

Teil III: Nuklearmedizinische Diagnostik und Therapie

15 Positronen-Emissions-Tomographie: Lösungen

Michael Mix

Lösung zu 15.1

In der Positronen-Emissions-Tomographie werden der Positronenzerfall und die anschließend entstehende Annihilationsstrahlung ausgenutzt. Beim Positronenzerfall wandelt sich im Kern des Ausgangsisotopes ein Proton p^+ in ein Neutron n um. Dabei kommt es zur Aussendung eines Positrons β^+ und eines masselosen Neutrinos ν : $p^+ \rightarrow n + \beta^+ + \nu$. Die Umwandlung des Protons in ein Neutron erfordert 1,022 MeV Energie. Die darüber hinaus bei der Atomumwandlung frei werdende Zerfallsenergie wird auf das emittierte Positron und das Neutrino übertragen und führt zu einer kontinuierlichen Verteilung der kinetischen Energie des Positrons. Das Positron reagiert sehr schnell mit einem Elektron in der umgebenden Materie und es kommt zum sogenannten Vernichtungsprozess (Annihilation). Bei der Annihilation wird die Ruhemasse der beiden beteiligten Teilchen in Strahlungsenergie umgewandelt und es entstehen gleichzeitig zwei γ -Quanten mit jeweils 511keV, die sich in entgegengesetzter Richtung voneinander entfernen. Diese sekundäre γ -Strahlung wird für die Bildgebung genutzt und nicht der namensgebende Positronenzerfall.

Lösung zu 15.2

Die kinetische Energie des Positrons sowie die Dichte und Massenzahl der umliegenden Materie bestimmen die Reichweite des Positrons vor der Annihilation mit einem Elektron. Die mittlere Reichweite für das am häufigsten eingesetzte Isotop ^{18}F liegt in wasseräquivalentem Gewebe etwa bei 0,6 mm (Tabelle 16.1). Bei Isotopen mit höherenergetischem Zerfall liegt die mittlere Reichweite zwischen 1 bis 3 Millimetern.



Lösung zu 15.3

PET Scanner bestehen aus ringförmig angeordneten und miteinander verschalteten Detektoren. Die im Annihilationsprozess entstehenden γ -Quanten werden durch Koinzidenzmessung zwischen jeweils zwei Detektorelementen identifiziert. Die Verbindungslinie zwischen den beiden Detektoren wird „Line of Response“ (LOR) genannt. Alle innerhalb eines Zeitintervalls gemessenen Koinzidenzereignisse entsprechen einer Projektion der Emissionsereignisse entlang der LOR. Aus der Projektionsinformation aller LORs innerhalb des Ringdetektorsystems lässt sich die dreidimensionale Emissionsverteilung rückrechnen. Moderne PET-Systeme besitzen Detektoren mit einer sehr guten zeitlichen Auflösung. Dadurch können die unterschiedlichen Flugzeiten der beiden koinzidenten γ -Quanten analysiert werden. TOF steht für die englischsprachige Abkürzung „Time of Flight“ und bezeichnet die Eigenschaft eines PET-Scanners diese Zusatzinformation messen und für die Bildgebung nutzen zu können.

Lösung zu 15.4

Die räumliche Auflösung eines PET-Systems ist die Genauigkeit, mit der man den Zerfallsort des Positrons bestimmen kann. Sie wird beeinflusst durch:

- die Positronenreichweite (generelles physikalisches Limit)
- eine Winkelunschärfe um die 180° Emission der beiden γ -Quanten
- der Größe der verbauten Detektorelemente
- dem Detektordesign (Blockdetektoren oder Flächendetektoren) und der Art der Signalauslese (analog mit Photomultiplizieren oder mit digitalem Photocounting)

Lösung zu 15.5

- *gefilterte Rückprojektion (analytisches Verfahren)*
- *iterative Rekonstruktion (stochastisches Verfahren)*

Lösung zu 15.6

Antwort c) ist richtig!



Lösung zu 15.7

Damit die PET ein absolut quantitatives Verfahren ist, müssen mehrere Korrekturen durchgeführt werden, die sowohl vom Messobjekt selbst als auch vom Detektorsystem abhängen:

- Schwächungskorrektur
- Streukorrektur
- Korrektur zufälliger Koinzidenzen (Randoms-Korrektur)
- Totzeitkorrektur
- Normalisierung (Detektorabgleich) und Kalibrierung
- Partialvolumenkorrektur bei kleinen Objekten

Lösung zu 15.8

Beim SUV bezieht man die gemessene Aktivitätskonzentration $\lambda(t)$ innerhalb einer morphologischen Struktur auf die applizierte und auf den Messzeitpunkt t zerfallskorrigierte Aktivität $D_{inj}(t)$ pro Gramm Körpergewicht (KG):

$$SUV = \frac{\lambda(t)}{D_{inj}(t) / KG}$$

Der so definierte SUV hat damit die Einheit g/ml und kann als Bildnormierung betrachtet werden. Würde sich die applizierte Aktivität im Körper des Patienten komplett gleichmäßig verteilen, hätten alle Volumeneinheiten die gleiche Aktivitätskonzentration und es ergäbe sich in allen Bildvoxeln ein SUV mit dem Wert 1. Abweichungen nach oben stellen dann eine Mehranreicherung, Abweichungen nach unten eine Minderanreicherung dar.

Lösung zu 15.9

Antworten a), b) und d) sind richtig.

