

Radiologische Physik und Nuklearmedizin

Im Röntgeninstitut des damaligen Bürgerspitals baute der im Jahre 1954 neu angestellte Physiker Dr. Herbert Lüthy das sogenannte Isotopenlabor auf. Hauptarbeitsgebiete waren Stoffwechsel- und Funktionsuntersuchungen der Schilddrüse. Aus diesen Anfängen entwickelte sich später die selbständige Abteilung für Radiologische Physik. Im folgenden Beitrag soll kurz auf einige Themen hingewiesen werden, bei welchen die Radiologische Physik seit der Schaffung des Labors für Medizinische Strahlenphysik im Jahre 1962 den Weg der Nuklearmedizin begleitet und unterstützt hat. Die Unterteilung in drei Kapitel ergibt sich aufgrund der thematischen Schwerpunkte und des personellen Einsatzes. In die Aufgaben der ersten Phase war ausschliesslich H. Lüthy involviert, während der Schreibende bei den Themen der zweiten Phase mitwirkte. In die Aufgaben der dritten Phase sind – in unterschiedlichem Masse – alle Physiker der Abteilung eingebunden.

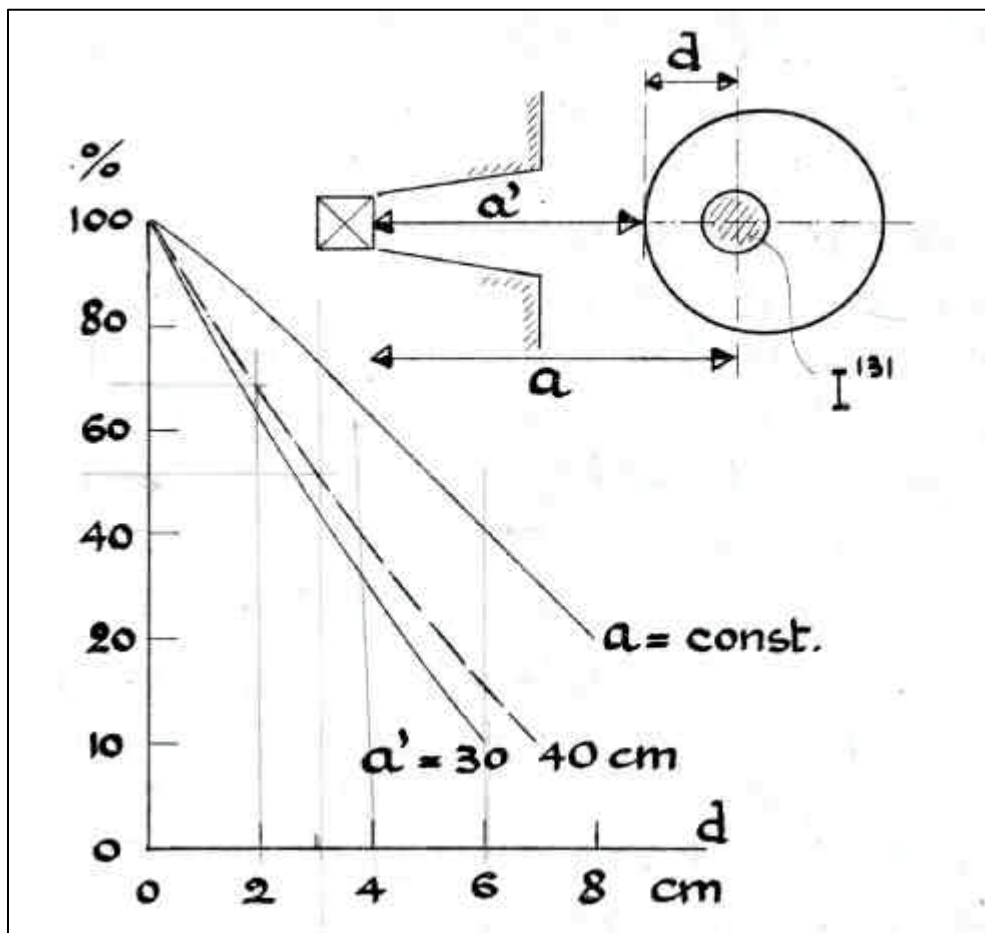


Abbildung 1: Relativer Verlauf der Impulsrate bei Verschiebung einer Jod-131-Quelle im Wasserphantom bei der Messdistanz a' von 30 cm und 40 cm. Die oberste Kurve ist unter der Bedingung $a = \text{konstant}$, $d = \text{variabel}$ aufgenommen; sie gibt den Einfluss der reinen Schwächung durch die Wasserschicht wieder [1].

Messtechnik und Tracermethoden (1962-1975)

Messtechnik

Mehrere Jahre lang wurde im Labor für Medizinische Strahlenphysik und unabhängig von der Nuklearmedizinischen Abteilung der sog. Schilling-Test durchgeführt. Bei diesem Urinexkretionstest geht es um die Untersuchung der Vitamin B₁₂-Resorption im Darm mit Vitamin B₁₂, das durch Kobalt-58 markiert ist. Nach oraler Gabe des markierten Vitamin B₁₂ kann aufgrund der Kobalt-58-Aktivität im Urin auf Vitamin B₁₂-Resorptionsstörungen geschlossen werden. Als Messgerät stand ein Szintillationszähler zur Verfügung.

Für die ersten Gamma-Kameras der Nuklearmedizinischen Abteilung wurden Isoimpulskurven aufgenommen und Gerätecharakteristiken erstellt. Bei Untersuchungen zum Einfluss der Messmethodik auf die Bestimmung der Jod-131-Speicherung in der Schilddrüse wurde festgestellt, dass sich die Tiefenabhängigkeit der Schilddrüse sowohl auf den 2-Stunden- als auch auf den 24-Stunden-Wert der Jodaufnahme auswirkt (vgl. Abb. 1). Es wurde empfohlen, die extrathyroidale Aktivität durch Messung der Oberschenkel-Aktivität zu berücksichtigen [1].

Tracermethoden

H. Lüthy war an mehreren strahlenbiologischen und biophysikalischen Arbeiten mit Radiotracern beteiligt. So wurde der Einfluss von Vitamin D-Metaboliten auf die Kalzium-Kinetik der urämischen Ratte untersucht. Dabei wurde die Radioaktivität von Kalzium-45 und Strontium-89 in Urin, Fäces und Knochen mit dem Szintillationszähler gemessen [2].

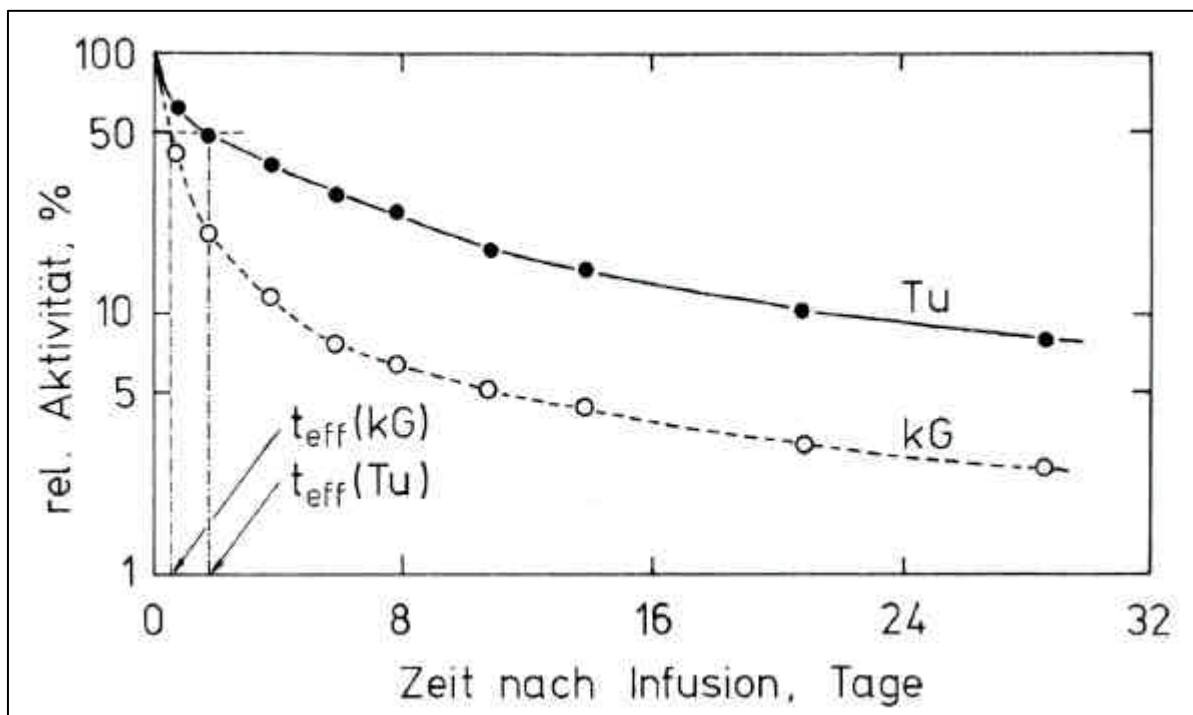


Abbildung 2: Zeitliche Abnahme der relativen Aktivität nach einer therapeutischen Infusion von Schwefel-35 im Tumor (Tu) und im kontralateralen Gebiet (kG) mit den entsprechenden effektiven Halbwertszeiten $t_{eff}(Tu)$ bzw. $t_{eff}(kG)$ [6].

Therapie-Verlaufskontrollen und Messmethoden (1976-1983)

Therapie-Verlaufskontrollen

Mit Hilfe von nuklearmedizinischen Untersuchungen wurde versucht, Aufschluss über die Wirkung verschiedener physikalischer Massnahmen (Wärmepackungen, Histaminiontophorese, Kryotherapie) zu erhalten. Hierzu wurden der Indium-113m- und Technetium-99m-Uptake im Kniegelenksbereich bei gesunden Probanden vor und nach entsprechenden Applikationen bestimmt. Aufgrund der Untersuchungsergebnisse führen sowohl Wärmeapplikation als auch Histaminiontophorese zu einer vermehrten Durchblutung und zu einer verstärkten Extravasation des Technetium-99m-Pertechnetats. Eine wesentliche Hyperämie wird aber offensichtlich durch die Kryotherapie nicht erreicht [3]. Wie entsprechende Untersuchungen am entzündeten und operierten Kniegelenk zeigen, sind Veränderungen der Durchblutung und der Gefässpermeabilität für den therapeutischen Effekt der Kryotherapie offenbar von untergeordneter Bedeutung.

Zur Bestimmung der Retention und der Dosis bei der Radosynoviorthese mit Yttrium-90-Silikatkolloid wurden Untersuchungen an Patienten und am Phantom durchgeführt. Innerhalb eines Zeitraumes zwischen 3 Stunden und 3 Tagen wurde praktisch kein Abtransport der Aktivität aus den untersuchten Kniegelenken festgestellt. Durch näherungsweise Berechnungen konnte die mittlere Dosis im Gelenkraum und in der Synovialis abgeschätzt werden [4].

Mit Hilfe der Doppelisotopentechnik wurde eine einfache Methode zur Messung der Magenentleerung solider Nahrung evaluiert. Danach sind mit Technetium-99m markierte Filterpapierstücke zur Simulation solider Nahrung in klinischen Versuchen geeignet [5].

Zwei Verfahren zum Nachweis der Schwefel-35-Anreicherung in Chondrosarkomen wurden beschrieben, und zwar die Autoradiographie und die perkutane Bremsstrahlungsmessung. Nach Applikation von diagnostischen und therapeutischen Aktivitätsmengen wurde mit beiden Methoden ein erhöhter Schwefeleinbau im Tumor festgestellt (vgl. Abb. 2). Bei einfacher Handhabung und rasch erhältlichen Ergebnissen gestattet die perkutane Bremsstrahlungsmessung ausserdem quantitative Aussagen über das Ausmass der Anreicherung sowie eine einfache Verlaufskontrolle während der Therapie [6].

Messmethoden

Der Wert für die Jod-123- und Jod-131-Aufnahme wird bei der Messung im Photopeak durch die unterschiedliche Tiefe der Schilddrüse stark verfälscht. Dagegen ist die Tiefenabhängigkeit bei der Messung im Compton-Kontinuum relativ gering. Wie Vergleichsmessungen an über 100 Patienten zeigten, ist die Uptake-Messung im Compton-Kontinuum als Routinemethode geeignet [7].

Weitere Untersuchungen beschäftigten sich mit der Transmissions-Szintigraphie zur erleichterten Zuordnung anatomischer Daten bei der Emissions-Szintigraphie, mit der Optimierung der Aufnahmetechnik bei der Thallium-201-Szintigraphie oder mit der Energiekalibrierung von Gamma-Kameras.

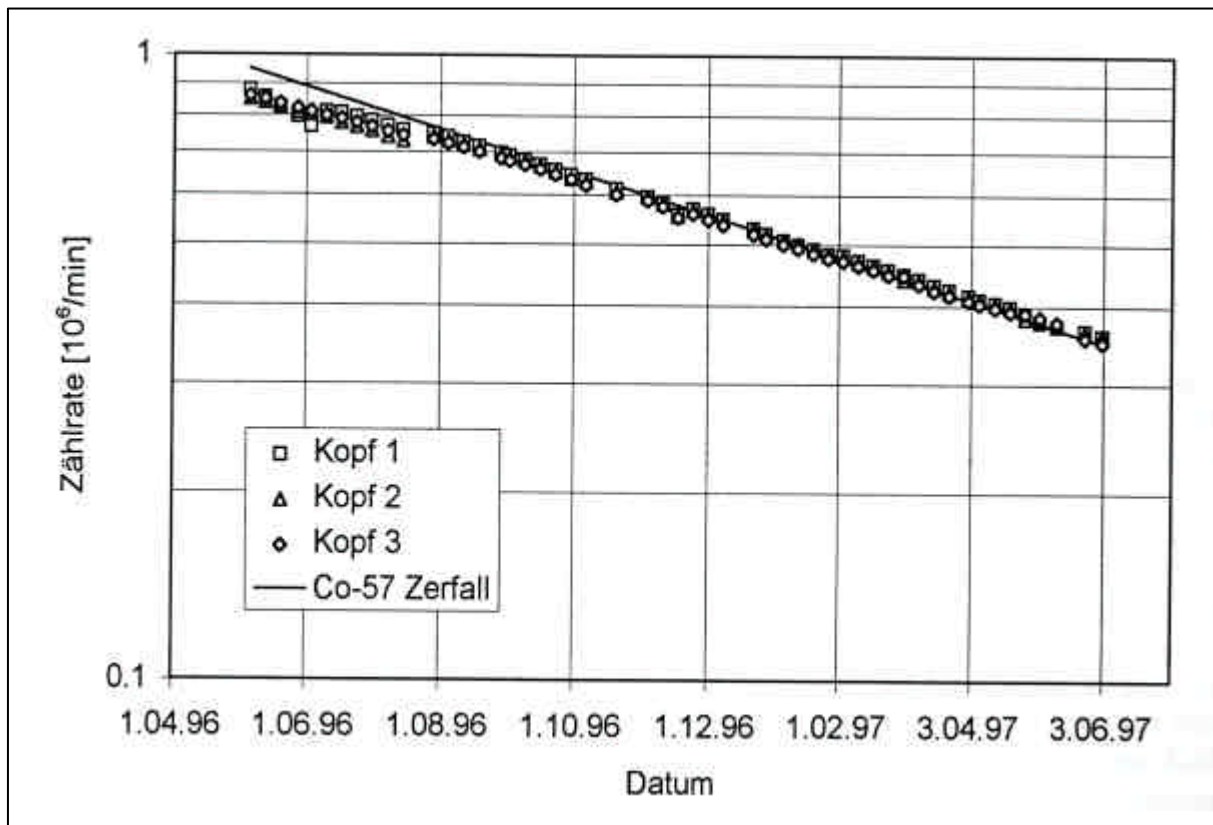


Abbildung 3: Zählraten bei der Prüfung der Inhomogenität einer Gammakamera (Dreikopfkamera PRISM 3000, Fa. Picker) in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Messung mit einer Kobalt-57-Quelle.

Qualitätssicherung und Dosisberechnungen (1984 - heute)

Qualitätssicherung

Seit 1983 werden in der Abteilung für Nuklearmedizin regelmässig Qualitätskontrollen an Gamma-Kameras und Aktivimetern durchgeführt. Die Kontrollen an Gamma-Kameras wurden, ausgehend von verschiedenen internationalen Empfehlungen und Normen, aufgrund eigener Erfahrungen weiterentwickelt. Dazu gehören insbesondere die Kontrolle der Energie, der Uniformität, des Photomultiplier-Abgleichs, der räumlichen Auflösung, der geometrischen Linearität, der zeitlichen Auflösung und der Untergrundzählrate. Bei SPECT-Kameras werden zusätzlich die Lage der Rotationsachse, die Qualität der tomographischen Aufnahme und gegebenenfalls der korrekte Ablauf im Ganzkörpermodus überprüft. Als Folge der regelmässig durchgeführten Qualitätskontrollen ergeben sich geringere Reparaturkosten, weniger Ausfallzeiten, eine optimale Nutzung der Geräte, eine geringere Strahlenexposition und bessere Untersuchungsergebnisse. Im Sinne einer einfachen Durchführbarkeit bei möglichst geringem Zeitaufwand für physikalische Qualitätskontrollen an Gamma-Kameras wird ein Verfahren eingesetzt, welches die Überprüfung von Inhomogenität und Ausbeute in einem einzigen Arbeitsgang erlaubt (vgl. Abb. 3).

Die Qualitätskontrollen von Aktivitätsmessgeräten (Aktivimetern) umfassen die Messgenauigkeit und die Reproduzierbarkeit für kalibrierte Gammastrahler unter

Standardgeometrie, die Linearität der Anzeige in Abhängigkeit von der Aktivität, den Nulleffekt unter empfindlichsten Messbedingungen, den Molybdän-99-Durchbruch bei der Messung von Technetium-99m, die Korrekturfaktoren für nicht-standardmässige Messgeometrie, die Reproduzierbarkeit (zeitliche Stabilität) und den Nulleffekt unter betriebsmässigen Messbedingungen [8].

Dosisberechnungen

Für die Bestimmung der Dosis bei einer nuklearmedizinischen systemischen Therapie müssen Berechnungen durchgeführt werden. Dabei müssen die physikalischen Eigenschaften des Radionuklids, die chemische Beschaffenheit des Diagnostikums und die Biokinetik im Körper des Patienten berücksichtigt werden, um die Verteilung der Radioaktivität, ihre Verweilcharakteristik, die Ausscheidungsrate und die Energie-deposition beim Zerfall des Atomkernes zur Berechnung der Organdosen zu kombinieren. Dabei bildet das MIRD-Konzept die Grundlage für die Berechnungen. Von primärem Interesse ist sicher die Tumordosis, die möglichst gross sein soll. Ebenso wichtig und oft in der Anwendung der Methode begrenzend, ist jedoch die Dosis in kritischen Organen (z.B. Ausscheidungsorganen).

Die Kalibrierung der Gammakameras zur Absolutbestimmung des Aktivitätsverlaufs und entsprechend der Biokinetik aus den Szintigrammen geschieht ebenso unter der Führung der Abteilung Radiologische Physik wie die Berechnung der Dosis aus den Basisdaten im Rahmen des oben skizzierten Modells.

Bis jetzt wurden Therapien mit dem Isotop Yttrium-90 (β -Strahler) unter Zuhilfenahme von Indium-111 (γ -Strahler) für die Diagnostik und die Monitorisierung der Therapie, durchgeführt. Die Anwendung weiterer Therapie-Isotope ist für die Zukunft geplant.

Status Quo und Ausblick

Das Institut für Nuklearmedizin verfügt heute über 8 Gamma-Kameras mit insgesamt 14 Messköpfen und ist damit die grösste Nuklearmedizinische Abteilung der Schweiz. Nachdem die Qualitätskontrollen durch die Radiologische Physik angeregt und ursprünglich auch durchgeführt wurden, sind inzwischen längst die an den jeweiligen Geräten tätigen MTRA für die Qualitätssicherung verantwortlich. Die Kontrollen konnten auch ohne Probleme an die Qualitätssicherungsmassnahmen angepasst werden, welche in der Verordnung über den Umgang mit offenen radioaktiven Strahlenquellen (vom 1.1.1998) gefordert sind. Diese Verordnung stand auch im Mittelpunkt eines Fortbildungseminars der SGSMP, welches 1998 von uns organisiert wurde. Dabei stellte ein Vertreter des BAG die neue Verordnung vor, anschliessend wurde die Rolle des Medizinphysikers und der MTRA bei der praktischen Durchführung der Qualitätskontrollen diskutiert.

Heute besteht unsere Aufgabe vorwiegend in einer regelmässigen Überprüfung der Kontrollen auf ihre Vollständigkeit und einer Vereinheitlichung der Dokumentation. Beides wird seit einiger Zeit dadurch erleichtert, dass die Ergebnisse der Qualitätssicherung, gegliedert in tägliche, wöchentliche und halbjährliche Kontrollen, über das Patientenerfassungssystem protokolliert werden können. Fehler bzw. Werte ausserhalb der Toleranz werden dem Technischen Dienst des KBS weitergeleitet, der gegebenenfalls die Herstellerfirma aufbietet. Mit Hilfe dieser Massnahmen sind unseres

Erachtens die physikalisch-technischen Voraussetzungen dafür gegeben, dass auch in Zukunft eine einwandfreie nuklearmedizinische Diagnostik durchgeführt werden kann.

Literatur

- [1] H. Lüthy: Beitrag zur Messmethodik der I-131—Speicherung in der Schilddrüse. Schweiz. Med. Wschr. 93 (1963) 875
- [2] W. Remagen, Ph. Heitz, D. Weidmann, J. Schuppler, O. Ohnacker, H. Lüthy: Comparative Kinetics of ^{45}Ca and ^{89}Sr in Chronic Uremic Syndrom in the Rat. Res. exp. Med. 165 (1975) 271
- [3] H.W. Nemeč, A. Oesch, D. Feldges, W. Müller, R. Fridrich: Untersuchungen über die Auswirkungen physikalischer Massnahmen auf das Aktivitätszeitprofil von Tc-99m-Pertheneat und In-113m-Gelatine. Physiotherapie 28. 191-195 (1976).
- [4] H.W. Nemeč, R. Fridrich: Zur Frage der Retention und der Dosis bei der Radiosynoviorthese mit Yttrium-90-Silikatkolloid. Nucl.-Med. 16. 113 - 118 (1977).
- [5] R. Güller, H.W. Nemeč, L. Kyle, R. Fridrich: Zur Messung der Magenentleerung solider Nahrung. Vergleich zweier solider Phasen durch Doppelisotopentechnik. Schweiz. med. Wschr. 107. 442-446 (1977).
- [6] H.W. Nemeč, W. Remagen: Nachweis der ^{35}S -Anreicherung in Chondrosarkomen. Nucl.-Med. 19. 250 - 254 (1980).
- [7] H.W. Nemeč: Messung des Jod-131-Uptakes im Compton-Kontinuum. In: Die klinische Relevanz der Nuklearmedizin. (Hrsg.: H.A.E. Schmidt und G. Riccabona), S. 94 - 97, Schattauer, Stuttgart-New York (1980).
- [8] H.W. Nemeč, H.W. Roser: Zum Stand der Qualitätssicherung nuklearmedizinischer Messgeräte in der Schweiz. Biomedizinische Technik 43, Ergänzungsband 2 (1998) 195-197