

ONKOLOGISCHE PFLEGE

KONFERENZ ONKOLOGISCHER
KRANKEN- UND
KINDERKRANKENPFLEGE (KOK)

ONKOLOGISCHE PFLEGE 2018, 2: 30–35

Beate Timmermann, S. Schulze Schleithoff

Moderne Strahlentherapie bei Krebserkrankungen im Kindesalter

**Sonderdruck zur
nichtkommerziellen
Nutzung**





*Beate Timmermann,
S. Schulze Schleithoff*

Universitätsklinikum Essen, Klinik für Partikeltherapie,
Westdeutsches Protonentherapiezentrum Essen

Moderne Strahlentherapie bei Krebserkrankungen im Kindesalter

Die Strahlentherapie ist ein wichtiger Bestandteil der modernen onkologischen Therapie und wird bei fast 50 % der betroffenen Kinder zum Erreichen einer langfristigen Heilung eingesetzt. Im Kindesalter wird die Strahlentherapie meist in Kombination mit chirurgischen und systemischen Therapieverfahren eingesetzt (Abbildung 1). In der jüngeren Vergangenheit hat sich die Bedeutung der Strahlentherapie in der pädiatrischen Onkologie als wichtiger Therapiebaustein weiter verfestigt, auf der anderen Seite aber auch deutlich gewandelt (Seeringer et al., 2014). Der Stellenwert und die Intensität der Strahlentherapie sind abhängig von verschiedenen Faktoren wie dem Alter des Kindes, der Lage des Tumors, der Histologie bzw. der Strahlenempfindlichkeit, der Wirksamkeit alternativer Maßnahmen und dem Tumorstadium.

Die Strahlentherapie bietet als lokale Therapiemaßnahme eine wichtige Chance, wo die Grenzen der operativen Möglichkeiten erreicht sind. Erfreulicherweise sind die Heilungsraten gerade bei Tumoren im Kindesalter sehr hoch mit weiterhin steigenden Überlebensraten. Allerdings sind Kinder aufgrund des sich noch entwickelnden Gewebes besonders empfindlich für strahlenbedingte Nebenwirkungen oder auch das Auftreten von Zweitumoren. Daher liegt der Fokus der neuen Therapiekonzepte insbesondere auf der Verringerung chronischer Therapiefolgen, was von erheblicher Bedeutung für die Lebensqualität der Kinder bzw. späteren Erwachsenen ist (Rowe, Krauze, Ning, Camphausen, & Kaushal, 2017). Aktuell ist auch die verstärkte Anwendung von modernen, präzisen, normalgewebsschonenden Techniken in der Strahlentherapie zu beob-

achten. Durch die Entwicklung neuer Bestrahlungsgeräte und Bestrahlungstechniken, die die Dosis präzise auf das tumortragende Gewebe bringen können, sowie durch moderne Bildgebungsverfahren und die vermehrte Anwendung in Kombination mit 3-D- und 4-D- Bestrahlungsplanungsprogrammen kann

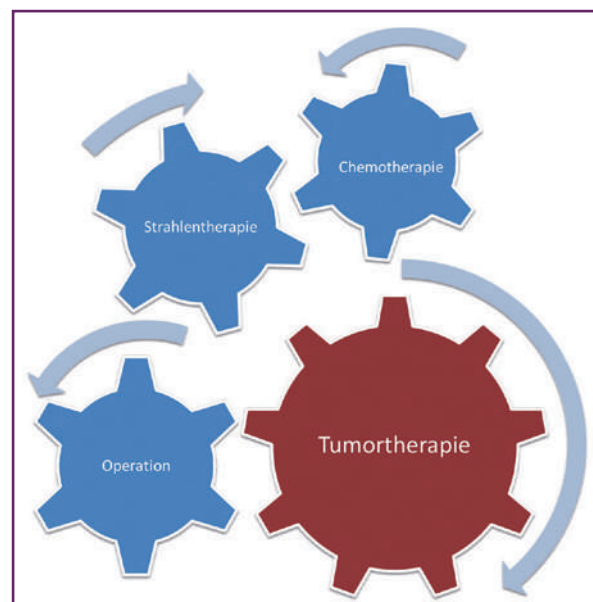


Abbildung 1: Die 3 wichtigsten Säulen der multimodalen Therapie bei Kindern mit Krebserkrankungen.

Zusammenfassung und Schlüsselwörter	Summary and Keywords
<p>Moderne Strahlentherapie bei Krebserkrankungen im Kindesalter</p> <p>Moderne Strahlentherapietechniken haben in der Behandlung von Krebserkrankungen bei Kindern einen festen Stellenwert eingenommen. Im Vordergrund neuer Therapiekonzepte steht – neben der Tumorheilung – vor allem die Verringerung von Spätfolgen. Kinder bedürfen während der Behandlung besonderer Expertise und Zuwendung.</p> <p>Kindliche Tumoren · Strahlentherapie · Behandlungsablauf</p>	<p>Modern Radiotherapy for Childhood Cancer</p> <p>Modern radiation therapy techniques have become very important in the treatment of childhood cancer. The focus of recent treatment concepts beside tumour control is particularly the reduction of long-term side-effects. Children need special attention and expertise throughout the whole treatment.</p> <p>Paediatric tumours · Radiation therapy · Treatment procedures</p>

die Strahlapplikation heutzutage deutlich besser fokussiert und damit verträglicher gemacht werden (Ajithkumar, Price, Horan, Burke, & Jefferies, 2017). Therapieassoziierte Nebenwirkungen können sich dadurch erheblich verringern. Hinzu kommen gewachsene Kenntnisse über Strahlentherapiedosierungen und -felder, die zusätzlich ermöglichen, die Tumorkontrollraten zu verbessern bei einer Reduzierung der akuten und chronischen Therapiefolgen.

Konzepte, Indikationen und Nebenwirkungen

In Deutschland werden die Therapiekonzepte und die Anwendung der Strahlentherapie für nahezu alle Tumorarten im Kindesalter in Protokollen und Leitlinien definiert. Über 90 % der Kinder mit Krebserkrankungen werden innerhalb der diagnosespezifischen Therapieoptimierungsstudien der Gesellschaft für pädiatrische Onkologie und Hämatologie (GPOH) behandelt (Rossig et al., 2013). Hierdurch entsteht eine flächendeckend einheitliche Therapie in hoher Qualität, sozusagen nach aktuellem „Gold“-Standard. Die Strahlentherapie ist somit neben der Operation und Chemotherapie fest in den Therapiekonzepten der GPOH-Studienprotokolle verankert und folgt einer konsentierten Strategie.

Die Therapiemethoden – und auch die Strahlentherapie – wurden seit den 1980er-Jahren in diesen Protokollen laufend verfeinert und vor allem zunehmend risikoadaptiert. Hierbei folgt man dem Prinzip: „So intensiv wie nötig und so schonend wie möglich.“, um unnötige Risiken zu vermeiden. So konnten Strahlendosen abgesenkt und Bestrahlungszielvolumina im Laufe der Jahre zunehmend kleiner werden. Hinzu kam die Entwicklung der Bestrahlungstechniken, die immer präzisere und fokussiertere Behandlungen ermöglichte. Dies alles leistete einen wesentlichen Beitrag zur besseren Schonung des gesunden Gewebes und Verbesserung der Verträglichkeit für viele junge Patienten.

Auch die Diagnosen, bei denen eine Strahlentherapie eingesetzt wird, haben sich in den letzten Jahren deutlich verändert. Bei der Behandlung der soliden Tumoren des zentralen Nervensystems (ZNS) und der Knochen- und Weichteilgewebe stellt die Strahlentherapie weiterhin ein sehr wichtiges Element der multimodalen Therapiestrategie dar, das die meisten erkrankten Kinder im Laufe der Behandlung erhalten werden (Tabelle 1). Hingegen wird die Bestrahlung bei Kindern mit Leukämien heute nur noch sehr selten angewendet. Bei anderen Tumoren wie z.B. den Lymphomen, den Nephroblastomen oder den Neuroblastomen erfolgt die Strahlentherapie nur bei bestimmten Risikokonstellationen in bestimmten Tumorstadien und meist mit, im Vergleich zu früher, reduzierter Strahlendosis.

Strahlentherapie der ZNS-Tumoren

Während noch vor 20 Jahren fast alle Kinder mit Hirntumoren – unabhängig von der histopathologischen Diagnose und dem Stadium – nahezu identisch intensive Bestrahlungskonzepte

Tabelle 1 Die häufigsten Diagnosen und der Einsatz der Strahlentherapie.

Diagnosen	Einsatz der Strahlentherapie
Hirntumoren	häufiger Einsatz
Knochen- und Weichteiltumoren (Sarkome)	häufiger Einsatz
Neuroblastome	regelmäßig bei Vorliegen bestimmter Risikofaktoren
Nephroblastome	regelmäßig bei Vorliegen bestimmter Risikofaktoren
Lymphome	regelmäßig bei Vorliegen bestimmter Risikofaktoren
Leukämien	seltener Einsatz

hinsichtlich der Dosierungen und der Bestrahlungsvolumina erhalten, werden bei den meisten Hirntumoren heutzutage nur noch lokal begrenzte Zielvolumina, nämlich die primäre Tumorregion, bestrahlt. Diese umfasst meist den Tumor oder den Operationsbereich mit einem Sicherheitsraum und nicht mehr das gesamte ZNS. Diese Verkleinerung des Zielvolumens kann das Risiko einer Schädigung des sich entwickelnden Hirngewebes, insbesondere von schweren kognitiven Spätfolgen, deutlich reduzieren.

Grundsätzlich lassen sich verschiedene typische Strahlengebiete voneinander abgrenzen:

- a) kraniospinale Achse (z. B. bei ZNS-Tumoren mit eingetretener oder drohender Metastasierung)
- b) Ganzhirn (bei Hirnmetastasen)
- c) Ventrikelsystem (bei bestimmten Keimzelltumoren)
- d) hintere Schädelgrube (früher üblich bei Medulloblastomen)
- e) Tumorgebiet (heute bei den meisten lokalisierten Hirntumoren)

Die Strahlendosen variieren in Abhängigkeit von der Histologie und der Tumorausdehnung lokal am Primärtumor zwischen 40 und 70 Gray (Gy) und für die subklinische Ausbreitung zwischen 18 und 36 Gy. Eingesetzt werden in Abhängigkeit von der Zielvolumengeometrie und den örtlichen Möglichkeiten alle modernen Techniken mit großer Präzision.

Strahlentherapie der Knochen- und Weichteilsarkome

Auch bei Knochen- und Weichteiltumoren stellt die Strahlentherapie eine wichtige Therapiemethode dar, da diese Tumoren oftmals nicht ohne größere Funktionseinschränkung ausreichend radikal chirurgisch entfernt werden können, um einen lokalen Rückfall zu verhindern. Meist richtete sich die Strahlentherapie auf den Tumor oder das tumortragende Kompartiment. Die Strahlendosierungen sind sehr abhängig von der Histologie und dem Vorliegen von Risikofaktoren oder der



Tumorlast. Gesamtdosen zwischen 36 und 74 Gy sind üblich. Gerade im Bereich des Körperstamms kommen zunehmend moderne Strahlentherapietechniken (konformale Radiotherapie, intensitätsmodulierte Radiotherapie (IMRT), Tomotherapie, stereotaktische Radiotherapie, Partikeltherapie) zum Einsatz.

Nebenwirkungen der Strahlentherapie bei Kindern

Das Auftreten und das Ausmaß von Akut- und Langzeitnebenwirkungen der Strahlentherapie sind abhängig von vielen individuellen Faktoren. Die Strahlenbehandlung ist meist gut verträglich und erlaubt eine Fortführung der üblichen Lebensaktivitäten wie Schule, Sport und dem Treffen mit Freunden. Wenn doch Nebenwirkungen entstehen, sind dabei sowohl die Einzel- oder Gesamtdosis, das Bestrahlungsvolumen, die Lage des Tumors zu benachbarten Risikoorganen sowie Alter und Entwicklungsstatus des Kindes und der Organe zum Therapiezeitpunkt entscheidend. Kinder sind insgesamt sehr strahlenempfindlich, da sie sich im Wachstum befinden. Je jünger die Kinder sind, umso größer ist das Risiko einer Beeinträchtigung der normalen Entwicklung. Da die Strahlentherapie eine lokale Maßnahme ist, ist meist jedoch nur die bestrahlte Körperregion betroffen. Als lokale Akutreaktionen während der Bestrahlung werden relativ häufig Hautrötungen und Schleimhautreizungen in der Bestrahlungsregion beobachtet. Es kann aber auch allgemein zu etwas Müdigkeit oder Unlust und Appetitlosigkeit kommen – bedingt durch die Reparaturleistung des Körpers, die Strahlen zu verarbeiten.

Während sich akute Nebenwirkungen meist innerhalb weniger Tage bis Wochen nach der Behandlung rasch zurückbilden, entwickeln sich chronische Spätfolgen langsam und sind im Allgemeinen irreversibel. Sie können mit einer Narbenbildung verglichen werden. Beispiele hierfür sind die Schrumpfung von Hohlorganen, Hautverfestigungen oder Drüsenunterfunktionen. Das Auftreten chronischer Therapiefolgen kann die Lebensqualität der Kinder und späteren Erwachsenen beeinträchtigen und wird deshalb bereits bei der Entscheidung des Therapiekonzeptes und der Strahlentherapieplanung berücksichtigt. Im Allgemeinen gilt, dass die chronischen Nebenwirkungen gravierender auftreten, wenn sich mehr belastende Faktoren bzw. Einflussfaktoren summieren. Dabei sind neben der Schädigung durch den Tumor auch individuelle Faktoren wie Alter oder Begleiterkrankungen zu bewerten. Bei den für Kinder typischen Kombinationstherapien sind entsprechend auch multifaktorielle Therapiefolgen nicht nur von der Strahlentherapie, sondern auch durch Chemotherapien und operative Eingriffe zu erwarten.

Moderne Techniken der Strahlentherapie

Die Behandlung der Tumorerkrankungen bei Kindern hat in den letzten Jahrzehnten durch die Weiterentwicklung der immer präziseren Bestrahlungstechniken bemerkenswerte Fortschritte erzielt (Claude et al., 2011). Ziel jeder Bestrahlung ist dabei natürlich zunächst die Zerstörung der Tumorzellen. Hier

zu können unterschiedliche Strahlenarten eingesetzt werden, meist sogenannten „Photonen“. In der konventionellen externen Strahlentherapie werden dafür die Strahlenenergien für die Tumortherapie in Beschleunigern auf eine hohe Energie gebracht, damit sie tief ins Gewebe eindringen und im Zielgebiet passgenau wirken können.

Der gegenwärtige Behandlungsstandard in den meisten Zentren ist die *3-D-konformale Photonentherapie* und die photonenbasierte *intensitätsmodulierte Radiotherapie* (IMRT). Hierbei werden Photonen aus mehreren Richtungen im Zielgebiet gebündelt. Hinzu kommen zur Steigerung der Präzision im Rahmen der Planung und täglichen Lagerung bildgebende Verfahren wie Röntgensysteme, Computertomografen (CT) oder auch Kernspintomografen (MRT). Man spricht dann von „*bildgeführter Strahlentherapie*“ oder auch „*Image Guided Radiotherapy*“ (IGRT). Je nach Alter des Kindes, Lage und Art des Tumors können auch andere moderne Bestrahlungsverfahren erwogen werden, wie die *Stereotaxie*, eine Technik mit höchster Präzision, rigider Fixierung und oftmals wenigen Sitzungen.

Auch die *Brachytherapie* mit einer Behandlung durch strahlende Nuklide von innen mit begrenzter Reichweite wird für bestimmte Fälle, z. B. bei der Therapie von Tumoren in inneren Hohlorganen, zur örtlichen, intensiven Therapie bei guter Gewebeschonung der Nachbarschaft eingesetzt. Mit all diesen Techniken sollen die Wirkungen möglichst präzise auf das tumortragende Gewebe begrenzt und vom gesunden Gewebe ferngehalten werden, um das Auftreten von Nebenwirkungen möglichst zu vermeiden oder zumindest zu reduzieren.

In den letzten Jahren fand darüber hinaus zunehmend die *Protonentherapie* Anwendung. Bei einer Protonentherapie werden nicht wie bei der konventionellen Photonentherapie hochenergetische elektromagnetische Wellen, sondern geladene Teilchen, nämlich Wasserstoff-Ionen (Protonen), eingesetzt. Durch die Auswahl der Protonenenergie kann die Eindringtiefe exakt definiert und gesteuert werden. Hierdurch lassen sich die typischerweise kanalartigen Durchstrahlungen des Körpers wie bei der konventionellen Photonentherapie vermeiden (Abbildung 2). Die Protonentherapie erlaubt aufgrund ihrer physikalischen Charakteristika also eine fokussierte sowie gut steuerbare Dosisabgabe und vermeidet dabei eine breite Verteilung von mittlerer und niedriger Dosis auf das umgebende Gewebe, wie sie für die Mehrfelder-Photonentherapie typisch wäre. Die Protonentherapie ist damit ein vielversprechendes Instrument, um entweder – wo nötig – die lokale Therapie verträglich intensivieren zu können oder das Risiko für akute Nebenwirkungen sowie die Entstehung von Zweitumoren nach Tumorbehandlung zu reduzieren und damit die Lebensqualität zu erhöhen (Mizumoto et al., 2017; Verma, Simone, & Mishra, 2018). Letztgenanntes Ziel steht in der pädiatrischen Onkologie bei den meisten Diagnosen im Vordergrund, nachdem bei Kindern die Heilungsraten schon heute mit den gewohnten Therapieverfahren hervorragend sind – leider aber noch oftmals

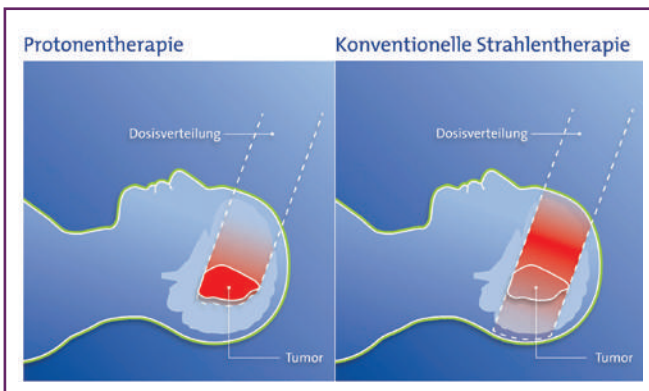


Abbildung 2: Dosisverteilung der Protonentherapie in der Körpertiefe im Vergleich zur konventionellen Strahlentherapie (Quelle: WPE).

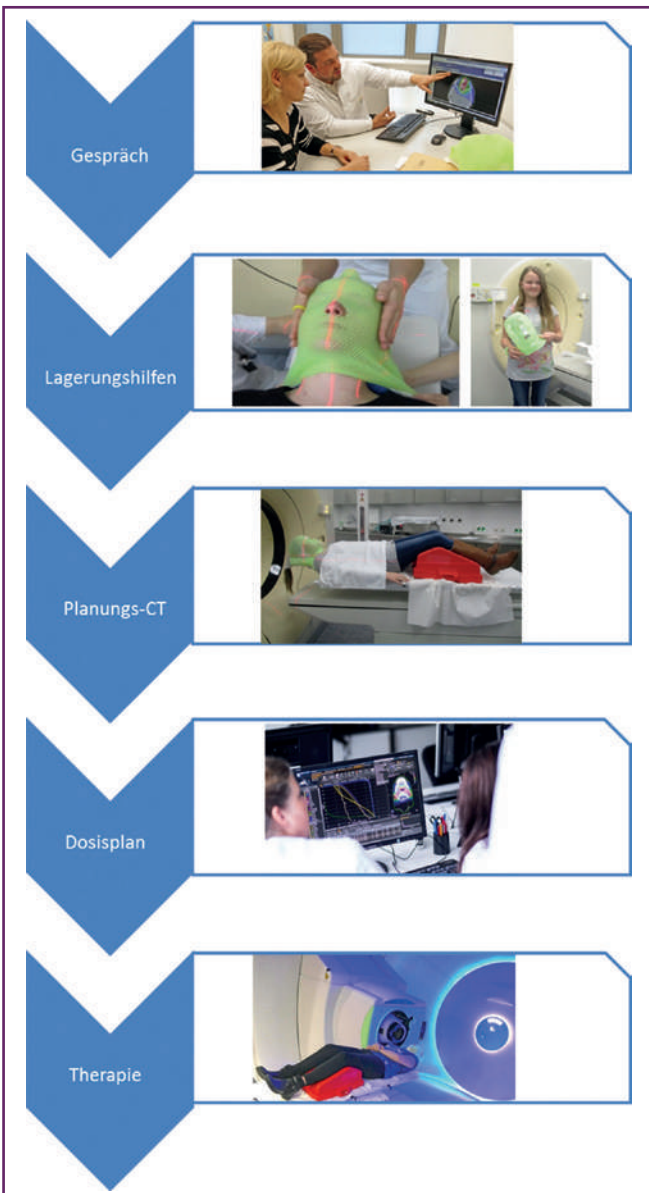


Abbildung 3: Ablauf der Strahlentherapie bei Kindern.

verbunden mit einem hohen Risiko für die Entstehung von Spätfolgen (Timmermann, 2010). Gerade für Behandlungen von kindlichen Tumoren in unmittelbarer Nähe von kritischen Organen, wie bei neuroonkologischen Tumoren, Tumoren im Schädelbereich sowie wirbelsäulen- und rückenmarksnahen Tumoren, oder bei besonderer Gewebeeempfindlichkeit in sehr frühem Kindesalter steigt das Interesse an der Protonentherapie und wird zunehmend häufig in vielen Ländern, auch in Deutschland, eingesetzt (Frisch & Timmermann, 2017). Aktuell werden in Deutschland bereits ca. 30 % der bestrahlten Kinder mit Protonen behandelt.

Ablauf der Bestrahlung

Die Wahl des Therapieschemas oder Behandlungsprotokolls und auch die Indikation zur Strahlentherapie erfolgt im Rahmen eines interdisziplinären Tumorboards. Der erste Kontakt des Patienten und seiner Familie mit der Strahlentherapie erfolgt meistens in einem ausführlichen Informations- und Aufklärungsgespräch mit einem Strahlentherapeuten (Abbildung 3). Dabei wird zunächst die Indikation durch den fachkundigen Radioonkologen nochmals anhand der vorhandenen Untersuchungsergebnisse geprüft und erläutert. Auch wird, in aller Gründlichkeit, über den Ablauf der Strahlentherapie sowie über deren Chancen und Risiken gesprochen. Oftmals erfolgt auch die gemeinsame Abwägung der Prioritäten einer intensiven Therapie anhand der Ziele Tumorheilung, Organerhalt, Funktionserhalt und kosmetisches Ergebnis. Dieses Informations- und Aufklärungsgespräch sollte unbedingt mit beiden Elternteilen erfolgen und wird in der Akte und einem separaten Aufklärungsbogen schriftlich festgehalten und bestätigt.

Im nächsten Schritt werden speziell hergestellte, individuelle Lagerungshilfen, etwa Vakuumkissen, Gipschalen oder Masken, abhängig von der genauen Bestrahlungsregion, angefertigt und angepasst. Dadurch wird gewährleistet, dass sich der Patient während der Bestrahlung nicht bewegen kann und die Bestrahlung jeden Tag millimetergenau, und immer treffsicher, durchgeführt werden kann.

Für die dann anstehende Bestrahlungsplanung erfolgt, unter Lagerung des Patienten in der für die Therapie optimalen Position und unter Zuhilfenahme der entsprechenden Lagerungshilfen, die Durchführung eines Planungs-CT und oftmals auch eines Planungs-MRT. Mit den aus den Bildgebungen exakten Darstellungen der Befunde können der behandelnde Radioonkologe und der fachkundige Medizinphysik-Experte die Therapie anhand eines dreidimensionalen CT-gestützten Patientenmodells exakt vorausplanen und quasi simulieren. Sie legen dort gemeinsam fest, mit welchen Strahlrichtungen und Energien welche Region mit welcher Dosis bestrahlt wird. Die Entwicklung und Optimierung dieses Bestrahlungsplans ist sehr aufwendig. Angestrebt wird dabei eine gute Abdeckung des Zielvolumens bei einer bestmöglichen Schonung des gesunden Gewebes.



Nachdem der Therapieplan, auch „Dosisplan“ genannt, erstellt ist, kann die eigentliche Strahlentherapie beginnen. Dabei werden üblicherweise über einige Wochen täglich Therapiesitzungen durchgeführt. Im Schnitt werden die Sitzungen über ca. 5–6 Wochen verteilt, was individuell sehr unterschiedlich sein kann und auf die jeweilige Tumorsituation angepasst wird. Man unterscheidet hierbei die sogenannte Gesamtdosis (die über alle Sitzungen kumulierte Strahlendosis im Tumor) und die pro Sitzung eingesetzte Einzeldosis. Die Behandlungen sind nicht spürbar – tun also auch nicht „weh“ – und erfolgen in der Regel ambulant. Die konventionelle Bestrahlung wird oft 5-mal pro Woche mit einer Dosis von 1,8–2,0 Gray durchgeführt. Hiervon abweichend können aber auch andere Fraktionierungsschemata eingesetzt werden, wie z. B. hypofraktionierte Radiotherapie (höhere Einzeldosen) oder hyperfraktionierte Bestrahlungen (mehr als 1 Bestrahlung pro Tag), wobei das eher selten bzw. meist im Rahmen von Studien erfolgt. Während der laufenden Strahlentherapie werden regelmäßig Lagerungs- und Positionskontrollen an den Bestrahlungsgeräten durchgeführt, mit der Überprüfung von Markierungen über Lasersysteme oder auch Röntgen- oder CT-Geräte. Bei starken Abweichungen oder vermuteten Änderungen der Körper- oder Tumorsituation kann es auch notwendig sein, den Planungsprozess zu wiederholen und den neuen Bestrahlungsplan an die veränderten Geometrien anzupassen.

Neben den technischen Kontrollen der Behandlung sind die sogenannten „klinischen“ Kontrollen genauso wichtig. Hierbei prüft der behandelnde Radioonkologe die Verträglichkeit der Therapie und schlägt gegebenenfalls Behandlungsmaßnahmen vor, wenn sich z. B. im Laufe der Zeit unter Therapie örtliche „Reizerscheinungen“ bemerkbar machen oder andere Komplikationen auftreten. Die Akutreaktionen klingen glücklicherweise meist schnell wieder ab – oft schon gegen Ende der Therapieserie. Bei vielen Kindern ist auch im Rahmen des Behandlungsprotokolls die Durchführung einer Chemotherapie vorgesehen, die ambulant oder stationär erfolgen kann. Hierfür sind dann die Termine abzustimmen, und es ist auf Interaktionen der Chemotherapie mit der Strahlentherapie zu achten, die z. B. zu einer Verstärkung einer Blutbildungsstörung führen können. Solche Ereignisse werden in den regelmäßigen Gesprächen mit dem Strahlentherapeuten aufmerksam verfolgt. Eine Unterbrechung der Strahlentherapie über die geplanten Erholungspausen hinaus sollte möglichst vermieden werden, um den Behandlungserfolg nicht zu gefährden. Dafür ist die konsequente Vorbeugung und Behandlung von auftretenden Nebenwirkungen wichtig.

Besonderheiten bei der Bestrahlung von Kindern

Die Bestrahlung von Kindern erfordert immer viel Aufmerksamkeit und besondere Zuwendung. Da die Bestrahlung sehr genau auf das Zielgebiet erfolgen soll, muss die Bestrahlungsposition täglich präzise und zuverlässig eingenommen und ge-



Abbildung 4: Kind während der Bestrahlung mit seinem Kuscheltier (Quelle: WPE).



Abbildung 5: Spielerische Vorbereitung eines Kindes auf die Strahlentherapie (Quelle: WPE).

halten werden; d. h. die Kinder müssen während der gesamten Therapiesitzung sehr still liegen. Nur so ist gewährleistet, dass genau das richtige, angezielte Gebiet bestrahlt wird. Lagerungs- und Immobilisierungshilfen, wie Masken und Vakuumkissen, unterstützen dabei. Ältere Kinder (ab 5–6 Jahren) lassen sich oftmals nur durch viel Zeit, Geduld und Einfühlungsvermögen zur erforderlichen Mitarbeit motivieren. Sie können oft durch verschiedene Tricks positiv auf die Situation vorbereitet werden. Das Mitbringen von Kuscheltieren, Hörbüchern, Musik-CDs oder die Stimme von Mama oder Papa durch das Mikrofon kann hier eine wesentliche Hilfestellung bieten (Abbildung 4). In einigen Einrichtungen können die Kinder sogar durch das Anschauen von Filmen von der Situation abgelenkt und beruhigt werden. Sinnvoll ist in diesem Rahmen auch eine psychosoziale Betreuung der jungen Patienten und ihrer Familien zur Vorbereitung auf die Behandlung, aber auch über

FAZIT

Die Strahlentherapie stellt einen wichtigen Baustein zur langfristigen Heilung im multimodalen Therapiekonzept von Tumoren im Kindesalter dar. Die Strahlentherapie von Tumoren sollte eine optimale Tumorkontrolle unter möglichst Vermeidung strahlenbedingter Schädigungen des gesunden Gewebes erreichen. Die zunehmende Risikoadaptierung der Strahlentherapie sowie der Einsatz moderner Techniken hat bereits einen wesentlichen Beitrag leisten können, zugleich effektive und schonende Behandlungswege zu finden. Die Strahlentherapie ist dabei Partner aller Disziplinen, die zur Versorgung krebskranker Kinder beitragen, und in den multidisziplinären Therapieprotokollen verankert.

den gesamten Behandlungsablauf, um Ängste vor der Behandlungsprozedur zu nehmen, die Kinder altersentsprechend auf die Bestrahlung vorzubereiten, sie zu begleiten und die Familie als Ganzes zu stärken (Abbildung 5). Für sehr junge Kinder (< 5–7 Jahren) ist die Bestrahlung sowie die Durchführung des dafür erforderlichen Planungs-CT/-MRT jedoch oft nur durch eine kurze intravenöse Sedierung möglich. Diese wird durch erfahrene Kinderanästhesisten durchgeführt und erlaubt eine täglich ambulante Behandlung, die ohne Angst erfolgt.

Bei Kindern ist immer ein hohes Maß an interdisziplinärer Zusammenarbeit mit den behandelnden Kinderkliniken und je nach Komplexität der Fälle mit weiteren Disziplinen erforderlich, z. B. der Radiologie, Neurologie, Neurochirurgie, Kinder-Endokrinologie, HNO oder Ophthalmologie. Ebenfalls eng eingebunden sind die Studienzentralen der deutschen Gesellschaft der Kinderonkologen (GPOH) und die International Society of Paediatric Oncology (SIOP) sowie die betreuenden heimatnahen pädiatrischen Onkologen.

Ausblick

Die bisherigen klinischen Ergebnisse risikoadaptierter Therapiekonzepte und moderner, präziser Strahlentherapietechniken sind vielversprechend sowohl im Hinblick auf Tumorheilungen als auch auf die Reduzierung von Therapiefolgen. Um genauere Aussagen über die positiven Langzeiteffekte der Präzisionsstrahlentherapie treffen zu können, bedarf es allerdings weiterer Untersuchungen mit größeren Patientenkohorten und längeren Nachbeobachtungszeiten. Insgesamt ist davon auszugehen, dass vor allem die Protonentherapie in Zukunft immer häufiger für Kinder mit Krebserkrankungen eingesetzt werden wird und künftig einen wesentlichen Bestandteil des Kompetenznetzwerks zur Behandlung krebskranker Kinder darstellt. ■

Interessenkonflikt

Die Autoren erklären, dass bei der Erstellung des Beitrags kein Interessenkonflikt im Sinne der Empfehlung des International Committee of Medical Journal Editors bestand.

Literatur

- Ajithkumar, T., Price, S., Horan, G., Burke, A., & Jefferies, S. (2017). Prevention of radiotherapy-induced neurocognitive dysfunction in survivors of paediatric brain tumours: the potential role of modern imaging and radiotherapy techniques. *Lancet Oncol*, 18(2), e91–e100. doi:10.1016/s1470-2045(17)30030-x
- Claude, L., Todisco, L., Leseur, J., Laprie, A., Alapetite, C., & Bernier, V. (2011). New radiation techniques in paediatric cancers. *Bull Cancer*, 98(5), 571–580. doi:10.1684/bdc.2011.1350
- Frisch, S., & Timmermann, B. (2017). The evolving role of proton beam therapy for sarcomas. *Clin Oncol (R Coll Radiol)*, 29(8), 500–506.
- Mizumoto, M., Murayama, S., Akimoto, T., Demizu, Y., Fukushima, T., Ishida, Y., . . . Sakurai, H. (2017). Long-term follow-up after proton beam therapy for pediatric tumors: a Japanese national survey. *Cancer Sci*, 108(3), 444447. doi:10.1111/cas.13140
- Rossig, C., Juergens, H., Schrappe, M., Moericke, A., Henze, G., von Stackelberg, A., . . . Creutzig, U. (2013). Effective childhood cancer treatment: the impact of large scale clinical trials in Germany and Austria. *Pediatr Blood Cancer*, 60(10), 1574–1581. doi:10.1002/pbc.24598
- Rowe, L. S., Krauze, A. V., Ning, H., Camphausen, K. A., & Kaushal, A. (2017). Optimizing the benefit of CNS radiation therapy in the pediatric population-PART 1: understanding and managing acute and late toxicities. *Oncology (Williston Park)*, 31(3), 182–188.
- Seeringer, A., Bartelheim, K., Kerl, K., Hasselblatt, M., Leuschner, I., Rutkowski, S., . . . Fruhwald, M. C. (2014). Feasibility of intensive multimodal therapy in infants affected by rhabdoid tumors - experience of the EU-RHAB registry. *Klin Padiatr*, 226(3), 143–148. doi:10.1055/s-0034-1368719
- Timmermann, B. (2010). Proton beam therapy for childhood malignancies: status report. *Klin Padiatr*, 222(3), 127–133. doi:10.1055/s-0030-1249657
- Verma, V., Simone, C. B., 2nd, & Mishra, M. V. (2018). Quality of life and patient-reported outcomes following proton radiation therapy: a systematic review. *J Natl Cancer Inst*, 110(4). doi:10.1093/jnci/djx208

Angaben zur Erstautorin

Prof. Dr. med. Beate Timmermann
Fachärztin für Strahlentherapie, Fachkunde für Partikeltherapie
Direktorin der Klinik für Partikeltherapie der Universitätsmedizin Essen und ärztliche Leitung im Westdeutschen Protonentherapiezentrum Essen (WPE)

Klinik für Partikeltherapie
Universitätsklinikum Essen
Westdeutsches Protonentherapiezentrum Essen
Hufelandstr. 55
45147 Essen
beate.timmermann@uk-essen.de