

Handbuch

Radioonkologie und Strahlentherapie - Grundlagen, Hochpräzisionstechniken und Nebenwirkungen

EINFÜHRUNG

Strahlung ist Energietransfer. In der Strahlentherapie wird hauptsächlich hochenergetische Röntgen-Strahlung auf den menschlichen Körper übertragen zur Behandlung bösartiger Tumore. Speziell hierfür ausgebildete Fachärzte, gemeinsam mit Medizinphysikerinnen und medizinisch-technischen Assistenten, sorgen mit modernster Technik dafür, dass die Strahlungsenergie möglichst exakt im Patienten appliziert wird. Neben der Kenntnis darüber, was mit den zur Verfügung stehenden Geräten machbar ist, ist es hierfür notwendig zu wissen, wie sich die Strahlung auf das Tumorgewebe und auf das umgebende Normalgewebe auswirkt. Um ein Zielvolumen definieren zu können, braucht es die Kenntnis und Erfahrung darüber, wie der Krebs bildgebend aussieht und in vielen Fällen auch insbesondere darüber, wie er sich bereits - noch unsichtbar - ausgebreitet haben könnte.

Die Bestrahlungsplanung ist die spezialisierteste Tätigkeit von Fachärztinnen für Radioonkologie und Strahlentherapie. Darüber hinaus sind deren Haupttätigkeiten:

In der Ambulanz:

- Untersuchung und Anamnese, Indikationsstellung und weitere Diagnostik
- Interdisziplinäre Abstimmung (Tumorboards)
- „Verordnung“: Zielvolumina, Gesamt- und Einzeldosis, systemische Therapie,
- „Dekurse“ während der Behandlung, supportive Therapie, Abschlussgespräch und Nachsorge

Bei der Bestrahlungsplanung:

- Lagerung in RT Position (MTRA + Ärztin/Arzt)
- „Planungs“-CT, Konturierung, Planauswahl
- (Plan-Erstellung, Dosisberechnung wird von Physik, Dosimetrie gemacht)

Auf der Station:

- Visite
- supportive Therapie (Schmerztherapie, Nebenwirkungsmanagement)
- Chemotherapie bei Radiochemotherapie
- internistische Begleiterkrankungen

BESTRAHLUNGSVOLUMINA

Es werden unterschiedlichste Volumina bestrahlt – von der winzigen Hirnmetastase ab einer Größe von ca. 3mm (bei stereotaktischer Hirnmetastasen-Bestrahlung wird auch nur ganz wenig Sicherheitssaum um die sichtbare Metastase gegeben) mit 1x20Gy bis zur Ganzkörperbestrahlung vor Knochenmarktransplantation mit z.B. 2x2Gy.

Eine weitere häufig **adjuvant oder additiv** (also postoperativ) zu bestrahlende Tumorentität cerebral ist das Glioblastom. Aufgrund der infiltrativen Wachstumstendenz von diesem, ist dabei allerdings ein großer Sicherheitssaum von etwa 2cm um die OP-Höhle bzw. sichtbaren Tumor vorgesehen, woraus relativ große Zielvolumina resultieren, die daher fraktioniert bestrahlt werden müssen.

Bei fortgeschrittenem Primärtumor metastasieren HNO-Tumore, Rektum/Anal-Karzinome und bestimmte gynäkologische Tumore früh lymphogen in einen anatomisch ganz gut definierbaren **lokoregionären Lymphabfluss**. Hat also der Tumor ein gewisses T-Stadium erreicht oder sind bereits Lymphknotenmetastasen sichtbar, wird bei diesen, über den sichtbaren Tumor/pathologischen LK hinaus, der Lymphabfluss „elektiv“ mit einer niedrigeren Dosis mitbestrahlt. Da sich in Studien zeigte, dass dort mit einer Wahrscheinlichkeit von >20-30% Rezidive auftreten, obwohl der Bereich bildgebend zum Behandlungszeitpunkt unauffällig war, kann man davon ausgehen, dass dort metastasierte Krebszellen vorhanden sein können, die man mit Bestrahlung ausmerzt.

Ähnliches gilt für die Bestrahlung der gesamten ipsilateralen Restbrust beim Mammakarzinom – obwohl keine weiteren Tumore sichtbar und R0-reseziert (d.h. mikroskopisch im Gesunden entfernt), wird so die Wahrscheinlichkeit von Lokalrezidiven signifikant reduziert. Beim Brustkrebs wird der Lymphabfluss nicht elektiv mitbestrahlt, wenn keine pos. axillären LK durch Bildgebung und OP aufgefallen sind. Ab einer gewissen Anzahl von axillären LK-Metastasen besteht allerdings die Indikation zur Bestrahlung des diesem folgenden supraklavikulären Lymphabflusses.

Ähnlich ist das Vorgehen beim Prostatakarzinom, wobei es bei diesem durchaus üblich ist es **definitiv** (also ohne vorangestellte OP) zu bestrahlen – immer das **gesamte Organ** ohne elektiven Lymphabfluss (wenn keine sichtbaren LK-Metastasen).

Bronchialkarzinome metastasieren zwar früh lymphogen, aber leider auch oft in die Ferne, sodass man sich dabei auf die Bestrahlung von **sichtbarem Tumor und LK-Metastasen** beschränkt. Frühe Lungenkarzinome also ohne Pleurale/mediastinale Infiltration oder LK-Metastasen werden auch **kurativ stereotaktisch** bestrahlt. In der Lunge können auch vereinzelte Metastasen kurativ bestrahlt werden.

Selbes gilt für LK-Metastasen im gesamten Körper – man nennt dies **Oligometastasen-Konzept**.

DOSIS UND FRAKTIONIERUNG

Die **Gesamtdosis** wird aufgeteilt in täglichen **Einzelfractionen** 5-mal pro Woche. Als **normofraktioniert** wird eine Einzeldosis von 2 Gy (=Gray) bezeichnet, wobei dann eine Dosis von z.B. 50-70Gy über mehrere Wochen verabreicht wird. Normalerweise gibt es immer nur einen Behandlungszyklus und Bestrahlungspausen sind, wenn möglich, zu vermeiden. Sollte durch Feiertag oder Krankheit des Pat. eine Bestrahlungsfraction ausfallen, wird diese hinten angehängt. Entsteht eine längere ungeplante Pause, ist individuell zu entscheiden, ob dies mit Erhöhung der Gesamtdosis zu kompensieren ist.

Moderne Bestrahlungstechniken ermöglichen eine konformalere Bestrahlung – das heißt, die Dosis wird genauer auf das Zielgebiet appliziert, während umgebendes Normalgewebe besser ausgespart und damit geschont werden kann. Dadurch kann mit höheren Einzeldosen bestrahlt werden. Der

Begriff normofraktioniert für eine Einzeldosis von 2Gy ist damit nicht mehr ganz zeitgemäß, da heutzutage ein Großteil der Patienten mit einer höheren Einzeldosis und dafür mit weniger Fraktionen [= (moderat) **hypofraktioniert** (h.f.)] bestrahlt wird. Aufgrund der höheren biologischen Wirksamkeit von höheren Einzeldosen wird dabei eine niedrigere Gesamtdosis verordnet.

Beispiele für normofraktionierte Strahlentherapien sind die neoadjuvante Bestrahlung des Beckenlymphabflusses beim Rektumkarzinom (25x2Gy) und die konsolidierende Bestrahlung des erweiterten OP-/Tumorgebietes beim Glioblastom (30x2Gy) – allerdings auch nur, wenn gleichzeitig (simultan) eine Chemotherapie gegeben wird, also bei einer Radiochemotherapie. Bei „alleiniger“ Strahlentherapie des Glioblastoms kann mit 15x2,67Gy (moderat h.f.) oder h.f. mit 10x3,4 Gy bestrahlt werden. Bei nicht simultaner, sondern sequentieller Chemotherapie beim Rektumkarzinom kann eine h.f. Kurzzeitbestrahlung mit 5x5Gy verordnet werden.

Gängige moderat h.f. Dosis-Fraktionierungs-Konzepte sind 20x3Gy beim Prostatakarzinom und 15x2,67Gy beim Mammakarzinom (Lt. Leitlinien hierbei der Standard), wobei auch hier die Leitlinien/Studien-Lage eine Hypofraktionierung mit nur 5 Bestrahlungssitzungen ermöglicht – ähnlich wie bei der Kurzzeitbestrahlung des Rektumkarzinoms.

Frühstadien von Bronchialkarzinomen (ohne LK-Metastasen) werden **hypofraktioniert stereotaktisch** mit z.B. 3x12,5Gy oder 5x8Gy bestrahlt.

Relativ selten kann auch eine **Hyperfraktionierung** zur Anwendung kommen. Beim kleinzelligen Bronchialkarzinom sieht ein Protokoll eine Einzeldosis von 1,5Gy bis 45Gy mit 2x täglicher Bestrahlung mit mind. 6-8h Abstand zwischen den Fraktionen vor. Alternativ kann hierbei auch normofraktioniert bis 66Gy bestrahlt werden.

Bei begrenzter Anzahl und Größe von Hirnmetastasen können diese sogar mit einer einzigen Bestrahlungssitzung mit 20Gy behandelt werden (**Einzeitstereotaxie** bzw. Radiochirurgie). Hierbei wird nur ein sehr kleiner Sicherheitssaum von 0,5-1mm um die im MR sichtbare Metastase geben. Größere Metastasen oder die OP-Höhle nach Hirnmetastasen-Resektion werden **hypofraktioniert-stereotaktisch** mit 5x6Gy bestrahlt wobei ein Sicherheitssaum von 2mm eingeplant wird, damit die Metastase noch sicher vom Zielvolumen erfasst wird, selbst wenn es durch die erste(n) Bestrahlungsfraction(en) zum Anschwellen kommt.

Auch bei palliativer Behandlungsintention ist eine **Einzeitbestrahlung** ein etabliertes Konzept bei der Schmerzbestrahlung von Knochenmetastasen (1x8Gy). Hierbei werden allerdings größere Sicherheitsabstände um die sichtbare Metastase (bei Wirbelkörper auch um den gesamten befallenen Knochen) eingeplant (5-8mm). Der Grund hierfür ist zum einen, dass die „Einstellung“ nicht ganz so exakt erfolgt bzw. erfolgen kann, wie bei der Stereotaxie und bei den geringeren Dosen ohnehin weniger Risiko für einen relevanten Schaden des umgebenden Normalgewebes besteht. „Einstellung“ bedeutet das Lagern für die Bestrahlung und die Kontrolle der Lagerung mit Röntgen oder CT-Aufnahmen und ggf. Adjustierung der Lagerung vor der Bestrahlung, teilweise auch intrafraktionell – also mehrmals während einer Behandlungssitzung (bei der Hirnstereotaxie werden zwischen den Behandlungs-Bögen Verifikationsaufnahmen gemacht, bei der Lungenstereotaxie ein CBCT vor jeder Behandlungsfraction und es wird meist in Atemanhalte-technik (=deep inspiration breath hold (DIBH)) bestrahlt).

Boost/Simultan integrierter Boost (SIB)

Bei der adjuvanten Ganzbrustbestrahlung, neoadjuvanten Beckenbestrahlung beim Rektumkarzinom oder bei palliativer Knochenmetastasen-Bestrahlung wird das gesamte zu bestrahlende Volumen (=Zielvolumen) relativ homogen mit derselben Verschreibungsdosis bestrahlt. Bei anderen Entitäten ist die Bestrahlung in der Regel so zu planen, dass innerhalb des Zielvolumens in Teilbereichen niedrigere oder höhere Dosen zu verschreiben sind, je nachdem, ob dort sichtbarer Tumor ist oder mit höherer oder geringerer Wahrscheinlichkeit (bildgebend noch nicht sichtbare) lymphogene Metastasierung zu erwarten ist. So erhalten z.B. bei HNO-Tumoren bei einer ED von 2Gy der Primärtumor und bildgebend pathologische Lymphknoten 70Gy, das ges. Lymphknotenlevel das Lymphknotenmetastasen enthält 60Gy und der elektive Lymphabfluss cervical und supraklavikulär 50Gy (bei letzterem sind (noch) keine Lymphknotenmetastasen sichtbar, aber es ist bekannt, dass ohne Bestrahlung auch dort später Rezidive mit einer Wahrscheinlichkeit von >20-30% auftreten würden). Konventionell hat man zunächst das Gesamtvolumen 25x bestrahlt und dann noch 5x Tumor+befallenes LK-Level (Hoch+Mittelrisikovolumen) und dann noch 5x nur den Tumor und die sichtbar pathologischen LK (Hochrisikovolumen). Man bezeichnet diese Dosisaufsättigung in Teilvolumina „Boost“. Wird die Bestrahlung so geplant, dass der Boost nicht sequentiell verabreicht wird, sondern von Beginn an Teilbereiche höhere Dosen erhalten nennt man das **Simultan Integrierten Boost (SIB)**. Hierbei wird also in 35 Fraktionen das kleinere Hochrisikovolumen normofraktioniert (2Gy ED) und die größeren Mittel- und Niedrigrisikovolumina erhalten eine etwas niedrigere ED von 1,8Gy bzw. 1,6Gy. Damit die Effektivität gleich hoch ist wie beim sequentiellen Boost müssen die niedrigeren Einzeldosen durch etwas höhere Gesamtdosen ausgeglichen wird (63Gy und 56Gy).

Die Dosiskonzepte kommen zum einen durch Modellberechnungen zustande (Stichwort: Linear-quadratisches Modell bei dem ein sog. α/β -Wert mit einbezogen wird) - deren Kenntnis auch für individuellen Behandlungsbedarf (in etwa bei Re-Bestrahlungen) hilfreich sein kann, noch bedeutender hierfür sind allerdings Erfahrungen aus wissenschaftlichen Arbeiten/Studien die Dosierungen, Fraktionierungen und Zielvolumina hinsichtlich Tumorkontrolle und Vermeidung von Lokal-, Fernrezidiven und Verträglichkeit untersuchen.

HOCHPRÄZISIONSTECHNIKEN DER STRAHLENTHERAPIE

Bei allen PatientInnen, bei denen eine Strahlentherapie (Radiotherapie=RT) aufgrund eines bösartigen Tumors durchgeführt wird, wird eine **Planungs-Computertomographie (CT)** (mit oder ohne Kontrastmittel) angefertigt. An diesen CT-Schnittbildern werden vom Facharzt für Strahlentherapie **Volumina** definiert – d.h. in den meisten Fällen Schicht für Schicht eingezeichnet (**konturiert**). Einerseits wird festgelegt, welches Volumen mit welcher Dosis bestrahlt wird (**Zielvolumen** = Target Volume (TV)), andererseits werden benachbarte **Risikoorgane** konturiert um die Dosis auf sie zu begrenzen. **Dosis-Constraints** definieren die Toleranzdosen mit denen ein bestimmtes Organ belastet werden kann (Dosismaximum bzw. wieviel % des Volumens mit welcher Dosis). Die Berechnung der Einstrahlrichtungen / Teilstrahlungen erfolgt in Abwesenheit der Patienten.

Damit das aufwändig definierte und gemeinsam mit der Medizinphysik berechnete zu behandelnde Bestrahlungsvolumen verlässlich an der geplanten Stelle ankommt, muss ein Referenzpunkt im Körper des Patienten (**Isozentrum**, meist im Zielvolumen) festgelegt sein. Zum einen wird die Lage

von diesem an der Körperoberfläche tätowiert (oder auf der Maske eingezeichnet) dazu werden Punkte tätowiert, damit die Patientin entsprechend der Körperlängsachse und Drehung vor jeder Bestrahlung richtig gelagert werden kann. Mit Laserlicht im Planungs- und Bestrahlungsraum, das Linien auf die Körperoberfläche projiziert, wird der Patient entsprechend den Tätowierungspunkten gelagert. Unmittelbar bevor die Bestrahlungsdosis verabreicht wird, wird mit Röntgenaufnahmen die Lagerung kontrolliert und adjustiert (**Image Guided RT (IGRT)**: On Board Imaging (OBI), Cone Beam CT (CBCT)). Wenn eine noch exaktere Lagerung gefordert ist, wird auch während der Bestrahlungssitzung eine Abweichung von der Planungsposition ausgeschlossen (Stereotaktische Röntgenaufnahmen bei Hirnstereotaxie (ExacTrac), Marker-Tracking bei Prostata-Stereotaxie).

Die **Lagerung** der Patientin erfolgt so, dass „Nicht-zu-Bestrahlendes“ (wie Risikoorgane) möglichst vom Zielgebiet entfernt ist (z.B. Armelevation bei der Ganzbrustbestrahlung oder Bestrahlung von Lungentumoren, Bauchlagerung mit Bellyboard bei neoadjuvanter Bestrahlung des Beckenlymphabflusses beim Rektumkarzinom, Intraoperative RT (**IORT**) bei Bestrahlung des Tumorbettes beim Mammakarzinom) und dass diese reproduzierbar (also vom Patienten auch gut auszuhalten) ist. Bei Bestrahlungen im ZNS- und Kopfhals-Bereich muss der Patient mit einer individuell angefertigten **Maske** an den Behandlungstisch fixiert werden (alleine für die Masken-Anfertigung muss die Patientin hierfür mind. 15min. ruhig liegen können und dies auch gut aushalten).

Neben der „äußeren“ Lagerung, kann auch „im Inneren“ dafür gesorgt werden, dass Risikoorgane möglichst geschont werden (**Atemgating (AG)** zur Herz-Schonung bei der Brustbestrahlung, Harnblasenfüllung bei der Bestrahlung der Prostata bzw. des Beckenlymphabflusses; „Spacer“ zwischen Rektum und Prostata).

Mit einer exakten Reproduzierbarkeit des Zielgebietes (mit AG, Goldmarker in der Prostata, CBCT, ExacTrac; auch Motion management genannt) können nicht nur **Normalgewebe** besser **geschont** werden, sondern es ist auch möglich **bösartiges Gewebe radikaler** (mit höherer (Einzel-)Dosis) und gezielter (mit weniger Sicherheitssaum) zu behandeln. Um eine hohe Dosis am Zielgebiet bei Schonung der Nachbarorgane zu erreichen geht es bei der „Bestrahlung von außen“ (Teletherapie) also darum das Zielgebiet reproduzierbar in einer bestimmten Position zu haben, Risikogewebe möglichst weg davon.

Bei der **Berechnung der Dosisverteilung** wird darauf geachtet im gesamten Zielgebiet mindestens 95% der verordneten Dosis zu erreichen und insbesondere empfindliche Risikoorgane wenig zu belasten. Liegen also Zielvolumen und Risikostruktur nahe oder direkt beieinander soll die **Dosis** dazwischen möglichst **steil abfallen**.

Wenn dies mit der üblicher Weise eingesetzten Photonenbestrahlung nicht ausreichend erreicht wird, kann eine (begrenzt verfügbare) Teilchenbestrahlung z.B. mit **Protonen** indiziert sein. Bei der **Brachytherapie** wird „von innen“ bestrahlt (nicht wie bei der Teletherapie, bei der von außen bestrahlt wird) (z.B. intravaginal oder endobronchial, im weiteren Sinne auch bei der IORT).

Die am häufigsten eingesetzten Bestrahlungsgeräte werden **Linearbeschleuniger** (=Linear Accelerator (LINAC)) genannt. In ihnen werden Elektronen beschleunigt. Eine Bestrahlung direkt mit den beschleunigten Elektronen wird dann durchgeführt, wenn das Zielgebiet an der Hautoberfläche liegt (Hauttumore oder Tumorbett-Boost <4cm tief bei adjuvanter RT der Brust). Üblicherweise wird aber mit **Photonen** bestrahlt und zwar mit **hochenergetischer Röntgenstrahlung**, die durch Abbremsung der Elektronen im Bestrahlerkopf erzeugt wird. Bei der **VMAT-Technologie** (Volumetric Modulated Arc Therapy, auch Rapid Arc – eine Sonderform der Intensity Modulated Radiation Therapy (IMRT)) wird, während der Bestrahlerkopf um den Patienten rotiert, das Bestrahlungsfeld

mit beweglichen Lamellen aus Material mit hoher Ordnungszahl (Multileafcollimator (MLC)) ständig angepasst und auch die abgegebene Dosis variiert dabei. Dadurch ist es möglich, jede Form von Zielvolumen mit der vorgeschriebenen Dosis beinahe ganz abzudecken und dort wo Risikoorgane sind die Dosis gering zu halten.

Insbesondere bei empfindlichen Nachbargeweben und großen Bestrahlungsvolumina (Kopfhals Tumore, Lungenkarzinome mit Lymphknotenmetastasierung, Beckenlymphabflussbestrahlung) ist es nach wie vor notwendig über mehrere Wochen mit niedrigen Einzeldosen zu bestrahlen (z.B. „**konventionell fraktioniert**“ über 5-7 Wochen mit 5x/Woche tgl. 2 Gray (Gy)). Zunehmend ist aber eine sogenannte **stereotaktische Radiotherapie (SRT)** möglich – d.h. hohe Einzeldosen mit wenigen Einzelsitzungen (z.B. von Hirnmetastasen, Lungen-Rundherde (lokal begrenzt ohne Lymphknotenmetastasierung oder Lungenmetastasen), Nebennierenmetastasen, Leberherde, Wirbelkörpermetastasen, Lymphknotenmetastasen – außerhalb des Gehirns wird die SRT als stereotactic (extracranial) body RT (SBRT) bezeichnet). Hirnmetastasen können meist sogar einzeln mit einer sehr hohen Dosis (20Gy) bestrahlt werden (**Radiochirurgie** auch Stereotactic RadioSurgery SRS). Während dies zunächst nur bei bis zu 3 Metastasen <3cm möglich war, wurde dies mit zunehmend differenzierter Bestrahlungsplanberechnung auch bei etwa 10 Metastasen möglich, wenn ein kritisches Gesamtvolumen nicht überschritten wird. Eine stereotaktische RT wird beim nicht-metastasierten Lungenkarzinom, aber auch bei begrenzt metastasierter Erkrankung bei verschiedenen Primärtumoren, durchaus auch in kurativer Intention (mit oder ohne Systemtherapie) eingesetzt. Dies kann auch ohne histologische Sicherung, wenn diese zu risikoreich wäre und bildgebend der hochgradige Verdacht auf ein Malignom besteht, erfolgen.

AUSGEWÄHLTE INDIKATIONEN

KURATIV

Definitive Strahlen(chemo-) therapie

- **Prostatakarzinom** definitiv (20x3 oder 5x8 od. 37x2Gy) oder additiv Prostataloge (z.B. R+ Resektion od. biochem. Rezidiv (PSA-Anstieg nach OP);
NW: Dys-/Polyurie, Obstruktion, Harnverhalt, Diarrhoe
- **Analkarzinom** als definitive Radiochemotherapie (Pl.ep.CA) (59,4/54Gy mit ED:1,8)
NW: Diarrhoe, Haut; b. ChT: BB
- **Lungenrundherd** (Stereotaxie 3x12,5 od. 5x8Gy ...)
Lok. begrenztes Bronchialkarzinom (ohne LK-Metastasen) zur definitiven Therapie

Definitive oder (neo-)adjuvante Strahlentherapie

- **Kopfhals-Tumor** (und hochsitzende Oesophaguskarzinome) (PlattenepithelCA) als definitive Radio(chemo)therapie bei Inoperabilität oder adjuvant bei lok. fortgeschrittenen Karzinomen (70/63/54Gy in 35 Fx)
NW: Mukositis, ↓Geschmacksempfinden, Mundtrockenheit, ↓Gewicht; b. ChT m. Cis: BB, Niere
- **Oesophaguskarzinom** neoadjuvante oder definitive Radiochemotherapie (41,4Gy bzw. 45/54Gy mit ED: 1,8)
NW: Oesophagitis, ev. Pneumonitis
- **Bronchialkarzinom** simultan oder sequentiell zur Chemotherapie bei Inoperabilität (hiläre/mediastinale LK-Metastasen) od. adjuvant/additiv (z.B. bei R+ od. Rezidiv) (60-70Gy mit ED:2)
- NW: Pneumonitis, Oesophagitis

Definitiv Metastasen (Oligometastasierung)

- **Oligometastasierung**
Begrenzte Anzahl an Knochen- (5x7Gy) und oder Lymphknotenmetastasen (11-12x4Gy) oder Lungenmetastasen (Dosis wie Lungenrundherd) oder Nebennierenmetastase (mit rel. geringem Sicherheitssaum (3-10mm) z.B. mit tgl. Cone-Beam-CT als Imageguidance)
- **Hirnmetastasen** einzelne bzw. begrenzte Anzahl (bis 10-max. 15) (als Einzeitstereotaxie mit (18-)20Gy mit geringem Sicherheitssaum von bis 1mm)
- **Adjuvant** Organ / OP-Gebiet (mit lokoregionärem Lymphabfluss) vor/nach OP um Rezidive zu verhindern
- **Mammakarzinom** brusterhaltend operierten; adjuvante Bestrahlung betroffene Restbrust (15x2,67Gy od. 5x5,2Gy;) (ev.+supraklavik. Lymphabfluss bei ausgedehnter Befall von axill. LK)
NW: Haut
- **Rektumkarzinom (lokal fortgeschritten)** neoadjuvant Bestrahlung des Mastdarms und Beckenlymphabflusses (5x5Gy oder 25x2Gy mit simultaner Chemotherapie)
NW: Diarrhoe, b. ChT: BB, ev. Herz: QT, Ang.pect.
- **Glioblastom** Bestrahlung des erweiterten OP-Gebietes (mit 2-3cm Sicherheitssaum) nach OP (häufig mit simultaner Chemotherapie; 30x2Gy od. 15x2,67Gy od. 10x3,4Gy)
NW: Hirndruck (GC), b. ChT: BB!

- **Sarkom** neoadjuvante Strahlentherapie von mit weitem Sicherheitssaum vor funktionserhaltender OP
- **Hirnmetastasen** OP-Höhle nach Resektion (5x6Gy mit 5mm Sicherheitssaum)

PALLIATIV

- **Schmerzbestrahlung** bei Knochenmetastasen / Multiplem Myelom (1x8Gy) (Schmerzlinderung in 70-80%)
- Knochenmetastasenbestrahlung zur **Frakturprophylaxe** bei Osteolysen (1x8Gy od. 5x4Gy)
- Ganzhirnbestrahlung bei multiplen Hirnmetastasen (10x3Gy; NW: Hirndruck; Haarausfall)
- palliative Lymphknoten/Metastasen-Bestrahlung z.B. bei großen inoperablen Metastasen

WEITERE ENTITÄTEN

- Gynäkologische Tumore, Lymphome, Multiples Myelom, Pankreaskarzinome, Harnblasenkarzinome, Hauttumore, pädiatrische Tumore
- Ganzkörperbestrahlung vor Knochenmarkstransplantation
- Gutartige (Fersensporn/Dupuytren, Tennis/Golfer-Ellbogen, Kelloide, Orbitale Endokrinopathie (Exophthalmus))

NEBENWIRKUNGEN

Bei Nebenwirkungen der Strahlentherapie unterscheidet man Akutreaktionen, die während und bis 3 Mon. nach der Therapie auftreten, von Spätnebenwirkungen. Diese sind immer im Zusammenhang mit dem bestrahlten Volumen zu beurteilen, sodass nicht zufällig während der Bestrahlung auftretende Symptome anderer Ursache als Begleitreaktion auf die Strahlentherapie missinterpretiert werden und womöglich eine notwendige Diagnostik oder Therapie verabsäumt wird. Akute Strahlentherapie Nebenwirkungen treten zum einen als abakterielle Entzündungsreaktion (Schmerzen, Schwellung, Erwärmung, Funktionsbeeinträchtigung) im bestrahlten Volumen und/oder der Umgebung, die auch noch einer gewissen Dosis ausgesetzt ist, in Erscheinung. Zum anderen kann auch die verringerte Zellteilung in rasch proliferierenden Geweben mit normalerweise hohem Zell-Turnover zu unerwünschten Begleitreaktionen führen.

| Typische Akutnebenwirkungen | bei |
|--|--|
| Dermatitis, seltener Epidermolysen (Th.: Bepanthen) | oberflächlicher Bestrahlung (z.B. Brust) |
| Hirndrucksymptomatik (Kopfschmerz, Übelk., Erbrechen, Schwindel, seltener neurol. Ausfälle) (Th.: GC cave: BZ, Soor) Haarausfall | Hirnbestrahlung |
| Schmerzexazerbation (Th.: Anpassung der Analgesie) | Schmerzbestrahlung z.B. Wirbelsäule |
| Diarrhoe Zystitis (Th.: Ernährungsempfehlungen, Probiotika, Enterobene, ausreichend Flü.zufuhr, Ausschluss/Th. HWI) | Beckenbestrahlung |
| Urethritis, Obstruktive Miktionsbeschwerden, Harnverhalt (Th.: Harnkatheter, Tamsulosin) | Prostatabestrahlung |
| Pneumonitis | Lungenbestrahlung, aber auch Brust |
| Oesophagitis (Th.: Sucralan, Analgesie) | Mediastinaler Bestrahlung, aber auch WS |
| Übelkeit (Th.: Zofran) | Bestrahlung Oberbauch od. untere BWS |
| Mukositis, Soor, Gewichtsabnahme, Mundtrockenheit, Geschmackeinbußen (Th.: PEG-Sonde prophylaktisch, flü./parent. Zusatznahrung, Analgesie) | Bestrahlung im HNO-Bereich |
| Nicht lokale Reaktionen die während und/oder eine gewisse Zeit nach der RT auftreten können sind: Müdigkeit (Fatigue), Leukopenie (bei gleichz. oder vorangegangener ChT) | |

Ein rechtzeitiges Vorbeugen, Erkennen und Behandeln von akuten Nebenwirkungen ist nicht nur von Bedeutung, um Patienten Unannehmlichkeiten zu ersparen, sondern auch um Bestrahlungspausen, welche das Risiko bergen das Outcome zu verschlechtern, zu verhindern.

Langzeitnebenwirkungen

Langzeitfolgen sind selten, können aber manchmal nicht vermieden werden, da ansonsten keine ausreichende Tumorkontrolle zu erreichen wäre. Um schwerwiegende Folgen so gut wie möglich zu vermeiden, wird danach getrachtet Toleranzdosen für Normalgewebe einzuhalten. Wenn sie auftreten, sind es länger anhaltende Entzündungen, Fibrosierungen/Vernarbungen, aber es können auch Funktionsausfälle resultieren. Verschlechterung der Lungenfunktion nach Lungen- oder Ösophagus-Bestrahlung, (meist geringe) Blutauflagerungen auf dem Stuhl nach Prostatabestrahlung, Vaginalverengung nach Analkarzinombestrahlung sind Beispiele. Osteonekrosen oder Nervenplexusläsionen (mit womöglich resultierenden Lähmungen) müssen dann riskiert werden, wenn bei nicht-kurativ operablem Rezidiv eine erneute Bestrahlung die einzige kurative Behandlungsoption ist. Schließlich sind auch Sekundärmalignome nicht gänzlich auszuschließen, wenn auch die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens gering ist. Zu beachten ist, dass über schwerwiegende Langzeitfolgen die Radioonkologen zu informieren sind.

Literaturempfehlung:

Strahlentherapie und Radioonkologie aus interdisziplinärer Sicht
2022, lehmanns media
Hans Christiansen, Michael Bremer [Hrsg.]