-Kamera misst die Positionen und Energien der gleichzeitig auftretenden Photonen. Durch die Analyse dieser Informationen kann der Computer exakte dreidimensionale Bilder erstellen, die die Verteilung der radioaktiven Tracer im Körper und somit die SSTR-positiven Tumoren darstellen.

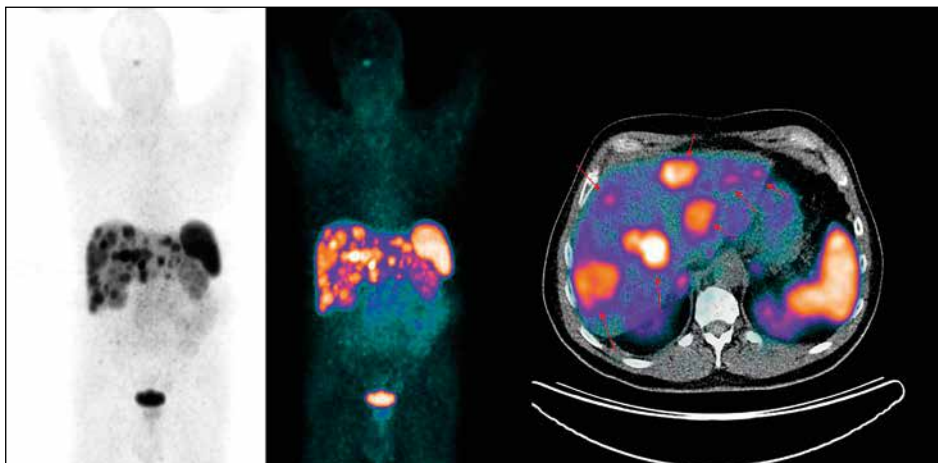


Abb. 6: Eine SSTR-PET/CT-Untersuchung. Die Lebermetastasen sind auf verschiedenen Bildtypen dargestellt:

- Links: Ein Schwarz-Weiß-MIP (Maximum Intensity Projection) Bild zeigt die Metastasen als schwarze Flecken.
- Mitte: Ein buntes MIP-Bild (GE Color) zeigt die Metastasen als orange Flecken.
- Rechts: Ein Fusionsbild von PET und CT, in dem die Metastasen ebenfalls als orange Flecken sichtbar sind und mit roten Pfeilen verdeutlicht werden.

Indikation

- Lokalisierung und Charakterisierung von neuroendokrinen Tumoren, die Somatostatin-Rezeptoren exprimieren, um zum Beispiel den Primärtumor zu identifizieren oder eine Biopsie bzw. Operation zur Diagnosesicherung zu planen
- Staging, d.h. Beurteilung der Ausbreitung von NET und Ausmaß der Metastasierung
- Planung und Überwachung von Therapieansätzen mit Somatostatin-Analoga oder Peptid-Rezeptor-Radionuklid-Therapie (PRRT)

Kontraindikation

- Schwangerschaft: schwangere Frauen sollten in der Regel SSTR-Bildgebungsverfahren vermeiden, da die Strahlenexposition möglicherweise schädlich für den Fötus sein kann. Falls die Untersuchung als dringend erforderlich betrachtet wird, sollten Risiken und Nutzen sorgfältig abgewogen werden.
- Stillzeit: bei Frauen, die stillen, empfiehlt das Bundesamt für Strahlenschutz das Abpumpen der Muttermilch bei einer Unterbrechung des Stillens aufgrund einer nuklearmedizinischen Untersuchung. Die abgepumpte Milch kann normal entsorgt werden.

Vorbereitung

Generell wird ein Abstand zwischen letzter Somatostatin-Analoga-Gabe und SSTR-Bildgebung von 3–4 Wochen bei Langzeitpräparaten (wie Octreotide oder Lanreotide) und 12 h bei der kurz wirksamen Form empfohlen. In einigen Zentren wird auch ein kürzerer Abstand zu den Langzeitpräparaten eingehalten, es gibt jedoch hierzu noch keine genauen Erkenntnisse. Höchstwahrscheinlich entstehen hierdurch keine Nachteile für die Bildqualität.

Bitte bringen Sie, abgesehen von dem Überweisungsschein/Einweisungsschein, ein aktuelles Labor (inkl. Nierenwert Kreatinin und Schilddrüsenwert TSH) sowie relevante Berichte und CDs mit früheren Untersuchungen zum Vergleich mit.

Da SSTR-Bildgebung oft in Kombination mit CT erfolgt, können zusätzliche Vorbereitungsschritte erforderlich sein. Diese können Nüchternheit, Trinken von Kontrastmittel oder andere spezifische Anweisungen beinhalten (Siehe den Abschnitt „Computertomographie Vorbereitung“).

Wenn eine PET/MRT geplant ist, sollten die Vorbereitungsschritte einer MRT in Betracht gezogen werden (Siehe den Abschnitt „Magnetresonanztomographie Vorbereitung“).

Ablauf

Nach Einholen der schriftlichen Einwilligung zur Untersuchung erfolgt die Punktion einer Vene, um einen venösen Zugang zu legen.

Nach der Venenpunktion wird das Radiopharmakon injiziert, das somatostatinrezeptorspezifische Moleküle enthält.

Nach der Injektion ist eine Wartezeit erforderlich, damit der Tracer durch den Körper zirkulieren und sich in den Zielgeweben, insbesondere den Tumorzellen, anreichern kann. Die Dauer dieser Wartezeit kann je nach Radionuklid variieren und liegt oft im Bereich von einer bis einigen Stunden.

Nach der Anreicherungszeit erfolgt die eigentliche Bildgebung. Je nach verwendeter Technologie kann dies entweder mit einer Gamma-Kamera (bei SSTR-Szintigraphie) oder einem PET/CT-Scanner (bei SSTR-PET/CT) durchgeführt werden.

Die Positionierung erfolgt in Rückenlage auf einer beweglichen Liege, die in den Scanner geschoben wird.

Die Untersuchungsdauer im Scanner beträgt etwa 40–60 Minuten.

Platzangst

Bei Platzangst ist es wichtig dies offen mit dem medizinischen Team zu besprechen. So könnte das medizinische Personal vor der Untersuchung mit Ihnen beruhigende Gespräche über den Ablauf und die Dauer der Untersuchung führen. Das Wissen über das Verfahren kann dazu beitragen, Ängste zu reduzieren.

Zur Ablenkung während der Untersuchung können Sie beruhigende Musik oder ein Hörbuch hören.

Das Mitbringen einer vertrauten Person zur Untersuchung kann unterstützend sein.

Nur ganz selten werden beruhigende Medikamente eingesetzt. Die Fahrtüchtigkeit ist nach der Gabe von Beruhigungsmitteln jedenfalls beeinträchtigt.

Strahlenbelastung

Die effektive Dosis, die eine Person bei einer Untersuchung mit ionisierender Strahlung erhält, wird in der Einheit Sievert (Sv) gemessen. Die effektive Dosis für eine SSTR-Szintigraphie oder eine SSTR-PET/CT-Untersuchung liegt schätzungsweise etwa bei 5–10 mSv. Zum Vergleich beträgt die durchschnittliche jährliche natürliche Hintergrundstrahlung etwa 2–3 mSv.

Die tatsächliche Strahlenbelastung kann je nach verschiedenen Faktoren wie Patientengewicht, Art des verwendeten Radiotracers und Untersuchungsprotokoll (diagnostische oder Niedrig-Dosis CT, mit oder ohne KM) variieren.

Die Strahlendosis einer SSTR-Bildgebung ist vertretbar, insbesondere wenn die Information aus der Untersuchung für die Diagnose und Behandlung entscheidend ist.

Ergebnisse

Die Auswertung von Bildern in der nuklearmedizinischen Hybridbildgebung ist eine anspruchsvolle Aufgabe. Fachleute analysieren Tausende von Bildern, kombinieren anatomische Informationen aus der CT mit funktionellen Details aus der SPECT oder PET. Nach Identifizierung von Auffälligkeiten erfolgt die Befunderstellung. Die Ergebnisse sind in einigen Tagen bis einer Woche verfügbar, um eine genaue Diagnose und Empfehlungen für weitere Schritte sicherzustellen.

Abstände der Kontrolluntersuchungen

Üblicherweise wird die SSTR-Bildgebung alle 6 bis 12 Monate durchgeführt. Für die Festlegung des genauen Untersuchungsplans sollte die individuelle Krankengeschichte, der Verlauf der Tumorerkrankung und die spezifischen Patientenwünsche berücksichtigt werden und idealerweise in einem interdisziplinären Setting (Tumorboard) diskutiert werden.