

Deutsche Gesellschaft für Medizinische Physik

Leitlinie zur Strahlentherapie mit fluenzmodulierten Feldern (IMRT)

1. Einleitung

1.1 Vorbemerkung:

□ Eine Leitlinie ist eine systematisch entwickelte Darstellung und Empfehlung, die sich an Ärzte, Medizinphysiker, MTRA und weitere Mitarbeiter des klinischen Teams sowie an die Patienten richtet, um sie bei der Entscheidung über bestimmte zu ergreifende Maßnahmen im Rahmen der Krankenversorgung (Prävention, Diagnose, Therapie und Nachsorge) zu unterstützen. Eine Leitlinie steckt den Handlungsrahmen ab, der in der Mehrheit der Fälle zutrifft, von dem jedoch im Einzelfall durchaus abgewichen werden kann. Eine Leitlinie ist damit anders als eine Verordnung oder gesetzliche Bestimmung als Empfehlung einzustufen. Sie ist also vergleichbar einer DIN Norm oder einem internationalen Standard und unterscheidet sich von diesen im Wesentlichen durch ihren Anwendungsbereich sowie durch ihr Zustandekommen.

Innerhalb des weiten Spektrums strahlentherapeutischer Methoden stellen manche Behandlungsformen auf Grund ihrer Komplexität besondere Anforderungen an die Qualitätssicherung. Beispiele sind die Endovasale Brachytherapie [1] oder die in dieser Leitlinie behandelte Strahlentherapie mit fluenzmodulierten Strahlenfeldern (IMRT). Um in dem noch in Entwicklung befindlichen Bereich der IMRT bereits in der frühen Phase der klinischen Implementierung eine Standardisierung der Anforderungen und der Durchführung von IMRT-Bestrahlungen sicherzustellen, wurde von den beiden betroffenen Fachgesellschaften DEGRO und DGMP eine Expertengruppe mit der Erstellung dieser Leitlinie beauftragt. Es wird in dieser Leitlinie nur auf IMRT mit hochenergetischer Photonenstrahlung eingegangen. Die Leitlinie wurde jeweils durch DEGRO und DGMP verabschiedet und entspricht nach der Klassifikation der AWMF der Stufe S1.

Die IMRT ist eine spezielle Form der dreidimensionalen Konformationsbestrahlung. Die Einführung der IMRT in die klinische Praxis setzt deshalb voraus, dass die entsprechende Einrichtung bereits alle Voraussetzungen für die Anwendung konformierender Bestrahlungstechniken erfüllt. In dieser Leitlinie werden die Anforderungen zusammengestellt, die sich darüber hinaus für die Durchführung von IMRT ergeben.

1.2 Begriffsdefinition:

Die Konformationsbestrahlung ist eine Bestrahlungstechnik, bei der durch die geometrische Formung der Strahlenfelder mit Satelliten- oder Lamellenblenden die räumliche Dosisverteilung möglichst eng an das Zielvolumen angepasst wird (3D-CRT). Die Bestrahlungsplanung erfolgt auf der Grundlage eines CT-Bilddatensatzes, der eine Volumenrekonstruktion der gesamten zu bestrahlenden Körperregion, insbesondere von Zielvolumina und Risikoorganen erlaubt. Für die Konformationsbestrahlung wird ein 3D-Bestrahlungsplanungssystem eingesetzt, mit dem die Berechnung von räumlichen physikalischen Dosisverteilungen möglich ist.

Bei der IMRT werden zur Anpassung der Dosisverteilung an das Zielvolumen über die geometrische Formung hinaus die Fluenzen der Strahlungsfelder moduliert. Fluenzmodulierte Strahlungsfelder werden in der Regel durch Überlagerung von irregulären Teilfeldern (Segmenten) mit Hilfe von Lamellenblenden erzeugt. Bei statischen IMRT-Techniken wird die Strahlung während der Einstellung jedes Segments unterbrochen, bei dynamischen Techniken erfolgt die Veränderung der Feldform bei eingeschalteter Strahlung. Bestrahlungstechniken mit Anwendung von Keilfiltern oder standardisierten Satelliten werden nicht als IMRT bezeichnet. Die IMRT-Bestrahlungsplanung setzt die Verwendung besonderer Algorithmen zur Bestimmung der Fluenzmatrizen der einzelnen Strahlungsfelder voraus. Besonders anspruchsvoll sind Verfahren der inversen Planung, bei der aus der Form des Zielvolumens sowie unter Berücksichtigung der spezifizierten Toleranzdosen die Fluenzprofile berechnet werden. Es sind auch einfache Verfahren der Vorwärtsplanung in Gebrauch, die dem Vorgehen der Feldformung bei Konformationsbestrahlungen ähnlich sind und bei denen beispielsweise durch manuelle Überlagerung mehrerer Strahlungsfelder aus derselben Einstrahlrichtung die Dosisverteilung optimiert wird. Kernstück eines Optimierungsalgorithmus zur Bestimmung der Fluenzverteilungen der einzelnen Strahlungsfelder ist die Zielfunktion, welche die Randbedingungen für den Optimierungsprozess enthält, wie z.B. die Zielvolumendosis, Dosisgrenzwerte der Risikoorgane und Einzelwerte von Dosis-Volumen-Histogrammen (DVH). Neuere Ansätze für Zielfunktionen enthalten ausser physikalischen auch biologische und klinische Kriterien. Das Ergebnis der IMRT-Bestrahlungsplanung ist entscheidend von der Art und den durch den Anwender gesetzten Randbedingungen in der Zielfunktion und dem implementierten Optimierungsalgorithmus abhängig.

1.3 Anwendungsbereich von IMRT

Die IMRT-Technik ersetzt, auch wenn sie Vorteile bietet, nicht grundsätzlich die übrigen Methoden der konventionellen oder der dreidimensionalen konformalen Strahlenbehandlung (3D-CRT). Die IMRT wird angewendet, wenn die Schonung des gesunden umgebenden Gewebes auf andere, einfachere Art nicht erreichbar ist. Insbesondere ist die IMRT in folgenden Fällen vorteilhaft [2]:

- Das Zielvolumen ist unregelmäßig begrenzt und liegt in unmittelbarer Nachbarschaft zu kritischen Strukturen, die entsprechend dem Behandlungsziel geschont werden müssen.
- Eine unmittelbar benachbarte Region wurde bereits früher bestrahlt. Die geplante angrenzende Dosisverteilung muss mit hoher Präzision eingepasst werden können.
- Andere, einfachere Bestrahlungstechniken ergeben keine akzeptable Dosisverteilung. Dies kann beispielsweise der Fall bei konkav geformten Zielvolumina sein.
- Im Zielvolumen ist eine Dosisescalation geplant, die sich mit herkömmlichen Verfahren nur durch Überschreiten der Grenzwerte in den angrenzenden Risikostrukturen erreichen lässt.
- Durch ein einfacheres Behandlungsverfahren kann zwar eine akzeptable Dosisverteilung erreicht werden, eine deutliche Verbesserung der Güte der Behandlung durch IMRT wiegt jedoch die höhere Komplexität dieser Technik auf.
- Durch den Einsatz der IMRT kann der Ablauf der Strahlentherapie deutlich vereinfacht werden, beispielsweise durch Vermeidung von Feldanschlüssen oder mehrfachen Wechsel der Bestrahlungstechnik im Rahmen einer

Strahlenbehandlung. In diesem Zusammenhang ist die einfache Verwirklichung von integrierten Boost-Bestrahlungen zu nennen.

2. Technische Verfahren der IMRT

Gegenwärtig sind überwiegend drei Verfahren zur Erzeugung fluenzmodulierter Strahlungsfelder in Gebrauch:

- Die klassische Methode der Kompensatorfilter
- Der Einsatz von Lamellenblenden (MLC)
- Der Einsatz von binären Multielementblenden in Verbindung mit Fächerstrahlbeschleunigern (z.B. Tomotherapie).

Am weitesten verbreitet sind die MLC-basierten IMRT-Verfahren, vor allem weil sie im Gegensatz zur Kompensatormethode weniger Zeit- und Personalaufwand je Bestrahlungsfall erfordern.

Bei den MLC-basierten Verfahren unterscheidet man statische (z.B. *step&shoot*) und dynamische (z.B. *sliding-window*, *IMAT*) Techniken. Abhängig von der Auswahl des IMRT-Verfahrens ergeben sich unterschiedliche Anforderungen vor allem an die apparative Ausstattung (Beschleuniger, Therapieplanungssystem, Dosimetrie) und die Qualitätssicherung. Bedingt durch die Vielfalt der IMRT-Techniken ist die Kompatibilität der einzelnen Geräte und Komponenten und ihre Integration zu einem funktionstüchtigen Gesamtsystem als besonders kritisch für IMRT-Bestrahlungen anzusehen. Mit grosser Sorgfalt muss vor der klinischen Einführung der IMRT geprüft werden, inwieweit das Planungssystem für die mit dem gewählten Beschleuniger realisierbaren IMRT-Techniken ausgelegt ist. Ohne eine zuverlässige individuelle Optimierung der Dosisplanung für die ausgewählten Entitäten kann mit einer klinischen Umsetzung der IMRT nicht begonnen werden, auch wenn der Beschleuniger grundsätzlich mit einem IMRT-Modul ausgestattet ist. Der für die IMRT typische grosse Datenumfang (3D-Bilddatensätze, 3D-Dosispläne, Steuerdaten für die Lamellenblenden zur Segmentformung und Fluenzmodulierung (Sequencer) etc.) zwingt zu leistungsfähiger Vernetzung der einzelnen Geräte, schnellem Datentransport und dem Einsatz standardisierter Schnittstellen (z.B. DICOM).

3. Anforderungen an die Ausstattung

3.1 Apparative Ausstattung

Die IMRT ist ein spezielles Verfahren der Konformationsbestrahlung (3D-CRT). Folglich muss die apparative Ausstattung zur Durchführung von IMRT zumindest dem Standard bei 3D-CRT entsprechen:

- Elektronen-Linearbeschleuniger mit Lamellenkollimator (MLC) und Verifikationssystem, vorzugsweise mit Einrichtung zur elektronischen Strahlungsfeldkontrolle (EPID).
- Einrichtungen und Hilfsmittel zur Immobilisierung und Präzisionslagerung des Patienten.
- Zugang zu einem Computertomographen (CT) mit ausreichender Zeitkapazität und technischer Ausstattung zur Erstellung von Bilddatensätzen für die Bestrahlungsplanung.
- Hard- und Software zur dreidimensionalen Segmentierung von Zielvolumina und Risikoorganen im Planungs-CT. Wünschenswert ist die Möglichkeit zur

Koregistrierung bzw. Fusionierung und Verarbeitung von multimodalen Bilddatensätzen (z.B. CT, MR, PET).

- Bestrahlungsplanungssystem zur Berechnung der dreidimensionalen Dosisverteilung im Patienten mit geeigneten Modulen zur Bewertung der Güte von Bestrahlungsplänen.
- Vernetzung von Computertomograph, Bestrahlungsplanungssystem und Beschleuniger mit der Möglichkeit des elektronischen Datenaustausches (Steuerdaten, Bilddatensätze) zwischen diesen Arbeitsplätzen.
- Eine umfassende dosimetrische Ausstattung, insbesondere Sonden zur Dosismessung kleiner Strahlenfelder und steiler Dosisgradienten.

Zusätzlich zu dieser Ausstattung erfordert die IMRT folgende besonderen Einrichtungen und Komponenten:

- Auslegung des Beschleunigers für IMRT (z.B. Erzeugung fluenzmodulierter Felder, Übertragung der Steuerdaten vom Planungssystem, Protokollierung, Datensicherung, Sicherheit und Praktikabilität der IMRT-Durchführung)
- Die IMRT-Bestrahlungsplanungssoftware muss insbesondere folgende Anforderungen erfüllen:
 - Sehr genaue 3D-Dosisberechnung in inhomogenen Medien, auch bei sehr kleinen Feldgrößen (z.B. im Bereich von $2 \times 2 \text{ cm}^2$ bis $5 \times 5 \text{ cm}^2$)
 - Optimierungsverfahren zur Bestimmung der Fluenzmodulation einer Strahlenfelderkonfiguration unter Berücksichtigung wählbarer physikalischer, ggf. auch biologischer Optimierungskriterien.
 - Auch wenn der Einschluss der Segmentierung von Fluenzmatrizen in den Optimierungsprozess erst bei wenigen Planungssystemen verwirklicht ist, wird dies als wünschenswert angesehen.
 - Berücksichtigung der physikalischen und technischen Eigenschaften des Strahlerkopfes (insbesondere des MLC) in der Optimierung und Segmentierung der Fluenzmodulation
- Verfahren zur Übertragung des fertig gestellten IMRT-Bestrahlungsplanes auf den Patienten (Simulator, »virtuelle« Simulation).
- Ein angepasstes Verifikationssystem, das in der Lage ist, die großen Datenmengen sicher und effizient während der Bestrahlung zur Verfügung zu stellen und zu kontrollieren.

3.2 Personelle Ausstattung

Die IMRT erfordert ein Behandlungsteam, das eingehende Kenntnisse und Erfahrungen in der konformalen Strahlentherapie besitzt. Es sollte mindestens aus einem Radioonkologen, einem Medizinphysiker, der möglichst zugleich die Qualifikation eines Medizinphysikexperten hat, und einer MTRA bestehen. Die besondere Qualifikation soll über gezielte Weiterbildung (Schulungen, Kurse, Hospitationen etc.) erworben und durch regelmäßige Fortbildungsmaßnahmen aktualisiert werden. Je nach apparativer Ausstattung, der Produktwahl der einzelnen Komponenten für die IMRT und der Erfahrung des IMRT-Teams können einzelne Arbeitsschritte zunächst zeitaufwendiger als bei 3D-CRT sein und gerade in der Anfangsphase der klinischen Einführung zu erhöhtem Personalaufwand führen. Zeitaufwand pro Bestrahlungsfall, Patientenfrequenz und Personalausstattung müssen in einem ausgewogenen Verhältnis zueinander stehen.

4. Anforderungen an die Durchführung

4.1 Allgemeine Maßnahmen zur klinischen Einführung von IMRT

Die klinische Einführung der IMRT erfolgt am besten in Form eines Arbeitsprogramms mit Festlegung von Zielen und Zeitplan einschließlich überprüfbarer Teilziele. Die praktische Durchführung des Arbeitsprogramms erfolgt durch das IMRT-Team, dem hierfür genügend Zeit eingeräumt werden muss. Typische Wegmarken des Arbeitsprogramms sind:

- Ausschreibung und Beschaffung der notwendigen technischen Komponenten des IMRT-Systems (Beschleuniger, Bestrahlungsplanungssystem, Verifikation, Bildgebung, Datentransfer & Vernetzung, Dosimetrie).
- Installation des IMRT-Systems.
- Physikalische und technische Kommissionierung des IMRT-Systems
- Festlegung der zu behandelnden Tumorentitäten und Definition eines Behandlungsprotokolls inklusive Einschlusskriterien, Lagerungs- und Konturierungsvorschriften, Dosisrandbedingungen etc.
- Festlegung von Probeläufen und Nachbildung von IMRT-Beispielfällen in Phantomuntersuchungen (Bildatenerfassung und Verarbeitung, Bestrahlungsplanung, dosimetrische Testmessungen, Bestimmung von dosimetrischen Teil- und Gesamtunsicherheiten).
- Festlegung von Planungsvorschriften für die ausgewählten Tumorentitäten inklusive von Bewertungskriterien für die Güte des Bestrahlungsplans unter Berücksichtigung der Besonderheiten der IMRT (z.B. neuartige Dosisverteilungsmuster, dosimetrisch kritische Fluenzkomplexitäten, höhere Monitoreinheiten).
- Festlegung eines umfassenden Qualitätsmanagementsystems für die Routinebestrahlungen (maschinen- und patientenbezogen).
- Bestimmung des Zeitaufwandes für die einzelnen Arbeitsschritte und Festlegung der maximal möglichen Behandlungskapazität.
- Klinischer Probelauf.
- Aufnahme des Routinebetriebs.

4.2 Lagerung, Einstellung, Immobilisierung des Patienten, Positionskontrolle von Zielvolumina und Risikoorganen

Um im Rahmen der IMRT eine möglichst hohe Konformierung der Dosisverteilung erreichen zu können, müssen besondere Anstrengungen zur Reduzierung aller intra- und interfraktionellen Fehler unternommen werden. Aufgrund der bei der IMRT im Vergleich zu einer konventionellen Strahlentherapie höheren örtlichen Variation der Fluenz ist der Einfluss der räumlichen Gewebevariation besonders bedeutsam. Wichtige Fehlerquellen für Abweichungen von der geplanten Dosisverteilung sind Lagerung und Einstellung des Patienten sowie die Bewegung der inneren Organe unter Bestrahlung. Die Anwendung von Präzisionsverfahren der Patientenlagerung und - immobilisierung (z.B. Maskentechnik) wie sie aus der Konformations-Strahlentherapie (3D-CRT) bekannt sind, stellen den Mindeststandard für die IMRT dar. Zur Positionskontrolle von Zielvolumina und Risikoorganen dienen Hautmarkierungen oder implantierte Marker (Clips, Kugeln, Drahtstücke etc.). Zur direkten Darstellung von Zielvolumina und Risikoorganen werden zunehmend schnittbildgebende Verfahren wie Ultraschall, CT, Cone-Beam-CT oder Mega-Voltage-CT eingesetzt. Die Lagerung und Fixierung der Patienten ist engmaschig über die gesamte Bestrahlungsserie durch wiederholte Bildgebung zu überprüfen.

4.3 Festlegung von Zielvolumen und Risikoorganen

Grundsätzlich sind wie bei jeder Form der Konformationsbestrahlung die nationalen (z.B. DIN-Normen) und internationalen Empfehlungen (z.B.[3,4]) zur Festlegung von Zielvolumen und Risikoorganen zu beachten. Allerdings stellt die Annahme eines

Überlappens verschiedener Volumina gerade bei IMRT meist eine starke Vereinfachung dar. Eine adäquate Tumor-Bildgebung, die die Ausdehnung von Zielvolumina und Risikoorganen mit hinreichender dreidimensionaler Ortsauflösung darstellt, ist die Voraussetzung für eine zuverlässige Konturierung von Zielvolumen und Risikoorganen. Die IMRT-Planungssoftware verlangt eine sorgfältige und umfassende Konturierung und Dosispezifikation aller Risikoorgane, soweit hiervon der Optimierungsprozess der Fluenzmodulation aller Felder betroffen ist. Arzt und Physiker müssen mit den Eigenschaften des Optimierungsalgorithmus soweit vertraut sein, dass sie das Potential der IMRT-Planung möglichst voll ausschöpfen und Planungsfehler vermeiden können. Da die IMRT eine besondere Schonung von Risikoorganen ermöglicht, müssen die Sicherheitsränder der segmentierten Volumina die Organbeweglichkeit und Positionierungsgenauigkeit in allen Raumrichtungen berücksichtigen.

4.4 Dosisverordnung

Bei IMRT soll sich die Dosisverordnung und Protokollierung soweit wie möglich an den nationalen [5,6] sowie internationalen Empfehlungen [3,4] orientieren. Diese Empfehlungen regeln jedoch nicht das Vorgehen bei bewusst heterogen gestalteten Dosisverteilungen im Zielvolumen (z.B. »dose painting«). Bei der Verwendung eines integrierten Boostes sind die biologischen Auswirkungen eines veränderten Fraktionierungsschemas zu berücksichtigen. Es ist auch zu beachten, dass es durch die IMRT im Gegensatz zu konventionellen Bestrahlungstechniken zu einer erhöhten Ganzkörperdosis kommen kann.

Einige bei der IMRT eingesetzte Optimierungsverfahren erfordern die Angabe einer maximal zulässigen Dosis für die Risikoorgane und das umliegende gesunde Gewebe. Alle Dosisangaben einschliesslich ggf. spezifizierter Randbedingungen sind zu protokollieren.

4.5 Optimierung der Dosisverteilung

In die Optimierung der Dosisverteilung können neben den die Fluenz beschreibenden Parametern weitere geometrische, physikalische oder biologische Parameter einbezogen werden.

Der Hersteller eines computergestützten Optimierungsverfahrens für die IMRT muss die prinzipielle Arbeitsweise des Verfahrens dem Benutzer gegenüber offen legen. Dies gilt insbesondere für die gewählte Zielfunktion und das mathematische Optimierungsverfahren, für Anpassungen des verwendeten Algorithmus bei der Berechnung der Dosisverteilung und für spezielle Einschränkungen des Verfahrens. Es sollte stets die an der Bestrahlungseinrichtung tatsächlich umsetzbare Dosisverteilung angegeben werden. Ganz allgemein müssen dem Anwender Einschränkungen und Besonderheiten des Programms bekannt sein (Fluenz Hot Spots, Einschränkungen hinsichtlich non-koplanarer Bestrahlungspläne, Berücksichtigung von Boli, virtuelle Boli usw.). Dem Anwender sollen ferner allgemeine Anwendungsgrenzen des Verfahrens bekannt sein (lange Bestrahlungszeiten, kleine Felder).

Für Feldkontrollaufnahmen vorgesehene konventionelle Felder des Bestrahlungsplanes sollen bei der Optimierung der Dosisverteilung ggf. berücksichtigt werden.

Als Eingabewerte für ein computergestütztes Optimierungsverfahren werden mindestens Toleranzdosen für Risikoorgane und Dosisgrenzen für die Zielvolumina angegeben.

4.6 Evaluierung und Validierung

Geeignete Instrumente zur Planevaluierung, wie etwa DVH-Vergleichsdarstellungen sowie axiale, sagittale und coronale Isodosendarstellung müssen verfügbar sein. Bei der Evaluierung des Bestrahlungsplanes sind die folgenden Aspekte zu berücksichtigen:

- Dosis und Dosisverteilung in CTV und PTV
- Ausreichende Schonung des umgebenden gesunden Gewebes, Einhaltung von Toleranzdosen und Teilvolumenbelastung in Risikoorganen
- Einhaltung der Vorgaben zur zeitlichen Dosisverteilung
- Ausreichende Sicherheitsränder zur Abgrenzung der Zielvolumina und Risikoorgane unter Berücksichtigung von Lagerungs- und Einstellfehlern sowie von Organbewegungen
- Verbesserung der Planqualität durch IMRT gegenüber herkömmlichen Verfahren

4.7 Datenübertragung

Bei der Übertragung der Bestrahlungsparameter an das Bestrahlungsgerät oder an andere Orte müssen die Daten gegen zufällige und falsch intendierte Veränderungen gesichert sein (z.B. durch einen Prüfsummenalgorithmus). Eine Übertragung über ein internes Datennetz wird empfohlen.

4.8 Planverifikation

Das Planungsprogramm sollte die Generierung von »eins-zu-eins« Phantom-Verifikationsplänen für die verschiedenen dosimetrischen (vor Ort eingesetzten) Verfahren unterstützen.

Es wird empfohlen, bei einer individuellen patientenbezogenen Verifikation der physikalischen Fluenzverteilung vorzugsweise Flächendetektoren einzusetzen. Relativmessungen der Strahlendosis sollen durch eine Absolutmessung normiert werden. Der notwendige Aufwand für eine individuelle Planverifikation hängt in erster Linie vom Bestrahlungsplanungssystem selbst ab. Je zuverlässiger die Fluenz- und Dosisberechnung (z.B. Monte-Carlo Simulation) ist, desto geringer sind die Diskrepanzen zwischen berechneter und experimentell bestimmter Dosisverteilung und umso geringer gestaltet sich der Prüfaufwand für den individuellen Bestrahlungsplan. Je nach Planungssystem richtet sich der Prüfaufwand nach den kritischen Merkmalen der Dosisverteilung, die verifiziert werden müssen (Dosisgradienten nahe kritischer Risikostrukturen, Angemessenheit der Verfahren in Hinblick auf die Komplexität der Dosisverteilung, Einführung neuer IMRT-Fallgruppen).

Unter bestimmten Umständen kann auf eine patientenbezogene Verifikation der physikalischen Dosisverteilung zugunsten einer maschinenbezogenen Qualitätssicherung verzichtet werden. Dies geschieht im Rahmen eines umfassenden Qualitätsmanagements für spezielle Patientenfallgruppen und unter Berücksichtigung der speziellen IMRT-Erfahrung des durchführenden Zentrums und der aktuellen Empfehlungen der entsprechenden Fachgesellschaften.

4.9 Durchführung der Bestrahlung

Die Ersteinstellung eines IMRT-Bestrahlungsplanes geschieht unter Aufsicht des fachkundigen Strahlentherapeuten und eines fachkundigen Physikers. Verifikationspläne dürfen bei Beginn der Patientenbestrahlung nicht mehr für die Bestrahlung abrufbar sein. Die Richtigkeit der Applikation der fluenzmodulierten Felder sowie die Genauigkeit der Lagerung und Immobilisierung des Patienten sind durch geeignete und evtl. wiederholte Feldkontrollaufnahmen oder andere Maßnahmen zu verifizieren.

Solche Feldkontrollaufnahmen müssen im Bestrahlungsschema berücksichtigt sein. Der evtl. erhöhte Zeitaufwand bei Ersteinstellung und den Folgebestrahlungen muss vorher berücksichtigt und eingeplant werden.

Dem medizinisch technischen Personal müssen die wichtigen Merkmale des Verfahrens bekannt sein. Dies betrifft insbesondere die Überschreitung von IMRT-spezifischen Interventionsschwellen und IMRT-spezifischen Interlocks.

Die Definition von IMRT-spezifischen Toleranztabellen wird als sinnvoll erachtet, sofern sie nicht schon durch andere Verfahren definiert sind (Stereotaxie, Kopf-Hals-Bestrahlungen mit Maskensystemen).

5. Anforderungen an die Dokumentation

5.1 Dokumentation einer IMRT Behandlung

Die Dokumentation einer IMRT unterscheidet sich prinzipiell nicht von der Dokumentation einer konformalen Strahlentherapie. Sie muss nach DIN 6827-1 [5] in der höchsten Protokollierungsstufe III erfolgen.

DIN 6827-1 fordert unter anderem die Dokumentation aller Bestrahlungsparameter, die für die Durchführung einer Bestrahlung hinsichtlich der im Patienten erzeugten physikalischen Dosisverteilung von Bedeutung sind. Bei IMRT gehören dazu naturgemäß die Segmentierungsparameter für die Erzeugung der modulierten Fluenzen mit Hilfe des Lamellenkollimators. Dabei handelt es sich typischer Weise um große Datenmengen, die nicht mehr sinnvoll in schriftlicher Form darstellbar sind. Eine elektronische Form der Dokumentation dieser Daten ist deshalb unumgänglich.

5.2 Maßnahmen zur Überprüfung des Dosisplans

Aufgrund der hohen Komplexität eines IMRT-Dosisplans und des nicht direkt ersichtlichen Zusammenhangs zwischen applizierter Dosis und den dazu benötigten Monitoreinheiten kommt der Überprüfung und der korrekten Übertragung der Bestrahlungsparameter jedes IMRT-Dosisplans eine große Bedeutung zu. Die Art und der Umfang dieser Überprüfung muss im Rahmen eines klinikinternen IMRT Qualitätssicherungsprotokolls festgelegt werden.

Möglich sind etwa dosimetrische Überprüfungen der fluenzmodulierten Felder oder vergleichende Dosisberechnungen mit Hilfe unabhängiger Computerprogramme.

Die Dokumentation der Ergebnisse solcher Überprüfungen sind nicht zwingend Teil der Behandlungsdokumentation, vielmehr bestätigt der Medizinphysikexperte mit seiner Unterschrift auf dem Bestrahlungsplan, dass die Überprüfungen ordnungsgemäß durchgeführt und die Ergebnisse der Überprüfung im Rahmen der Toleranzen gelegen haben.

5.3 Maschinenbezogene Daten

Die Anwendung der IMRT erfordert je nach eingesetztem IMRT-System neben den vorgeschriebenen Qualitätskontrollen nach DIN 6847-5 [8] zusätzliche systemspezifische qualitätssichernde Maßnahmen am Bestrahlungsgerät und dem Lamellenkollimator. Art und Häufigkeit dieser Kontrollen sind klinikintern in einem Qualitätssicherungsprotokoll festzulegen und müssen entsprechend durchgeführt werden. Die Ergebnisse sind schriftlich festzuhalten und müssen 30 Jahre aufbewahrt werden.

6. Qualitätsmanagement

Gerade bei neuen Bestrahlungstechniken wie der IMRT, zumal diese sich noch stark in Entwicklung befindet und kaum gesicherte klinische Erfahrungen bestehen, ist eine standardisierte Qualitätssicherung Voraussetzung für die praktische Umsetzung der IMRT. Zu diesem Zweck sollte jede Einrichtung, die IMRT als strahlentherapeutische Methode anbietet,

ihr Qualitätsmanagementsystem nach DIN 6870 [7] so erweitern, dass die speziellen Ziele, Anforderungen, Regeln für die Durchführung und die Überwachung von IMRT-Bestrahlungen erfasst sind. Entsprechend den Grundsätzen zur Aufstellung und Umsetzung eines Qualitätsmanagementsystems nach DIN 6870 sind über den Prüfumfang physikalisch-technischer Kenngrößen und Merkmale von Geräten, Komponenten und Prozessen auch die erforderliche apparative und personelle Ausstattung sowie Arbeitsabläufe, organisatorische Strukturen und Verantwortlichkeiten darzulegen. Unabhängig davon sind bei der Einführung und der routinemäßigen Durchführung der IMRT die rechtlichen Bestimmungen (StrSchVO, MPG) zu beachten.

Hinsichtlich der IMRT-Bestrahlung selbst lassen sich drei Bereiche der Qualitätssicherung unterscheiden:

1. Inbetriebnahme: Die Prüfung speziell auf IMRT ausgelegter Systeme der Bestrahlungsplanung einschließlich Bildgebung sowie der Beschleuniger erfolgt nach den geltenden DIN-Normen sowie internationalen Standards und Empfehlungen von Expertengremien. Der Prüfaufwand von IMRT-Modulen des Bestrahlungsplanungssystems und der Beschleunigerkomponenten ist bei der ersten Inbetriebnahme in der Regel sehr hoch.
2. Konstanzprüfungen: Der Umfang der periodischen täglichen bis jährlichen Prüfungen an den Planungssystemen und Beschleunigern muss bei Einführung von IMRT in die klinische Routine ergänzt werden. Dies kann je nach gewählter Methode den Zeitaufwand für diese Konstanzprüfungen etwas erhöhen.
3. Durchführung der Patientenbestrahlung: Die Qualitätssicherung der IMRT in der klinischen Routine erfolgt nach sehr unterschiedlichen Verfahren. In der Regel ist zumindest in der Anfangsphase nach Einführung der IMRT vor der ersten Bestrahlung des Patienten eine Verifikation von Feldform und Fluenzverteilung jedes einzelnen Strahlenfeldes zu fordern. Nach Abschluss der Lernphase kann der Prüfaufwand schrittweise reduziert und dem Umfang bei konventionellen 3D-Bestrahlungstechniken angepasst werden.

Wie bei anderen Spezialformen strahlentherapeutischer Behandlungen erfordert die Vorbereitung und die anschließende Einführung der IMRT in die klinische Routine die Bildung einer interdisziplinären Gruppe aus besonders qualifizierten, speziell in IMRT geschulten Radioonkologen, Medizinphysikern und MTRA. Die besonderen medizinischen Indikationen, die Optimierungsalgorithmen der IMRT-Dosisplanung und die hohen Anforderungen an die Präzision der Durchführung der Bestrahlungsplanung einschließlich Patientenlagerung verlangen eine enge Zusammenarbeit der Mitarbeiter des IMRT-Teams. Dies muss bei der personellen Ausstattung sowie bei der Zuweisung von Verantwortlichkeiten und Abgrenzungen von Kompetenzen innerhalb des IMRT-Teams im Rahmen der Organisationsstruktur der klinischen Einrichtung beachtet werden.

Literatur

- (1) DGMP Bericht Nr.16, Leitlinie zu medizinphysikalischen Aspekten der intravaskulären Brachytherapie, (2001)
- (2) Potters,L., Steinberg,M., Wallner,P., Hevezey,J: *How one defines intensity-modulated radiation therapy.* Int.J.Radiat Oncol Biol Phys 56 (2003) 609
- (3) ***Prescribing, Recording, and Reporting Photon Beam Therapy***, ICRU Report 50, (1993)
- (4) ***Prescribing, Recording, and Reporting Photon Beam Therapy***, Supplement to ICRU Report 50, ICRU-Report 62, (1999)
- (5) DIN 6827-3 Protokollierung bei der medizinischen Anwendung ionisierender Strahlen; Lokale Anwendung umschlossener radioaktiver Strahler in der Therapie (1985)
- (6) DIN 6814-8, Begriffe in der radiologischen Technik - Teil 8: Strahlentherapie, (2000)
- (7) DIN 6847-5, Medizinische Elektronenbeschleuniger-Anlagen - Teil 5: Konstanzprüfungen von Kennmerkmalen, (1998)
- (8) DIN 6870, Qualitätsmanagementsystem in der Medizinischen Radiologie, Teil 1 Strahlentherapie, Entwurf (2004)

Weiterführende Literatur:

Galvin, J. M., Ezzel,G., Eisbrauch,A., Yu,C., Butler,B., Xiao,Y., Rosen,I., Rosenman,J., Sharpe,M., Xing,L., Xia,P., Lomax,T., Low,D.A., Palta,J., Implementing IMRT in clinical practice: a joint document of the American Society for Therapeutic Radiology and Oncology and the American Association of Physicists in Medicine.

Intensity Modulated Radiation Therapy Collaborative Working Group, J.A.Purdy (chairman), Intensity Modulated Radiotherapy: Current Status and Issues of Interest, Int.J.Radiat Oncol Biol Phys 51 (2001) 880

Ezzel,G.A., Galvin, J. M, Low,D.A., Palta,J., Rosen,I., Sharpe,M., Xia,P., Xiao,Y., Xing,L., Yu,C., Guidance document on delivery, treatment planning, and clinical implementation of IMRT: Report of the IMRT subcommittee of the AAPM radiation therapy committee, Med.Phys. 30 (2003) 2089

Stand: 1. Februar 2005