

Fortschritt in der Strahlentherapie: Dynamische Keilfilter bringen bedeutende Arbeitserleichterung im Bestrahlungsablauf

Moderne Linearbeschleuniger bieten die Möglichkeit, die Dosisverteilung statt mit einem mechanischen Metallkeilfilter mit programmgesteuerter Blendenbewegung zu modulieren. Die Anwendungen sind praktisch die gleichen wie bei den reellen Keilfiltern. Neben größerer Variabilität bieten sie vor allem leichtere Handhabung bei allerdings erhöhtem Aufwand zur Qualitätssicherung.

Keilfilter allgemein

Ein herkömmlicher mechanischer Keilfilter besteht aus einem keilförmigen Metallkeil, der in den Strahlengang gebracht wird; an der dicken Seite des Keils wird durch stärkere Absorption eine geringere Dosis gemessen als an der Spitze des Keils. Dies führt gegenüber dem offenen

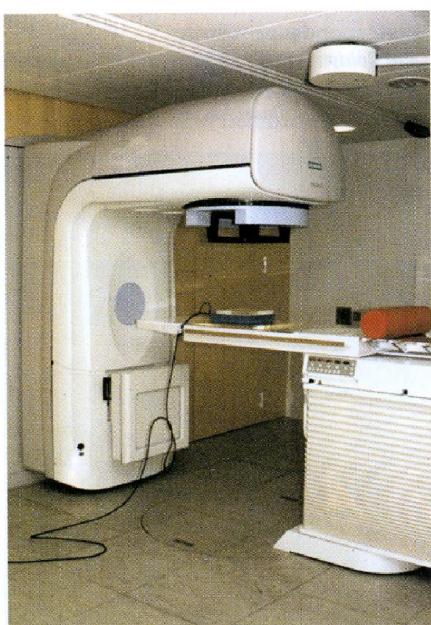


Abb. 1: Moderner Linearbeschleuniger mit eingebauter Option zur dynamischen Keilfiltersteuerung.

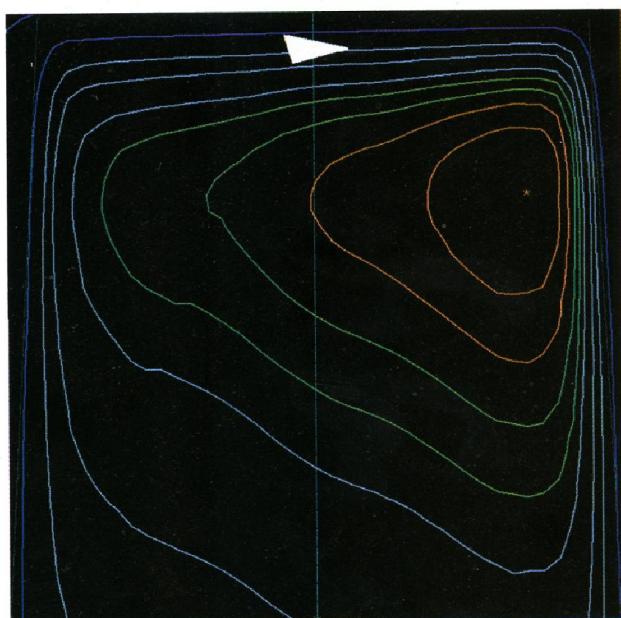


Abb. 2: Darstellung einer Dosismodulation mit einem herkömmlichen mechanischen Keilfilter. Eine hohe Dosis (orange dargestellt) wird am dünnen Ende des Keilfilters erreicht, eine niedrige Dosis (blau dargestellt) am dicken Ende.

Bestrahlungsfeld zu einer Neigung der Isodosen. (Abb.2). Der Isodosen-Neigungswinkel α korreliert mit dem Winkel des Metallkeiles. Er ist definiert als „der spitze Winkel zwischen einer repräsentativen Isodosenfläche im Zentralstrahl tangierenden Ebene und einer Ebene senkrecht zum Zentralstrahl“[1]. Eine Beschreibung wie dieser Winkel zu messen ist, findet man in der DIN 6847-4 [2].

Anwendungen

Prinzipiell sind die Einsatzmöglichkeiten für dynamische Keilfilter dieselben, wie für mechanische Keilfilter. Die Eigenschaft des Keilfilters zur Isodosenformung wird z. B. bei der Bestrahlung der Mamma mit tangentialen Gegenfeldern genutzt (Abb.3). Die zunehmende

Dicke des Keiles kompensiert die Abnahme des Gewebedurchmessers und verhindert Dosisspitzen im Bereich der Mamille.

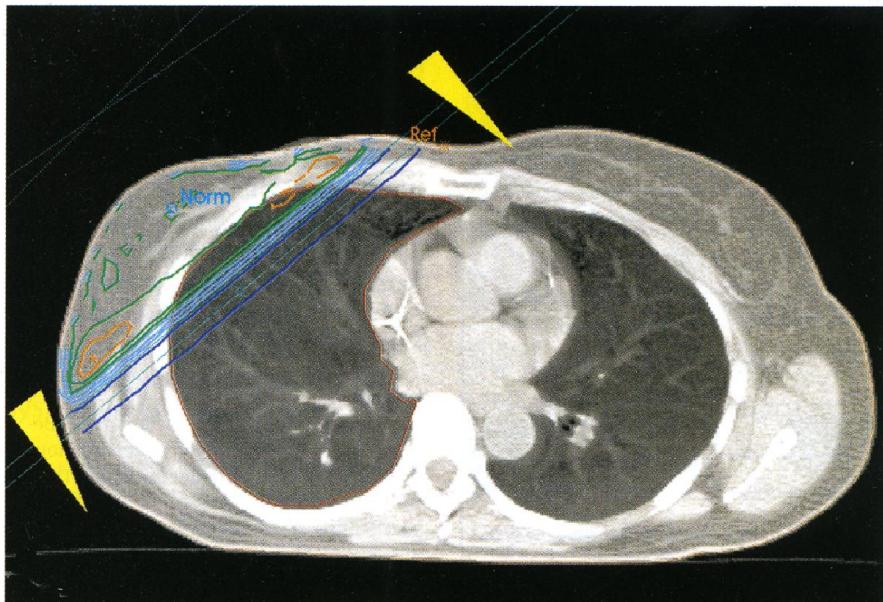


Abb. 3: Beispiel einer Dosismodulation mit dynamischem Keilfilter beim Mammakarzinom. Darstellung aus einer CT-gestützten Planung der rechten Mamma mit tangentialen Gegenfeldern.

Eine weitere Anwendung ist der Einsatz bei zueinander geneigten isozentrischen Feldern (Abb. 4). Hier wird im Bereich A, der für beide Felder näher an der Oberfläche liegt, die Dosis durch die dicke Seite des Keiles reduziert, während im Bereich B der Dosisbeitrag durch die Spitze des Keiles zu höheren Werten gezogen wird. Dadurch kann die Dosisverteilung im Überlagerungsbereich der beiden Felder homogenisiert werden.

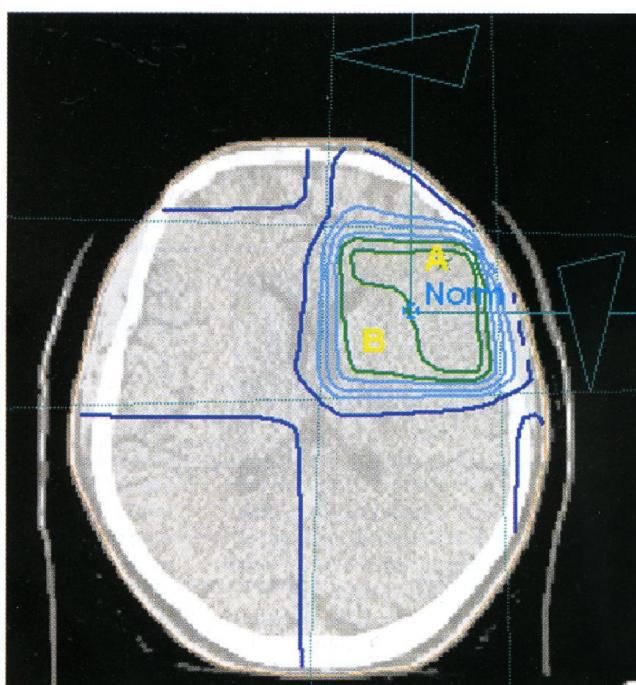


Abb. 4: Beispiel einer Dosismodulation bei einem Zielvolumen im Gehirn. CT-gestützte Planung mit zueinander senkrechten isozentrischen Feldern.

Funktionsweise

Der Vorschlag, eine ähnliche Neigung der Isodosen wie beim Keilfilter dadurch zu erzielen,

dass während der Bestrahlung eine Blende des Kollimators verfahren wird, wurde bereits 1978 veröffentlicht [3]. Prinzipiell kann die bewegte Blende (dynamische Blende) während der Bestrahlung geöffnet oder geschlossen werden (Abb.5).

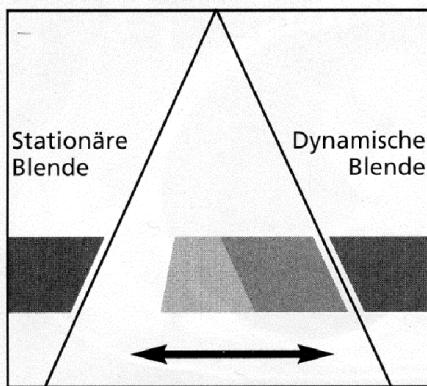


Abb. 5: Bewegungsschema eines dynamischen Keilfilters.

Ein Hersteller (Varian) startet mit dem offenen Feld. Die Startpositionen entsprechen der „Feldgröße“. Während der Bestrahlung wird die dynamische Blende allmählich geschlossen und blockt damit einen immer größeren Feldanteil aus. Die Seite, auf der die bewegte Blende startet, entspricht offensichtlich der dicken Seite des Keiles, diejenige auf der sie endet, der dünnen. Während des schrittweisen Schließvorgangs wird die Dosisleistung und die Blendengeschwindigkeit für jedes Segment einer Tabelle entnommen, die für den Keilfilterwinkel, die vorgewählten Monitoreinheiten und die Feldgröße spezifisch ist [4]. Diese Tabellenwerte werden vor der Bestrahlung aus einer sogenannten *Golden Segmented Treatment Table (STT)* errechnet, von denen für jede Strahlenergie eine benötigt wird. Ein anderer Hersteller (Siemens) beginnt in der geschlossenen Position. Natürlich ist vor Starten der Bestrahlung auch hier das Feld ganz geöffnet, um das Lichtfeld beurteilen zu können. In der Vorbereitungsphase schließt sich die dynamische Blende bis auf einen schmalen Spalt. Während der Bestrahlung fährt die dynamische Blende mit konstanter Geschwindigkeit auf, bis auf den Wert, der der vorgewählten Feldgröße entspricht. Dabei wird nach einem mathematischen Modell die Dosisleistung geregelt; das Modell berücksichtigt neben dem gewählten Keilfilterisodosenwinkel auch die Strahlenqualität durch den linearen Schwächungskoeffizienten [5].

Dosimetrie

Die Dosimetrie für dynamische Keilfilter ist deutlich aufwändiger als für konventionelle Keilfilter. Da sich die Feldgeometrie während einer Bestrahlung ändert, muss mit einer einzelnen Ionisationskammer für jeden Messpunkt einer Tiefendosiskurve oder eines Profils ein vollständiges Feld bestrahlt werden. In der Praxis kommen Einzelkammern für Messungen entlang einer Linie also kaum in Betracht. Hierfür bieten sich heute sogenannte „Lineararrays“ an, bei denen eine Vielzahl von Sonden auf einer Leiste angebracht ist. Damit kann nun während einer Bestrahlung ein komplettes Profil gemessen werden. Die räumliche Auflösung ist allerdings immer noch schlechter, als bei einem gefahrenen Profil mit Einzelkammer bei konventionellem Keilfilter. Während im letzten Fall eine Auflösung von 1mm kein Problem ist, wird die Auflösung mit Array bei einer Einzelmessung durch den Abstand der Sonden beschrieben, die üblicherweise im Bereich von 1 - 2 cm liegt. Durch aufeinander folgende Messungen, bei denen das Lineararray jeweils verschoben wird, kann die Auflösung zwar beliebig verbessert werden, allerdings auf Kosten der Messzeit.

Eine andere Methode relativ rasch zu einem Satz von Profilen zu gelangen, besteht in der Belichtung und densitometrischen Auswertung von Verifikationsfilmen. Hier liegt die Schwierigkeit in der Erstellung einer Kalibrierung der optischen Dichtekurve [6,7]; zudem

kann der Film nicht in Wasser, sondern nur im Festkörperphantom belichtet werden. Ein weiteres Werkzeug zur Bestimmung relativer Dosisverteilungen können flächige Szintillationsdetektoren sein. Hier kann ebenso wie bei Filmen mit einer Messung das ganze Feld hochauflösend erfasst werden, leider ebenfalls mit dem Nachteil, dass nicht in Wasser gemessen werden kann.

Vorteile

Der ganz große Vorteil der dynamischen Keilfiltertechnik besteht in der einfacheren Handhabung im täglichen Betrieb. Ein rechnergestütztes Verifikations- und Protokolliersystem kann die Routine für die dynamische Blendensteuerung aufrufen; das Einsetzen und Herausnehmen des Keilfilters entfällt und damit auch die Verletzungsgefahr für Personal und Patienten durch herabfallende Keilfilter. In Einzelfällen können sich die größeren Felder, die mit dynamischer Technik gegenüber den Standardkeilfiltern möglich sind als vorteilhaft erweisen [8]. Die größere Variabilität des Isodosenneigungswinkels gestattet manchmal eine weitere Verbesserung der Dosisverteilung. Durch den fehlenden Keilfilter, der unterhalb der Blenden als Streukörper wirkt, ist die Streustrahlendosis außerhalb des Feldes geringer. Damit wird eine unnötige Belastung des Patienten vermieden [9,10].

Nachteile

Bereits erwähnt wurde der höhere Aufwand bei der Messung der Profile und Tiefendosiskurven. Dieser setzt sich bei der Qualitätssicherung fort. Neben regelmäßigen Messungen von Profilen wenigstens einmal jährlich sind arbeitstägliche Kontrollen sinnvoll, bei denen in mindestens zwei Punkten auf der Achse in Keilrichtung die Dosis gemessen wird [6]. Ein Nachteil, der für viele nicht so schwer ins Gewicht fällt: Dynamische Keilfilter können bei Rotationstechniken nicht eingesetzt werden. Auch nur in Ausnahmefällen wird man feststellen, dass für den Ablauf eines dynamischen Keilfilters eine Mindestanzahl an Monitoreinheiten notwendig ist und ein Maximum nicht überschritten werden kann. Deutlicher spürbar macht sich die fehlende Anschauung: Bei der Einstellung am Patienten ist auch bei einfachen Techniken wie z.B. tangentiale Mammabestrahlung nicht ohne weiteres ersichtlich, ob die Orientierung des Keilfilters richtig ist.

Fazit

Die meisten Vor- und Nachteile der dynamischen Keilfilter sind nur in Einzelfällen interessant. Bedeutend ist jedoch die Arbeitserleichterung in der täglichen Routine, für die allerdings ein größerer Aufwand für die Qualitätssicherung in Kauf genommen werden muss.

Literatur

- [1] Deutsches Institut für Normung e.V.: Begriffe und Benennungen in der radiologischen Technik - Strahlentherapie DIN 6814 Teil 8 (1990)
- [2] Deutsches Institut für Normung e.V.: Medizinische Elektronenbeschleuniger-Anlagen, Apparative Qualitätsmerkmale DIN 6847 Teil 4 (1990)
- [3] Kijewski, P. K., Chin, L. M., Björngård, B. E.: Wedge shaped dose distributions by computer-controlled collimator motion, Med. Phys. 5(5): 426-429 (1978)
- [4] Dennis D. Leavitt, Calvin Huntzinger, Thanos Etmektzoglou: Dynamic collimator and dose rate control: enabling technology for enhanced dynamic wedge, Medical Dosimetry 22(3) 167-170 (1997)
- [5] Ernst-L. Schmidt: Virtueller Keilfilter - Physikalische Grundlagen und Hinweise für die

Mta Spektrum 16 (4), 2001; S. 176-178;

Marius Treutwein: Fortschritt in der Strahlentherapie: Dynamische Keilfilter bringen bedeutende Arbeitserleichterung im Bestrahlungsablauf

praktische Anwendung Siemens (1998)

[6] Ernst-Ludwig Schmidt, Jürgen Rittler, Reiner Steurer: Eine Methode zur Qualitätssicherung dynamischer Keilfilter, Strahlentherapie und Onkologie 175(1): 39-41 (1999)

[7] Lars Weber, Anders Ahnesjö et al.: Verification and implementation of dynamic wedge calculations in a treatment planning system based on a dose-to-energy-fluence formalism, Med. Phys. 23: 307-316 (1996)

[8] Laura Earley: Larger field sizes: an advantage of the dynamic wedge, Medical Dosimetry 22(3) 193-195 (1997)

[9] William B. Warlick, James H. O'Rear, Laura Earley, John H. Moeller, David K. Gaffney, Dennis D. Leavitt: Dose to the contralateral breast: a comparison of two techniques using the enhanced dynamic wedge versus a standard wedge, Medical Dosimetry 22(3) 185-191 (1997)

[10] Christopher D. Weides, Edward C. Mok, Wendy C. Chang, David O. Findley, Carol A. Shostak: Evaluating the dose to the contralateral breast when using a dynamic wedge versus a regular wedge, Medical Dosimetry 20(4) 287-293 (1995)

Anschrift des Verfassers:

Marius Treutwein, Dipl.-Phys. (Univ.)

Klinik und Poliklinik für Strahlentherapie

Klinikum der Universität Regensburg

93042 Regensburg

E-mail: marius.treutwein@klinik.uni-regensburg.de