

Themenspecial: Gesundheit

1. BIOMARKER

Wie sieht man, dass etwas nicht stimmt und wer ist der Bösewicht?

Biomarker helfen, Krankheiten frühzeitig zu entdecken und bestimmen. So ein Marker kann alles Mögliche sein, das beobachtbar ist und mit der Entwicklung einer Krankheit korreliert. Das kann die Umverteilung der Zellen im Blut sein, oder bestimmte Gene, die Erbkrankheiten auslösen, das können Proteine sein, deren Bildung oder Nichtbildung von Genen gesteuert wird, das können aber auch Fettsäuren oder Zucker sein, die plötzlich in zu hoher oder zu niedriger Konzentration im Blut vorkommen. Eine Herausforderung ist, dass die meisten Marker immer vorhanden sind, aber in einem bestimmten Verhältnis zum Rest der Stoffe im Körper stehen. Grenzwerte sind deshalb von Patient zu Patient unterschiedlich und müssen individuell ermittelt werden. Oft reicht außerdem nicht nur ein Marker um eine Krankheit zu identifizieren.

Um diese Fülle von Informationen zu ermitteln werden mittlerweile miniaturisierte Chips entwickelt, die auf eine Vielzahl von Erregern, Proteinen und anderen Markern testen können. Die sogenannten DNA-Mikroarrays testen beispielsweise eine unvorstellbar große Datenbank von genetischen Informationen auf ihr Vorhandensein. Dies ermöglicht es Krankheiten sehr schnell und in frühen Stadien zu identifizieren und diese gezielt zu behandeln. Ob ein Patient beispielsweise eine Infektion hat, kann an der Leukozyten-Menge in seinem Blut festgestellt werden. Sind diese weißen Blutkörperchen vermehrt vorhanden so weiß man dass eine Entzündung vorliegt. Die Frage ist nun, welcher Erreger die Infektion verursacht hat?

Eine sehr einfache und elegante Methode, die schon seit langem angewendet wird, ist die Identifizierung von Erregern mithilfe der Bestimmung von Antikörpern im Blut. Wenn der Patient mit einem Erreger infiziert ist, dann bildet das Immunsystem Antikörper gegen diesen. Die Antikörper können im Labor mit einem Test nachgewiesen werden. Dabei wird geprüft, ob Antikörper im Blut die körperfremden Erreger binden. Wenn man nicht weiß welcher Erreger für die Infektion verantwortlich sein könnte, dann gestaltet sich die Suche deutlich schwieriger. Hier können Wissenschaftler zu einem Mikroarray greifen, der das Blut auf alle bekannten Erreger testet.

Die größte Hürde bei der Bestimmung von Biomarkern sind heutzutage die Kosten, da die Methode immer eine individuelle Behandlung mit breiter Diagnostik erfordert.

Biomarker

Biomarker sind charakteristische biologische Merkmale, die auf einen krankhaften Prozess im Körper hinweisen können. Dabei kann es sich um Zellen, Gene, Genprodukte oder bestimmte Moleküle wie Enzyme oder Hormone handeln.

DNA-Mikroarray

DNA-Microarrays dienen dazu, bestimmte Gene oder Organismen in der Probe nachzuweisen. Microarrays sind molekularbiologische Untersuchungssysteme, die eine Vielzahl an parallelen Analysen geringer Mengen Probenmaterial zulassen.

Infektion

Unter einer Infektion versteht man das aktive oder passive Eindringen und anschließende Vermehren von Organismen in ein System, meistens von Krankheitserregern in einen Wirt. Symptome im Zusammenhang mit einer Infektion bezeichnet man als Infektionskrankheit.

Krankheit

Krankheit ist die Störung der Funktion eines Organs, der Psyche oder des gesamten Organismus. Der Begriff Befindlichkeitsstörung hat sich aber für Einschränkungen des leiblichen oder seelischen Wohlbefindens ohne objektivierbaren medizinischen Krankheitswert eingebürgert, da die Grenzen von Gesundheit und Krankheit teilweise fließend sind.

2. Wie viel darf der Mensch über seine Gene wissen?

Die Gendiagnostik kann helfen, Infektionen im Körper festzustellen. Doch es gibt noch mehr Möglichkeiten der Gendiagnostik, die auch an ethische Grenzen stoßen und deshalb heiß diskutiert werden. So ist es möglich, bestimmte Gene zu identifizieren, die mit der Entwicklung von Krankheiten und Eigenschafts-Merkmalen korrelieren. Diese Informationen sind persönlich und könnten missbraucht werden. Hier stellt sich die Frage, wie viel wir über die Zukunft unseres Lebens wissen dürfen, um es noch mit ruhigem Gewissen und gutem Gefühl leben zu können.

Ein Ansatz der Gendiagnostik beginnt bereits während ein Leben entsteht. Bei der Präimplantationsdiagnostik (PID), die bis 2010 in Deutschland verboten war, werden Embryonen auf ihr Erbgut hin untersucht, um mögliche angeborene Gendefekte und damit möglicherweise verbundene Krankheiten festzustellen. Die PID kann nur bei einer künstlichen Befruchtung verwendet werden. Dafür müssen die Eizellen in einer kleinen Schale befruchtet werden (in vitro Fertilisation). Anschließend können die Zellen auf Chromosomenvollständigkeit und andere genetische Defekte untersucht werden. Theoretisch ist es sogar möglich, das Geschlecht des heranwachsenden Kindes zu bestimmen. Dies ist in Deutschland allerdings noch unzulässig. Nach der Diagnostik von möglichen Gendefekten, werden nur die Embryonen in die Gebärmutter implantiert, die keine Defekte aufweisen. Viele betroffene Eltern wünschen sich dies, um gesunde Kinder zur Welt bringen zu können.

Als Beispiel führen wir die Mukoviszidose, auch zystische Fibrose genannt, an. Diese Krankheit löst übermäßige Schleimproduktion aus. Der Grund liegt in der Fehlfunktion eines Ionenkanals für welchen das CFTR-Gen kodiert. Die am häufigsten vorkommende Mutation dieses Gens nennt sich $\Delta F508$, welche bei 70 % der Betroffenen der Auslöser ist. Nur wenn auf beiden Allelen des Chromosoms 7 diese Mutation oder andere Mutationen dieses Gens festgestellt werden, dann entwickelt der Patient die Krankheit, denn sie wird rezessiv vererbt. Werdende Eltern können mit der PID eine befruchtete Eizelle auf eine Mutation des Chromosoms 7 überprüfen lassen. Bei einer Mutation kann die befruchtete Eizelle entsorgt werden.

Nicht nur rein naturwissenschaftliche Kriterien sollten bei der PID bedacht werden, wie beispielsweise die Fehlerrate der Ergebnisse einer PID. Auch und vor allem ethische Gesichtspunkte geben Kritiker zu bedenken. Sie sprechen davon, dass die PID gegen Natur und Religion verstoße, weil jedes Leben wertvoll und lebenswert sei, und nicht zwischen

behinderten und nicht behinderten Neugeborenen unterschieden werden dürfe. Strittige Punkte sind natürlich auch die Grundsatzfragen: "Wann beginnt Leben?", "Ab wann ist die im Grundgesetz verankerte Würde des Menschen unantastbar?", "Ist ein Embryo ein Mensch?"

Gesetzlich ist die PID inzwischen auch in Deutschland für Eltern erlaubt, bei denen eine Veranlagung für schwere, erbliche Krankheiten vorliegt. Eine weitere vererbte Krankheit ist die Sichelzellanämie. Sie führt dazu, dass die roten Blutkörperchen eine Sichelform annehmen, in welcher sie nicht in der Lage sind, ausreichend Sauerstoff zu transportieren. Lange Zeit fragte sich die Wissenschaft, ähnlich wie bei der Mukoviszidose, die hauptsächlich bei hellhäutigen Menschen auftritt, noch heute, warum dieser Gendefekt in Afrika bei einem Großteil der Bevölkerung vertreten ist. Der Grund wurde erst in jüngster Zeit gefunden, als Wissenschaftler entdeckten, dass Menschen mit diesem mutierten Gen resistenter gegen die schwere Verlaufsform der Malaria sind. Bei Malaria lagern sich die Erreger, wurmartige Einzeller, sogenannte Plasmodien, in die roten Blutkörperchen ein. Der Gendefekt bewirkt, dass die Lebensdauer der roten Blutkörperchen verringert wird, sodass das Plasmodium seinen Wirt nicht so lange nutzen kann und der Mensch damit resistent gegen Malaria ist. Doch Vorsicht, diese Resistenz bedeutet nicht, dass der Erreger den betroffenen Menschen keinerlei Probleme bereitet, sie haben nur einen Überlebensvorteil.

An diesem Beispiel sieht man wie kritisch die Diskussion ist, welche Genmutationen dazu führen darf, dass Embryonen nach einer PID vernichtet werden oder nicht. Werden dadurch vielleicht sogar Genmutationen systematisch aussortiert, welche in Zukunft überlebensnotwendig für längst vergessene oder erst noch bevorstehende Krankheiten sind?

Chromosom

Auf Chromosomen sind alle Erbinformationen eines Menschen auf Genen untergebracht. Sie bestehen aus DNA und Proteinen.

DNA

Die Desoxyribonukleinsäure (DNS, englisch DNA) trägt alle Erbinformationen eines Lebewesens. Die DNA enthält alle Gene.

Gen

Ein Gen ist ein Abschnitt auf der DNA, der Informationen für die Herstellung von Proteinen enthält.

Gendefekt

Genmutationen oder das Fehlen von Genen werden als Gendefekt bezeichnet, wenn eine negative Auswirkung auftritt: Proteine funktionieren nicht oder nur falsch und verursachen so Erkrankungen. Genmutationen sind erblich.

Gendiagnostik

Die Gendiagnostik kann genetisch veranlagte Krankheiten und andere, harmlose Erbanlagen eines Menschen ermitteln. Um Missbräuche dieser Diagnostik zu vermeiden (Selektion von Embryonen mit "falschen" Eigenschaften), hat die Bundesregierung das Gendiagnostik-Gesetz erlassen.

Genetischer Fingerabdruck

Als genetischer Fingerabdruck wird das charakteristische DNA-Profil eines Individuums

bezeichnet. Es ist, mit Ausnahme von eineiigen Zwillingen, einzigartig. Mit dem genetischen Fingerabdruck lassen sich beispielsweise Verbrechen nachweisen oder eine Vaterschaft bestimmen.

Genom

Das Genom bezeichnet das Erbgut eines Lebewesens, also die Gesamtheit der vererbaren Informationen einer Zelle - alle Gene oder alle Chromosomen oder die DNA.

Gentherapie

Während einer Gentherapie werden Gene in Zellen eines Individuums eingefügt, um Erbkrankheiten und Gendefekte zu behandeln. Dadurch kann ein genetischer Defekt kompensiert werden.

PID

Mittels der Präimplantationsdiagnostik können künstlich erzeugte Embryonen auf Erbkrankheiten im Erbgut untersucht werden. Danach wird entschieden, ob der Embryo in die Gebärmutter eingepflanzt wird. Die PID kann aber auch feststellen, welches Geschlecht das Kind haben wird.

Virus

Viren sind infektiöse Partikel, die sich außerhalb von Zellen durch Übertragung ausbreiten, sich aber nur innerhalb einer geeigneten Wirtszelle vermehren können. Viren sind keine Zellen.

3. GENTHERAPIE

Heilung von angeborener Blindheit und Immunschwäche bereits heute möglich!

Gentherapie ist nicht einfach. Während einer solchen Behandlung werden krankmachende Gene ausgetauscht oder verändert. Das ist auch schon die größte Herausforderung während einer solchen Gentherapie: Einzelne Gene, die auf den Chromosomen liegen und für bestimmte Erbmerkmale verantwortlich sind, im gesamten Körper oder im relevanten Gewebe austauschen, ergänzen oder in ihrer Aktivität herab- oder heraufregulieren. Diese Methode ist in etwa vergleichbar mit der Modifizierung des Genoms eines Gewebes oder sogar des ganzen Körpers, welches jeden Menschen individuell und einzigartig macht und deshalb auch zu kontroversen ethischen Diskussionen führt.

Die einfachste der drei Möglichkeiten einer Gentherapie ist das Hinzufügen eines nicht vorhandenen oder Ersetzen eines defekten Gens. Dies geht transient, d.h. die Gene werden über Plasmide nur für kurze Zeit in die Zellen eingebracht und bleiben darin, solange ein Selektionsdruck angewendet wird, der nur die Zellen überleben lässt, die dieses Gen besitzen. Wenn der Druck entfernt wird, wird das Plasmid und damit die Gene wieder verstoßen. Eine andere Möglichkeit besteht darin, die neuen Gene stabil ins vorhandene Genom einzubauen, dabei bleiben sie für den Rest des zellulären Lebens vorhanden und aktiv und können fortwährend den Defekt korrigieren, ohne dass ein Selektionsdruck angewendet werden muss.

Gene in ein bestimmtes Gewebe einzubringen ist eine große Herausforderung. Dazu werden derzeit Viren verwendet, vor allem sogenannte adeno-assoziierte Viren (AAV). Das klingt auf den ersten Blick erstaunlich, denn Viren werden mit Krankheit verbunden und nicht mit Heilung. Tatsächlich ist es so, dass eine bestimmte Eigenschaft der Viren bei dieser Therapie

von enormer Bedeutung ist. Viren sind nämlich in der Lage, Zellen zu infizieren, teilweise auch nur bestimmtes Gewebe, sie können also für die gewebespezifische Infektion genutzt werden. Mit der Infektion können sie das genetische Material für die Behandlung einer Krankheit, was sie mitbringen, in den Zellen freisetzen. So schafft man es die Gene auf eine äußerst schonende Art und Weise in die Zellen zu bringen. Krank wird man durch das Virus nicht, denn es ist so weit verändert, dass es sich nicht mehr vermehrt und auch keinen Schaden anrichten kann.

Es ist ebenfalls möglich die genetische Information zur Therapie von Krankheiten so zu designen, dass sie auch nur in einem bestimmten Gewebe aktiv ist, sodass sie nur dort etwas verändert, wo es notwendig ist. Wenn die genetische Information erst einmal in die Zelle gelangt ist, beginnt die zweite Herausforderung. Damit diese auch in der Zelle verbleibt muss sie in das Genom eingebaut werden. Dies geschieht über den Prozess der homologen Rekombination, den die Zelle selber abwickelt, weil sie denkt, sie habe genetische Informationen verloren und müsse diese wieder ins Genom integrieren. Dabei weist die neu eingebrachte genetische Information Ähnlichkeiten mit einem bestimmten Ort auf einem Chromosom im Genom auf. Wenn die Zelle diesen Bereich erkennt, fügt sie die neue genetische Information dort ein. Wenn nicht, wird das neue Genmaterial in der Zelle abgebaut. Das Problem dabei ist, dass dieser Prozess nicht immer gut funktioniert und das Genom von jedem Menschen anders ist. Das heißt, das neue genetische Material, das Viren in die Zelle eingeschleust haben, wird nicht immer an der gleichen Stelle eingefügt. An der falschen Stelle kann es aber zu Krebs oder anderen Krankheiten führen.

Es ist ersichtlich, dass eine Gentherapie ein langer Prozess ist, der von Fall zu Fall individuell zu gestalten ist und jedes Mal neue Herausforderungen mit sich bringt. Dennoch sind bereits erste Erfolge zu verzeichnen, so ist es beispielsweise italienischen Forschern gelungen, drei in der Jugend erblindeten Menschen zu helfen. Angeboren war allen Dreien ein Gendefekt, der mithilfe eines gesunden Gens, das hinter die Netzhaut gespritzt wurde, ausgeglichen werden sollte. Nach der Behandlung konnten die Drei wieder sehen und sich selbstständig orientieren. Ebenso ist es gelungen, eine Immunantwort bei Kindern wieder zu aktivieren, die kein funktionsfähiges Immunsystem hatten. Auch eine Rot-Grün-Blindheit bei erwachsenen Affen ließ sich durch eine Gentherapie heilen. Die Methode soll Menschen mit Farbenblindheit helfen. Allerdings werden vorerst die Langzeitfolgen beobachtet. Neueste Forschungen beschäftigen sich mit der Heilung von Parkinson und verschiedenen Krankheiten des Immunsystems.

4. Computertomographie (CT), Magnetresonanztomographie (MRT) oder Kernspintomographie, Positronen-Emissions-Tomographie (PET)

Computertomographie (CT),

Bei der CT handelt es sich um eine Art dreidimensionales Röntgen, allerdings liefert die CT einen deutlich besseren Kontrast zwischen Gewebearten von nur gering unterschiedlicher Dichte. Auf einem CT-Bild wird in schwarz-weiß die Abschwächung von Röntgenstrahlung dargestellt.

Die Physik: Erzeugung von Röntgenstrahlung und Absorption von elektromagnetischer Strahlung

Die Röntgenstrahlung wird bei der CT genauso erzeugt, wie bei sonstigen Röntgenuntersuchungen: mit einer Röntgenröhre. Diese besteht im einfachsten Fall aus einer Kathode (Minuspol) und einer Anode (Pluspol). Aus der Kathode werden durch Erhitzen Elektronen ausgesandt, die durch Anlegen von Hochspannung zur Anode hin beschleunigt werden. Dort dringen sie in das Material, aus dem die Anode besteht, ein und werden in der Folge stark abgebremst. Diese Abbremsung der Elektronen führt wie jede Beschleunigung (und eine Abbremsung ist letztlich eine „negative Beschleunigung“) geladener Teilchen zur sogenannten Bremsstrahlung, bestehend aus Photonen. Die Bewegungsenergie der Elektronen wird an eines oder mehrere Photonen abgegeben. Die Energieverteilung dieser Photonen ist kontinuierlich, das heißt, es kommen alle Energien in einem gewissen Energiebereich vor, und kann durch die Wahl der angelegten Hochspannung gesteuert werden. Röntgenstrahlung, bestehend aus den Photonen aus der Bremsstrahlung, wird beim Durchgang durch den Körper teilweise absorbiert und somit abgeschwächt. Je weiter die Strahlen in den Körper eindringen, desto schwächer werden sie. Die Abschwächung wird durch das Lambert-Beersche Gesetz beschrieben, nachdem die Intensität der Strahlung exponentiell mit dem Produkt aus Schwächungskoeffizient und Dicke des durchdrungenen Gewebes abhängt. Da der Schwächungskoeffizient vom Gewebe (Knochen absorbieren stärker als zum Beispiel das Lungengewebe) abhängt, handelt es sich um eine Funktion des Ortes. Somit nimmt die Intensität der Strahlung exponentiell mit dem Integral des Schwächungskoeffizienten über den Ort ab.

Medizinische Anwendung

Röntgenröhre und Detektor befinden sich in der sogenannten Gantry, einem kurzen Ringtunnel, und kreisen während eines Scanvorgangs um den Patienten, der entweder nach jeder Umdrehung oder kontinuierlich der Länge nach durch die Gantry geschoben wird, sodass Schicht für Schicht Absorptionsprofile aus vielen Richtungen erstellt werden. Aus der Kombination all dieser Einzelmessungen kann dann mit einem Computer eine dreidimensionale Ansicht errechnet werden.

Ein CT-Scan wird in der Medizin vielseitig eingesetzt, unter anderem bei Blutergüssen und Knochenbrüchen. Darüber hinaus können auf einem CT prinzipiell auch Tumore dargestellt werden, jedoch liefern die anderen hier vorgestellten Verfahren meist bessere Informationen, sodass die CT höchstens in Kombination mit den anderen Verfahren genutzt wird. Darüber hinaus wird die CT auch außerhalb der Medizin zum Beispiel zur Materialprüfung und der nichtinvasiven Untersuchung von archäologischen Funden eingesetzt.

Magnetresonanztomographie (MRT) oder Kernspintomographie

Im Gegensatz zu den anderen beiden vorgestellten Methoden wird für die MRT keine ionisierende (das heißt hochenergetische) Strahlung benötigt. Stattdessen werden starke Magnetfelder und schnelle elektromagnetische Wechselfelder eingesetzt, um Wasserstoffkerne in den verschiedenen Gewebearten anzuregen. Schicht für Schicht können so die unterschiedlichen Gewebearten dargestellt werden.

Die Physik: Kernspinresonanz

Als Kernspin bezeichnet man den Gesamtdrehimpuls des Atomkerns. Mit diesem ist ein magnetisches Moment verbunden, sodass sich die einzelnen Atomkerne zum Beispiel des Wasserstoffs wie kleine Magneten verhalten. Wird von außen ein starkes magnetisches Feld angelegt, richten sich diese „atomaren Magnete“ in der Richtung dieses Magnetfeldes aus. Mit einem zusätzlichen hochfrequenten elektro- magnetischen Wechselfeld können die „atomaren Magnete“ gegenüber der Richtung des Magnetfeldes verkippt werden und beginnen dann um die Richtung des Magnetfeldes zu rotieren, was Präzession genannt wird. Da die einzelnen Atome dies simultan machen, kann eine sich verändernde Gesamtmagnetisierung gemessen werden, die in einer Spule Spannung induziert. Die Auslenkung der magnetischen Momente ist nicht dauerhaft, sondern nimmt nach der Ausschaltung des Wechselfeldes exponentiell ab (Relaxation). Die Zeitkonstante dieser Abnahme, die beschreibt, wie schnell sich die magnetischen Momente wieder in Richtung des externen Magnetfeldes ausrichten, hängt dabei von der chemischen Bindung des Wasserstoffatoms sowie dessen Umgebung ab. Die Amplitude des Spannungssignals hängt dagegen von der Menge der Wasserstoffatome ab. Aufgrund mehrerer sich überlagernder Effekte ist die Messung nicht ganz so einfach, daher wurden verschiedene Sequenzen von Wechselfeld-Pulsen erfunden, siehe dazu den Verweis in der rechten Spalte.

Medizinische Anwendung

Aus der Kombination von Relaxationszeit und Signalstärke können verschiedene Gewebetypen unterschieden und somit sichtbar gemacht werden. Für medizinisch verwendbare Daten ist es natürlich nötig, auch die Quelle des jeweiligen Signals einem Ort im Körper zuzuordnen zu können. Dafür werden mehrere Gradientenfelder zum statischen Magnetfeld hinzugefügt, sodass das Magnetfeld zum Beispiel von links nach rechts und von unten nach oben abnimmt. Die MRT wird eingesetzt, wenn weiches Gewebe untersucht wird und der mit CT mögliche Kontrast nicht für eine eindeutige Diagnose reicht. Häufige Anwendungsgebiete sind Krebserkrankungen, Veränderungen des Herzens und die Untersuchung des Gehirns.

Positronen-Emissions-Tomographie (PET)

Die PET nutzt schwach radioaktive Substanzen, um Stoffwechselforgänge sichtbar zu machen. Da viele Tumorarten schneller wachsen als gesunde Zellen in ihrer Umgebung, benötigen sie auch mehr Nährstoffe, sodass eine übermäßige Nährstoffaufnahme ein Indiz für Tumorzellen ist.

Die Physik: Radioaktiver Beta-Zerfall und Antimaterie

Die Zahl der Protonen im Atomkern Z (auch Kernladungszahl) entscheidet, um welches Element es sich handelt. Für ein gegebenes Z bestimmt die Zahl der Neutronen N einerseits die Masse des Kerns, andererseits dessen Zerfallseigenschaften. Bei Kernen mit gleichem Z , aber unterschiedlichem N spricht man von verschiedenen Isotopen desselben Elements. Die chemischen Eigenschaften sind für alle Isotope gleich. Für die meisten Kerne gibt es eines oder wenige Isotope, die stabil sind. Diese entsprechen dann auch den typischen Massen, die man aus dem Periodensystem der Elemente kennt, zum Beispiel ^{16}O oder ^{19}F , wobei die hochgestellte Ziffer die Zahl der Nukleonen (Protonen plus Neutronen) bezeichnet. Protonenreiche Isotope, also solche, die weniger Neutronen besitzen als die stabilen Isotope mit derselben Protonenzahl, zerfallen radioaktiv durch β^+ -Zerfall. Dabei wird ein Proton in

ein Neutron umgewandelt. Außerdem entstehen ein Neutrino und ein Positron. Das Positron ist der Antimaterie-Partner des Elektrons: Es besitzt dieselbe Masse, jedoch die entgegengesetzte Ladung. Trifft ein Positron auf ein Elektron, so annihilieren sie, das heißt, beide werden vernichtet und die Masse nach Einsteins Gleichung $E=mc^2$ in Energie umgewandelt. Bei diesem Annihilationsprozess werden zwei Photonen mit jeweils 511 keV (Kiloelektronenvolt) Energie in nahezu entgegengesetzte Richtung abgestrahlt. Aufgrund dieser großen Energie (etwa 200.000 Mal so viel wie Photonen des sichtbaren Lichts) handelt es sich um Gammastrahlung, sodass diese aus dem Medium, in dem der Zerfall stattfindet, entkommen kann.

Medizinische Anwendung

Die PET macht sich den β^+ -Zerfall zunutze, indem protonenreiche Isotope in ein Molekül eingelagert werden, das am Stoffwechsel beteiligt ist. Man spricht dann von einem Radiopharmakum bzw. von einem Tracer. Da die chemischen Eigenschaften identisch sind, wird das markierte Molekül vom Körper genauso behandelt wie ein nicht markiertes. Das am häufigsten verwendete Radiopharmakum ist ^{18}F -Fluordesoxyglucose (FDG), ein mit der Glucose eng verwandtes Molekül, bei dem eine OH-Gruppe des Zuckers durch ^{18}F ersetzt wurde. Das FDG gelangt so in den Stoffwechsel und das ^{18}F sammelt sich dort, wo FDG verarbeitet wird. Das ^{18}F zerfällt gemäß dem β^+ -Zerfall, das Positron annihiliert mit einem Elektron und die entweichende Gammastrahlung kann gemessen werden.

Um den Patienten herum finden sich ringförmig angeordnete Detektoren. Treffen zwei Gamma-Photonen nahezu gleichzeitig den Detektor, kann davon ausgegangen werden, dass auf der Verbindungslinie zwischen den beiden Auftreffpunkten ein β^+ -Zerfall stattgefunden hat. Solange keine sehr genaue Zeitmessung möglich ist, kann der Flugzeitunterschied nicht gemessen werden, es besteht also keine Möglichkeit zu bestimmen, wo auf der Verbindungslinie der Zerfall stattgefunden hat. Da die Bilder des PET jedoch nicht auf Basis eines einzelnen, sondern sehr vieler Zerfälle generiert werden, kann aus der Überlagerung der Verbindungslinien auf die Ansammlungen des ^{18}F und damit auf die Position möglicher Tumore geschlossen werden. Die PET wird – häufig in Kombination mit CT – angewendet, wenn Stoffwechselvorgänge nachgewiesen werden sollen. Im Vergleich zu CT und MRT ist die Auflösung eher schlecht (siehe Bild), aber da die Ansammlung des Tracers auf Stoffwechselvorgängen beruht, kann mit der PET zum Beispiel zuverlässig lebendes von totem Gewebe unterschieden werden, sodass zum Beispiel der Erfolg einer nichtoperativen Tumorbehandlung überprüft werden kann.