

Die Tomotherapie – Linearbeschleuniger und Computertomografie vereint

Fabian Egli,

Fachmann für Medizinisch-Technische Radiologie HF



Fabian Egli

Fachmann für Medizinisch-Technische Radiologie HF

Einleitung

Der Begriff Tomotherapie setzt sich aus den zwei Begriffen «Tomo» und «Therapie» zusammen, was so viel wie Schichtbehandlung bedeutet. Diese Form der Strahlentherapie mit ionisierender Strahlung wurde in den späten 80er-Jahren in den USA von Mackie und seinem Team erfunden¹. In der Schweiz wird sie inzwischen an fünf Orten eingesetzt². Der ursprüngliche Gedanke war, einen Computertomografen (CT) mit einem Linearbeschleuniger, dem Standardgerät für die Strahlenbehandlung, zu vereinen, um so mit der Bildgebung des CT die Patientenposition zu kontrollieren. Das Aussehen des Gerätes ähnelt dem eines CT.³

Folgende leitende Fragestellungen grenzen den Rahmen dieser Diplomarbeit ein:

- Wie funktioniert die Tomotherapie und warum wurde sie entwickelt?
- Worin unterscheidet sich der Aufbau der Tomotherapie im Vergleich zum herkömmlichen Linearbeschleuniger?
- Welche Bestrahlungstechniken bietet die Tomotherapie und welche Möglichkeiten ergeben sich daraus?
- Hat die Tomotherapie durch die modernen Techniken am herkömmlichen Linearbeschleuniger noch ihre Berechtigung?

Die Diplomarbeit entstand in enger Zusammenarbeit und mit fachlicher Unterstützung durch Mitarbeiter des Kantonsspitals St. Gallen. Neben der Literaturrecherche unter PubMed und Swissbib wurden Firmenunterlagen des Herstellers und Handreichungen des Kantonsspitals St. Gallen zur Beantwortung der Fragestellungen verwendet.

Geschichte und Entwicklungsgründe

Als im Jahre 1895 die Röntgenstrahlung durch Wilhelm Conrad Röntgen entdeckt wurde, dauerte es lediglich ein Jahr, bis diese neu entdeckte Strahlung auch therapeutisch zum Einsatz kam. 1930 wurde der erste Hochfrequenz-Linearbeschleuniger⁴ entwickelt. Seit Mitte der 80er-Jahre gilt dieser als Standardgerät für die Strahlentherapie. Den wohl wichtigsten Grund für die gewaltigen Fortschritte in der Strahlentherapie stellte die Entwicklung im Bereich der Informationstechnologie dar. Es wurden immer kleinere und schnellere Computer ge-

baut, welche seitdem die Grundlage für die Gerätesteuerung und für die Therapieplanung bilden. Damit konnte erreicht werden, dass es auch für komplex geformte Zielvolumina (meist Tumore) möglich wurde, bestmögliche Dosisverteilungen zu erhalten. Voraussetzung dafür war, dass die Dosis aus verschiedenen Winkeln intensitätsmoduliert auf das Zielvolumen trifft. Die Tomotherapie wurde klinisch das erste Mal Ende 2001 an einem Tier eingesetzt. Im Jahr 2002 folgte die Bestrahlung von Knochenmetastasen eines Menschen.

¹ Siehe «Tomotherapy: A new concept for the delivery of dynamic conformal radiotherapy» von Mackie et al.; erschienen 1993 im Journal «Medical Physics».

² Fribourg, Lausanne, Lugano, Sion und St. Gallen.

³ Die für die Diplomarbeit verwendeten Literaturquellen sind in der Originalarbeit aufgeführt, werden hier aber für die bessere Lesbarkeit nur in Ausnahmefällen erwähnt.

⁴ In medizinisch eingesetzten Linearbeschleunigern werden Elektronen in gerader Linie beschleunigt. Werden diese hochenergetischen Elektronen dann abgebremst, entsteht Photonenstrahlung. Circa 95% aller Bestrahlungen werden mit Photonen durchgeführt.



Tomotherapiegerät

Bild: © www.coloradotomotherapy.com

Im Konzept zur Entwicklung der Tomotherapie werden von Mackie drei Hauptziele genannt, die durch die Tomotherapie gelöst werden sollen: Das erste Ziel stellt die bessere Schonung der Risikoorgane dar. Das zweite Ziel besteht darin, die Patientenposition und somit die genaue Dosisapplikation laufend zu überprüfen. Das dritte Ziel bezieht sich auf das Kollisionsrisiko zwischen Gerät und Patientin oder Patient, das bei herkömmlichen Linearbeschleunigern besteht. Eine bessere Schonung der Risikoorgane wollte man mit mehreren, ungleichmässigen, intensitätsmodulierten Strahlformungen erreichen. Das Problem der Unsicherheit bei der Patientenlagerung sollte durch einen integrierten Computertomografen behoben werden. Die Kollisionsgefahr zwischen Behandlungscouch und der beweglichen Strahlführung bei dynamischen Therapieformen wollte man durch ein neuartiges Design lösen.

Funktionsweise der Tomotherapie

Der grosse Unterschied zum herkömmlichen Linearbeschleuniger besteht darin, dass die Behandlungscouch sich während der Bestrahlung durch die Strahlung bewegt. Durch den Tischvorschub und die Gantryrotation (Drehbewegung des Bestrahlungsarms) ergibt sich eine spiralförmige Dosisapplikation. Eine zweite Möglichkeit ist, bei nicht rotierender Gantry, aber konstantem Tischvorschub Behandlungen vorzunehmen. Wichtig, ist zu erwähnen, dass sich die verschiedenen Geräte der Tomotherapie in ihrem Funktionsumfang unterscheiden. Mit beiden Techniken sind ausschliesslich Therapien mit Photonen möglich.

Wichtigste Komponenten

Charakteristisch für die Tomotherapie ist die ringförmige Anordnung der Komponenten auf einer CT-Gantry. Der integrierte Linearbeschleuniger ist ausgesprochen kompakt gebaut, seine Länge beträgt 30 cm. Er wird durch ein Magnetron betrieben und dient sowohl zur Produktion der bildgebenden Strahlung als auch der Therapiestrahlung.

Die Tomotherapie benötigt ein eigenes Therapieplanungssystem. Die Anwender definieren im Voraus die zu erreichenden Ziele der Bestrahlung und gewichten diese. Ein iterativer Algorithmus optimiert dann die Vorgaben. Anschliessend erfolgt die physikalische Dosisberechnung mit demselben Dosisberechnungsalgorithmus, wie er auch für die Therapieplanung für Linearbeschleuniger eingesetzt wird. Dadurch ist es möglich, Pläne der Tomotherapie mit Plänen für den herkömmlichen Linearbeschleuniger zu vergleichen. Dieses Vorgehen ist sinnvoll, wenn im Voraus unklar ist, an welchem Gerät eine Patientin oder ein Patient bestrahlt werden soll.

Bestrahlungstechniken und Indikationen

Die helikale Tomotherapie ermöglicht die Bestrahlung von langen, komplexen Zielvolumina und steht in direkter Konkurrenz zu den intensitätsmodulierten Techniken an herkömmlichen Linearbeschleunigern. Der Entscheid für die eine Technik kann daher auch organisatorische Gründe haben. Die Tomotherapie kann somit zu einer «Entlastung» der herkömmlichen Linearbeschleuniger führen. Eine abschliessende Liste mit möglichen Indika-

tionen zu erstellen, ist schwierig, da das Einsatzspektrum nicht zuletzt auch davon abhängt, welche weiteren Bestrahlungsgeräte einem Institut zur Verfügung stehen. Beispiele für Indikationen sind: Neuroachsen, Tumore im Kopf-Hals-Bereich, Prostatabestrahlungen bei Hüftprothesen u.a.

Im Unterschied zur helikalen Tomotherapie handelt es sich bei nicht rotierender Gantry um die schnellere Bestrahlungstechnik. Der Planungsaufwand ist jedoch grösser, da zusätzlich noch die Anzahl der Einstrahlwinkel und deren Positionen festgelegt werden müssen.

Studienresultate (Auswahl)

Forscher an der Universitätsklinik für Strahlentherapie in München haben 2010 in einer retrospektiven Vergleichsstudie drei Bestrahlungstechniken miteinander verglichen: die intensitätsmodulierte Radiotherapie (IMRT), die volumenmodulierte Radiotherapie (VMAT Rapid Arc) sowie die helikale Tomotherapie⁵. Hierfür wurden Pläne von neun Prostatapatienten sowie neun Pläne von Patientinnen und Patienten mit Kopf- und Halstumoren berechnet und untersucht. Bei den Prostatabestrahlungen wiesen die Pläne der Tomotherapie die geringsten Dosismaxima auf. Die Zielvolumenabdeckung war bei den Tomotherapieplänen am besten, die Tomopläne wiesen die höchsten Dosisminima im Zielvolumen auf. Rapid Arc erreichte die beste Schonung von Harnblase und Rektum, gefolgt von IMRT. Die Tomotherapiepläne schnitten hier schlechter ab.

Auch bei den Kopf- und Halstumoren wiesen die Tomopläne die bessere Zielvolumenabdeckung auf. Bei der Schonung der Risikoorgane wurden die Werte der Ohrspeicheldrüsen sowie die Werte des Rückenmarkes verglichen. Die Tomopläne sind in Bezug auf die Schonung dieser Risikoorgane den Konkurrenztechniken deutlich überlegen. Die helikale Tomotherapie ermöglicht hier also eine maximale Schonung der Risikoorgane bei gleichzeitig bester Zielvolumenabdeckung. Der Unterschied zwischen RapidArc und den IMRT-Plänen ist in Bezug auf die Risikoorgane gering.

Die Autoren der Studie weisen abschliessend darauf hin, dass dosimetrische Vergleiche äusserst schwierig sind und Vorsicht bei deren Interpretation geboten ist.

Diskussion und Schlussfolgerung

Der Aufbau und die Strahlungseigenschaften der Tomotherapie unterscheiden sich erheblich von denen herkömmlicher Linearbeschleuniger. Die Tomotherapie ist die Technik der Wahl, wenn lange Zielvolumina behandelt werden müssen. Vergleichsstudien ergaben, dass sich mit der Tomotherapie die homogeneren Pläne erstellen lassen. Risikoorgane können gezielt geschont werden. Allerdings konnte auch gezeigt werden, dass die Tomotherapie bei der Schonung von Risikoorganen nicht in jedem Fall besser ist.

Die helikale Tomotherapie weist heutzutage einige Schwächen auf, die den herkömmlichen Linearbeschleuniger in vielen Situationen als die bessere Wahl erschei-

⁵ Jacob, V. et al. (2010).
A Planning Comparison of Dynamic IMRT for Different Collimator Thickness with Helical Tomotherapy and RapidArc for Prostate and Head and Neck Tumors.
Strahlentherapie und Onkologie, 186(9), 502–510.

nen lassen. Die Therapiedauer ist unter der Tomotherapie höher. Je länger die Dosisapplikation dauert, umso grösser ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Patientin oder der Patient sich bewegt. Somit besteht bei sehr langen Tomotherapie-Sitzungen die Gefahr, dass die Dosis technisch zwar millimetergenau appliziert werden konnte, aber sich die Patientin oder der Patient bewegt hat und somit eine Diskrepanz zwischen Ist und Soll entstanden ist. In palliativen Situationen oder bei Patientinnen und Patienten, die Mühe haben, lange zu liegen, stellt die Tomotherapie demzufolge nicht immer die beste Option dar. Zukünftig könnte die Funktion der simultanen Patientenbewegungsüberwachung in Form der ständigen Oberflächenabtastung implementiert werden. Aufgrund der kompakten Bauweise der Tomotherapie besteht die Möglichkeit einer planaren Bildgebung derzeit nicht. Da nur mit Photonen bestrahlt werden kann, sind keine Behandlungen mit Elektronen möglich. Verbesserungspotenzial besteht auch an der Behandlungscouch, sodass Lagerungsvariationen zwischen Behandlungen kompensiert werden könnten.

Zusammengefasst kann geschlussfolgert werden, dass die Tomotherapie medizinisch-technisch gesehen auf jeden Fall ihre Berechtigung hat. Dennoch ist davon auszugehen, dass auch in den nächsten Jahren Innovationen im Bereich der herkömmlichen Linearbeschleuniger auf den Markt kommen werden. So könnte ein kontinuierlicher Tischvorschub bei herkömmlichen Linearbeschleunigern gewährleisten, auch mit dieser Technik längere Zielvolumina einfacher und besser zu behandeln.

Zukünftig müsste erreicht werden, dass die Registrierung der Bildgebung in der Tomotherapie deutlich schneller erfolgt und somit die Behandlungszeit deutlich reduziert werden kann. Zudem könnten die modernsten CT-Algorithmen angewandt werden, um die zusätzliche Bildgebungs-dosis möglichst niedrig zu halten. Die Gantry selbst könnte in Zukunft eine höhere maximale Rotationsgeschwindigkeit aufweisen, um die Bestrahlungszeit zu verkürzen. Auch im Planungssystem steckt noch Verbesserungspotenzial. Die Bedienung sollte auf den Stand der Konkurrenz gebracht werden.

Verfügt eine Institution über einen herkömmlichen Linearbeschleuniger und eine Tomotherapie, so ergeben sich aus medizinisch-technischer Sicht bessere Möglichkeiten für die strahlentherapeutische Behandlung, als stünden zwei Linearbeschleuniger zur Verfügung. Jedoch wäre die Rentabilität kleiner, da zwei unterschiedliche Systeme mehr Kosten verursachen als zwei identische (z. B. kann bei Geräteausfällen nicht problemlos auf das andere Gerät ausgewichen werden). Auch wenn die Tomotherapie in vielen Fällen die bessere Wahl darstellt, ist diese nicht unbedingt immer auch zwingend notwendig. Die wenigsten Kliniken und Institute verfügen über eine Tomotherapie und können dennoch das ganze Spektrum der Radioonkologie anbieten. Somit ist die wirtschaftliche Berechtigung der Tomotherapie zum heutigen Zeitpunkt wohl eher zu verneinen.

Zusammenfassung: Dr. Heike Scheidhauer