

Zahnärztliche Maßnahmen bei strahlentherapeutisch behandelten Patienten

Dental measures in patients treated with radiotherapy



Fragestellung

Wie werden die strahlentherapeutischen Informationen im Hinblick auf zahnärztliche Maßnahmen bei therapeutisch bestrahlten Patienten richtig interpretiert?

Hintergrund

Die aktuell gültigen interdisziplinären Leitlinien „Infizierte Osteoradionekrose des Kiefers“ (S2k) und „Implantatversorgung zur oralen Rehabilitation im Zusammenhang mit Kopf-Hals-Bestrahlung“ (S3) regeln unter anderem die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Zahnärzten und Strahlentherapeuten [8, 13]. So heißt es zum Beispiel unter Empfehlung Nummer 8 in der Leitlinie „Infizierte Osteoradionekrose des Kiefers“ [8]: „Der Sanierungsplan vor Beginn der Strahlentherapie soll interdisziplinär unter Einbeziehung der Informationen des behandelnden Strahlentherapeuten, Zahnarztes und – wenn an der Behandlung beteiligt – Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgen erstellt werden. Der Strahlentherapeut soll insbesondere die Informationen bezüglich geplanter Bestrahlungsdosis, voraussichtlichem Zielvolumen, sowie Dringlichkeit der Therapieeinleitung und Kurabilität übermitteln.“ Zudem ist festgehalten, dass „[...] der interdisziplinären Betreuung von Patienten mit Radiatio [...] eine sehr wichtige Bedeutung [...]“ zukommt

und, dass „[...] zumindest der Strahlentherapeut [...] und behandelnde Zahnarzt dringend mit einbezogen werden.“

In der Leitlinie „Implantatversorgung zur oralen Rehabilitation im Zusammenhang mit Kopf-Hals-Bestrahlung“ ist unter anderem vorgegeben [13]: „Bei positiver Indikationsstellung für Implantate werden vom Radioonkologen folgende Daten erfragt: [...] Mit diesen Angaben gelingt, in Abschätzung der onkologischen Gesamtprognose des Patienten, die Zuordnung in ein individuelles Risikoprofil [...]“. Von solchen sog. starken Empfehlungen („soll“-Empfehlung) darf nur in begründeten Einzelfällen abgewichen werden. Aufgrund dieser geforderten interdisziplinären Zusammenarbeit kann und wird es vorkommen, dass dem Zahnarzt spezifische strahlentherapeutische Informationen oder sogar Behandlungspläne zur Verfügung gestellt werden [13].

Die Leitlinien beziehen die Zahnmedizin eindeutig in die Behandlung mit ein. Ignorierung oder Missachtung von Grundsätzen der Leitlinien könnte u.a. in juristischen Verfahren für die beteiligten Ärzte und Zahnärzte negativ ausgelegt werden. Von daher ist es ratsam, sich im Vorfeld mit einigen Grundsätzen der Strahlentherapie zu befassen. Ziel dieses Artikels soll es sein, dem Zahnmediziner Tipps und Hintergrundinformationen zum

besseren Verständnis der spezifischen strahlentherapeutischen Informationen an die Hand zu geben.

Begriffsklärung

Dosis

Dosis beschreibt die Strahlenmenge, die an eine bestimmte Masse abgegeben wird [10]. Unter einer **Einzel-dosis** verstehen wir die pro Bestrahlungssitzung applizierte Bestrahlungsmenge gemessen in Gray [Gy]. Die **Gesamtdosis** beschreibt die Summe der insgesamt applizierten Bestrahlungsmenge, das heißt die Summe der Einzeldosen [10].

Für die Ausprägung beziehungsweise das Risiko des Entstehens von **Toxizitäten** spielt eine Rolle, mit welchen Einzeldosen die Gesamtdosis erreicht wurde. So entspricht z.B. die Wirksamkeit einer Bestrahlung von 10 Bestrahlungssitzungen mit einer Einzeldosis (ED) von je 3 Gy (Gesamtdosis 30 Gy) nicht einer Bestrahlung mit 15 Bestrahlungssitzungen mit einer Einzeldosis von je 2 Gy (Gesamtdosis ebenfalls 30 Gy). Häufig wird in diesem Zusammenhang von **biologischer Wirkung oder biologisch äquivalenter Dosis** gesprochen. Im Extremfall ist die biologische Wirkung einer Einzeitbestrahlung mit 30 Gy sehr viel höher als die einer Bestrahlung mit arbeitstäglich 2 Gy bis zu einer Gesamtdosis von

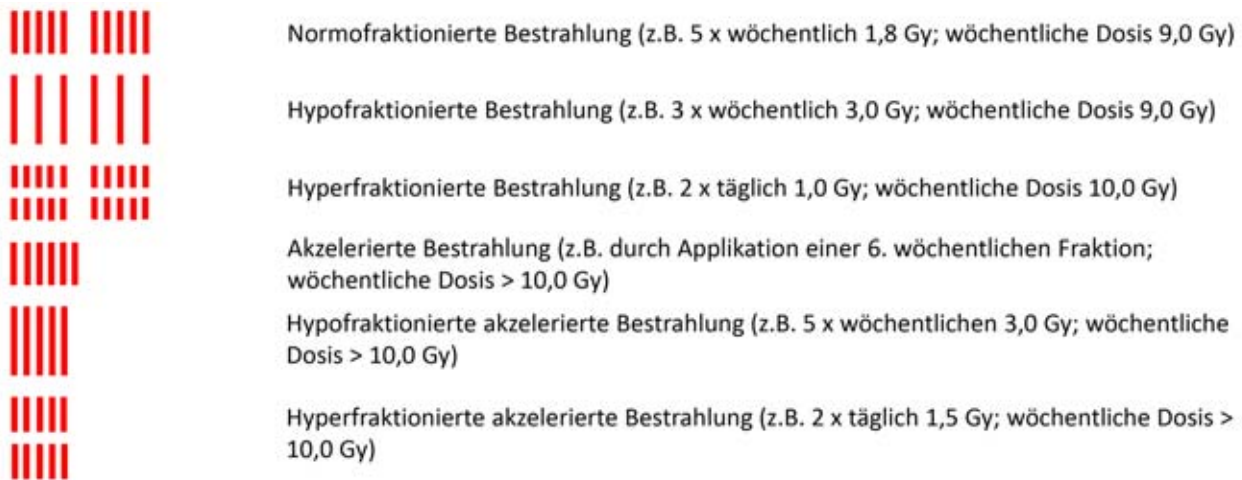


Abbildung 1 Beispiele der unterschiedlichen Fraktionierungsschemata

30 Gy [7, 10]. Wir können uns dieses Phänomen analog am Beispiel des Alkoholkonsums veranschaulichen. Würde eine Person zum Beispiel einen Liter hochprozentigen Alkohols ad hoc auf einmal konsumieren, hätte sie vermutlich eine schwere Alkoholvergiftung. Wenn sie einen Liter Alkohol allerdings verteilt über viele Tage mit kleinen täglichen Mengen konsumiert, passiert ihr wenig bzw. sie bemerkt nichts.

Fraktionierung

In diesem weiteren Zusammenhang wird häufig auch von Fraktionierung gesprochen. Wichtig ist es hierbei, den Begriff der **Normofraktionierung** zu kennen. Normofraktionierung bedeutet die 5-mal wöchentliche Bestrahlung mit einer Einzeldosis von 1,8 – 2,0 Gy. Dies entspricht einer kumulativen wöchentlichen Dosis von 9,0 – 10,0 Gy. Sehr viele Referenzwerte für die Gesamtdosis beziehen sich auf die Normofraktionierung. Bei abweichenden Einzeldosen kann mithilfe des sogenannten linearquadratischen Modells eine entsprechende Umrechnung auf eine biologisch äquivalente Dosis erfolgen [15].

An alternativen Fraktionierungsschemata werden beispielsweise die Hyperfraktionierung (Aufteilung auf eine größere Zahl an Bestrahlungssitzungen bei gleichbleibender wöchentlicher kumulativer Dosis von 9 – 10 Gy, beispielsweise 2-mal tägliche Bestrahlung mit 1,0 Gy), die Hypofraktionierung (ebenfalls gleichblei-

bende wöchentliche Dosis auf weniger Fraktionen aufgeteilt, zum Beispiel 3-mal wöchentlich 3,0 Gy) und die Akzelerierung (Erhöhung der wöchentlichen kumulativen Dosis) angewendet. Die Akzelerierung wird in der Regel durch eine hyperfraktioniert akzelerierte oder hypofraktioniert akzelerierte Bestrahlung erreicht. Möglich wäre auch die Applikation einer sechsten wöchentlichen Bestrahlung [2, 7, 15] (Abb. 1).

Zielvolumen

Ein weiterer Begriff, der häufig Verwendung findet, ist der Begriff des Zielvolumens. In Fachkreisen werden mehrere Arten von Zielvolumen unterschieden (Abb. 2). Relevant für die Mitbeurteilung der strahlentherapeutischen Informationen ist vor allem das sogenannte PTV (planning target volume). Auf das PTV erfolgt die Dosisverschreibung, das heißt das PTV soll die volle geplante Dosis erhalten. Ergänzend zu erwähnen ist, dass das PTV im Verlauf der Bestrahlung häufig angepasst beziehungsweise verkleinert wird (sogenannte Boostbestrahlung) [10]. Anzumerken ist hier zudem, dass der Begriff des „Strahlenfeldes“, heutzutage nicht mehr verwendet werden sollte bzw. in aller Regel obsolet ist. Moderne Bestrahlungstechniken verwenden sehr häufig eine sogenannte „inverse Planung“, bei der keine klassischen Felder mehr abgestrahlt werden. Bei den inversen Bestrahlungen werden dem Bestrahlungsplanungssystem (spezi-

sierte Computerprogramme) Vorgaben gemacht, welche Dosis im Zielvolumen erreicht werden soll beziehungsweise welche Dosen bei den Risikoorganen nicht überschritten werden sollen. Über das Planungssystem erfolgt eine inverse Berechnung, wie die Bestrahlung am besten erfolgen kann. Hierbei gibt es verschiedene Freiheitsgrade wie individuelle Blendenöffnung, Einstrahlrichtungen, Rotationsgeschwindigkeit und Subsegmentbildungen von „Bestrahlungsfeldern“, die das Planungssystem variiert. Häufig kommen hierbei Rotationstechniken zum Einsatz. Die Dosis an bestimmten Punkten kann nicht mehr manuell nachvollzogen werden, eine Kontrolle ist nur über komplexe Kontrollmechanismen möglich (zum Beispiel Phantommessungen oder Nachrechnung über ein unabhängiges zweites Planungssystem).

IMRT, VMAT

Bei VMAT oder rapid arc handelt es sich um Rotationsbestrahlungen mit dynamischer Blendenöffnung. Bei der IMRT hingegen fährt das Gerät bestimmte festgelegte Winkel an und zerlegt die entsprechenden Felder in Subsegmente oder arbeitet mit dynamischer Blendenöffnung [6, 7].

Interpretation und Risikoabschätzung mittels Bestrahlungsparametern

Viele Informationen können der bereits erwähnten interdisziplinären Leitlinie entnommen werden. Dieser

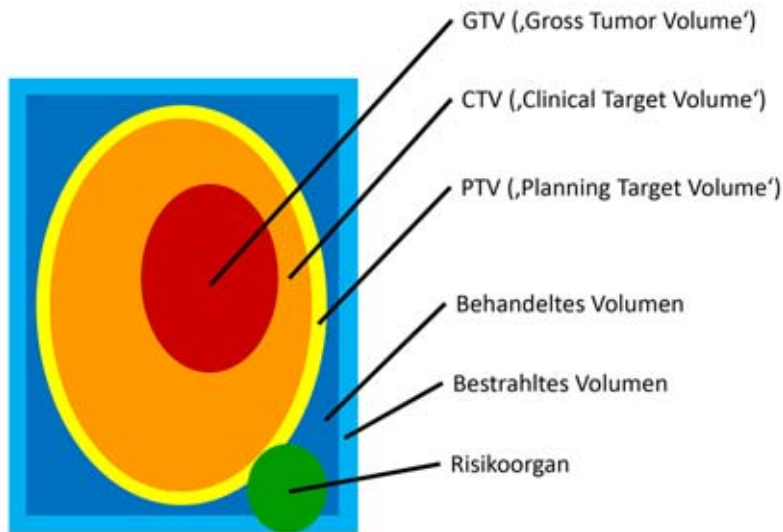


Abbildung 2 Vereinfachte Darstellung der Zielvolumenkonzepte: Das s.g. GTV (rot dargestellt) ist die makroskopisch sichtbare Tumorausdehnung (inspektorisch oder in der Bildgebung). Ein GTV kann es daher nur bei einer primären Bestrahlung geben (nicht in der adjuvanten Situation). Das s.g. CTV beinhaltet das GTV und berücksichtigt eine mikroskopische Invasion. Zudem werden z.B. Lymphknotenregionen mit hohem Befallsrisiko eingeschlossen. In der adjuvanten Situation entspricht das CTV dem Operationsareal. Das s.g. PTV berücksichtigt die Organbeweglichkeit (z.B. Atembeweglichkeit an der Lunge) und die Lagerungsunsicherheit des Patienten. Das PTV entspricht dem CTV mit einem Sicherheitssaum. Dazu kommen technisch bedingt noch ein behandeltes Volumen, das aber mit der modernen inversen Planung klein gehalten werden kann, und ein bestrahltes Volumen (bedingt durch die Einstrahlrichtungen, Streuungseffekte etc.). Es können auch Risikoorgane in unmittelbarer Nähe liegen. Die Dosisverschreibung erfolgt auf das PTV.

Unterpunkt soll vornehmlich dazu dienen, dem Leser praktische Hinweise zur Handhabung zu eröffnen.

Einschätzung des lokalen Risikos bei invasiven zahnmedizinischen Eingriffen von zuvor bestrahlten Patienten: Hier sind die oben erwähnten Begriffe von Bedeutung. Bei einem Blick in die aktuelle Literatur scheint die **Gesamtdosis ein wichtiger Risikofaktor** für die Entwicklung einer infizierten Osteoradionekrose zu sein. Dies gilt allerdings nicht uneingeschränkt. Die Gesamtdosis kann nur in **Kenntnis der Fraktionierung** beziehungsweise der applizierten Einzeldosen korrekt interpretiert werden. Auch wenn die vorliegende Literatur keinen eindeutigen Nachweis erbringt, dass alternative Fraktionierungsschemata das Risiko einer infizierten Osteoradionekrose signifikant beeinflussen, ist es doch generell so, dass erhöhte Einzeldosen höhere Spätnebenwirkungen befürchten lassen. Bei diskret erhöhten Einzeldosen (< 3 Gy) ist

dieser Effekt für die zahnmedizinische Versorgung vermutlich von untergeordneter Bedeutung [8]. Bei deutlich erhöhten Einzeldosen von zumindest 3 Gy ist eine Kontaktaufnahme mit dem vorbehandelnden Strahlentherapeuten sinnvoll. Er kann über das linearquadratische Modell eine Umrechnung auf eine biologisch äquivalente Dosis durchführen [2].

Gesamtdosen unter 40 Gy scheinen relativ unproblematisch zu sein. Über 50 Gy scheint das Risiko signifikant zu steigen [8 9].

Die in Arztbriefen angegebene **Gesamtdosis entspricht der Dosis, die im Zielvolumen appliziert wurde**. Auch wenn noch nicht eindeutig feststeht, welches Risikoorgan für die Entwicklung einer infizierten Osteoradionekrose den größten Anteil hat, ist doch davon auszugehen, dass die Dosis am Ort des geplanten zahnmedizinischen Eingriffs entscheidende Bedeutung hat. Daher spielt es eine wichtige Rolle, wie die Lagebeziehung

zwischen dem ehemaligen Zielvolumen und dem Ort des geplanten zahnmedizinischen Eingriffs ist. Den besten Überblick hierüber können Ausdrücke aus dem ehemaligen Bestrahlungsplänen bringen. Dort sind die **Isodosenlinien** ersichtlich. Mittels dieser Isodosenlinien kann prozentual oder absolut abgeschätzt werden, welche Gesamtdosis an bestimmten Punkten appliziert wurde [1,9 – 11] (Abb. 3).

Sollte im Einzelfall ein bestimmtes Areal von besonderem Interesse sein, kann der Strahlentherapeut über das Bestrahlungsplanungssystem auch im Nachgang detaillierte Dosisparameter bestimmen. Dies ist aufwendig und geschieht durch die Konturierung sogenannter ROI (region of interest) und anschließende Berechnung der Dosisparameter (z.B. mediane, minimale oder maximale Dosis im entsprechenden ROI).

Zeitliche Koordination von Strahlentherapie und zahnmedizinischen Eingriffen

Oft wird bzgl. des idealen Zeitpunktes eines zahnmedizinischen Eingriffs nach durchgeführter Strahlentherapie gefragt. Diese Frage ist nicht einfach zu beantworten, zumal verschiedene Faktoren eine Rolle spielen.

Unter laufender Strahlentherapie und bis zum Abheilen der strahlentherapeutischen Akutnebenwirkungen (z.B. enorale Mukositis) ist mit hohen Komplikationsraten zu rechnen. Alle invasiven zahnmedizinischen Maßnahmen sollten auf Notfälle beschränkt werden [8, 13].

Viele Spätnebenwirkungen werden nach Monaten oder Jahren klinisch relevant. Hierzu gehört z.B. die Schleimhautatrophie oder eine Gefäßrarefizierung im Knochen- und Weichteilgewebe. Damit einhergehend ist eine verzögerte und komplikationsträchtigere Wundheilung. Diese besteht lebenslang. Von einer s.g. Erholung nach vielen Jahren kann nicht ausgegangen werden. Im Gegenteil scheint es strahlenbiologisch eher so zu sein, dass das Risiko größer wird, je länger eine Strahlentherapie zurückliegt [2, 7]. Eine relevante positive Beeinflussung der Wundheilung mittels Therapeutika gibt es nicht.

Der günstigste Zeitpunkt für invasive zahnmedizinische Eingriffe scheint der Zeitraum zwischen dem Abheilen der radiogenen Akuttoxizitäten und der klinischen Manifestation relevanter Spättoxizitäten zu sein. Dies entspricht meist 3 Monaten bis ca. 18–24 Monaten nach Strahlentherapieende [2, 3].

Ein weiterer Aspekt, der insbesondere bei elektiven zahnmedizinischen Eingriffen (z.B. Implantatversorgung) relevant ist, ist die Prognose des Patienten. Bei Kopf-Hals-Tumoren treten Rezidive am häufigsten in den ersten 2 bis maximal 3 Jahren nach Therapie auf. Spätrezidive sind sehr selten. Für elektive Maßnahmen bedeutet das, dass es sinnvoll ist, diesen Zeitraum abzuwarten. Für solche elektiven Maßnahmen wäre demzufolge in Zusammenschau der o.g. Argumente ein Zeitraum zwischen 18 und 24 Monaten nach Bestrahlungsende überlegenswert [5, 12].

Relevanz der klinischen Untersuchung

Bei Patienten, bei denen die Strahlentherapie länger zurückliegt, kann die eingehende klinische Inspektion mit besonderem Augenmerk auf strahlentherapeutische Spättoxizitäten einen weiteren Hinweis auf die Ausdehnung des Zielvolumens bzw. die Dosisbelastung geben. Die Palpation des Halses mit der Frage nach Fibrosen kann einen Anhalt geben, ob uni- oder bilateral bestrahlt wurde; bei Männern ebenso die Inspektion oder Frage nach dem Bartwuchs (Alopecia barbaea) [4, 9]. In der Mundhöhle ist es z.B. möglich, dass die Ausprägung der Schleimhautatrophie Hinweise auf die hochbelasteten Areale geben kann [3].

Aufbewahrungspflichten und Dokumentation

Strahlentherapeutische Behandlungspläne müssen 30 Jahre archiviert werden. Daher sollte es auf absolute Ausnahmen begrenzt sein, dass keine Unterlagen angefordert werden können [14].

Einschätzung der Zielvolumina anhand häufiger Tumorentitäten

Sollten in einem Ausnahmefall tatsächlich keine Bestrahlungsunterlagen

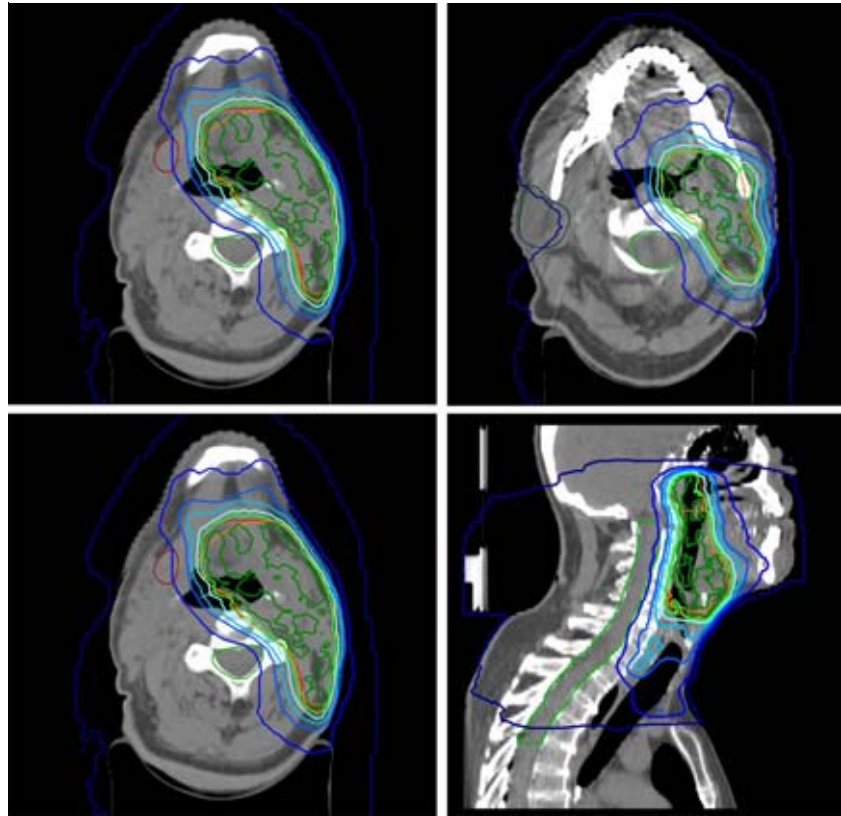


Abbildung 3 Isodosenlinien eines Bestrahlungsplans: Rot und orange wurden die Zielvolumina konturiert. Zudem sind verschiedene Risikoorgane (z.B. Glandula submandibularis, Spinalkanal und Glandula parotidea) eingezeichnet. Die 100 %-Isodosenlinie (hier kommen 100 % der verschriebenen Dosis an) ist dunkelgrün. Hellgrün ist die 95%-Isodosenlinie und hellblau die 90%-Isodosenlinie dargestellt. Bis hin zu dunkelblau werden in dieser Darstellung noch die 80%-, 70%-, 50%- und 10%-Isodosenlinien dargestellt.

(Abb. 1–3: Hautmann MG)

gegen verfügbar sein (z.B. bei einer Strahlentherapie im Ausland) sowie als erste Einschätzung kann folgende Auflistung eine Hilfestellung geben [4, 7, 11]:

- Tumoren der **Mundhöhle** oder bei relevanter Infiltration der Mundhöhle (z.B. durch ein Oropharynxkarzinom): In der Regel war die gesamte Mundhöhle im Zielvolumen eingeschlossen. Mit einer relevanten Dosis an den gesamten Zahnreihen ist zu rechnen.
- Tumoren des **Oropharynx** (ohne Mundhöhleninfiltration): In der Regel lagen die Frontzähne außerhalb des Zielvolumens. Bei der Aufsättigung (Boostbestrahlung) liegen oft auch die Prämolaren nicht im Zielvolumen. (An den Prämolaren ist dennoch mit einer Dosis von > 40 – 50 Gy zu rechnen. Die Frontzähne weisen oftmals eine Dosisbelastung von < 40 Gy auf.)

- Tumoren des **Larynx oder Hypopharynx**: Die Frontzähne lagen außerhalb des Zielvolumens. Auch die Prämolaren sollten oftmals außerhalb des Zielvolumens gelegen haben. Dies betrifft insbesondere die Prämolaren des Oberkiefers. Das bedeutet, dass die Prämolaren vielfach eine kumulative Dosis unter 40 Gy erhalten haben.
- Tumoren des **Nasopharynx** (ohne Infiltration des Oropharynx): Die Frontzähne lagen in aller Regel außerhalb des Zielvolumens. Oftmals wurden die Prämolaren des Unterkiefers ebenfalls nicht ins Zielvolumen eingeschlossen. Hier ist ein besonderes Augenmerk auf den Oberkiefer zu richten. Auch, wenn die infizierte Osteoradionekrose deutlich häufiger am Unterkiefer auftritt, zeigt die Literatur, dass speziell bei den Nasopharynxkarzinomen ein signifikant erhöhtes Risiko am Oberkiefer besteht.

- **Speicheldrüsentumoren:** Speicheldrüsenkarzinome werden häufig unilateral bestrahlt. Dies liegt daran, dass eine kontralaterale Lymphknotenmetastasierung selten auftritt.
- **Unbekannte Primärtumoren (cancer unknown primary [zervikales CUP-Syndrom]):** Hier gibt es unterschiedliche Behandlungsstrategien. In manchen Institutionen wird nur unilateral bestrahlt, um das lokale Rezidivrisiko zu senken. Andere Institutionen wählen bzw. wählten die s.g. „große Lösung“. Das beinhaltet die Bestrahlung des gesamten Mund- und Rachenraumes mit dann relevanter Dosis im Bereich der gesamten Mundhöhle. Ein spezieller Fall sind die p16-positiven CUP-Syndrome, also die CUP, die virusassoziiert sind. Hier wird in aller Regel der Oropharynx (Tonsillenloggen und Zungengrund) mitbestrahlt.

Statement

Auch wenn die S3-Leitlinie festhält, dass nach Vorliegen der strahlentherapeutischen Behandlungsunterlagen „die Zuordnung in ein individuelles Risikoprofil“ gelingt, stellt sich die Situation in der Realität komplexer dar. Die korrekte Interpretation strahlentherapeutischer Informationen benötigt – zumindest ein gewisses – Hintergrundwissen. Daher beschränkt sich dieser Artikel bewusst auf die Interpretation strahlentherapeutischer Informationen. Empfehlungen zum Vorgehen bei festgestelltem Risikoprofil können den entsprechenden Leitlinien entnommen werden. Viele strahlentherapeutische Parameter können nur in ihrer Gesamtheit korrekt interpretiert werden. Im Zweifel oder bei Unsicherheit hinsichtlich der Interpretation strahlentherapeutischer Informationen empfiehlt sich die direkte Kontaktaufnahme mit dem Strahlentherapeuten im Sinne einer persönlichen Rücksprache. Ge-

meinsam können hierdurch gute Konzepte für die Patienten erarbeitet werden.

Interessenkonflikte

Der Autor erklärt, dass kein Interessenkonflikt im Sinne der Richtlinien des International Committee of Medical Journal Editors besteht.

Literatur

1. Aarup-Kristensen S, Hansen CR, Forner L, Brink C, Eriksen JG, Johansen J: Osteoradionecrosis of the mandible after radiotherapy for head and neck cancer: risk factors and dose-volume correlations. *Acta Oncol* 2019; 58: 1373–1377
2. Adam G, Läger P, Stark G: Strahlenbiophysik und Strahlenbiologie. In: Adam G, Läger P, Stark G (Hrsg): *Physikalische Chemie und Biophysik*. Springer, Dordrecht, Heidelberg, London, New York 2009, 535–600
3. Chronopoulos A, Zarra T, Ehrenfeld M, Otto S: Osteoradionecrosis of the jaws: definition, epidemiology, staging and clinical and radiological findings. A concise review. *Int Dent J* 2018; 68: 22–30
4. Ettl T, Weindler J, Gosau M et al.: Impact of radiotherapy on implant-based prosthetic rehabilitation in patients with head and neck cancer: a prospective observational study on implant survival and quality of life-Preliminary results. *J Cranio-maxillofac Surg* 2016; 44: 1453–1462
5. Fietkau R, Hecht M, Hofner B et al.: Randomized phase-III-trial of concurrent chemoradiation for locally advanced head and neck cancer comparing dose reduced radiotherapy with paclitaxel/cisplatin to standard radiotherapy with fluorouracil/cisplatin: the PacCis-trial. *Radiotherapy and oncology: journal of the European Society for Therapeutic Radiology and Oncology* 2020; 144: 209–217
6. Flentje M, Würschmidt F, Riecken S, Frenzel T: Leitlinie zur Strahlentherapie mit fluenzmodulierten Feldern (IMRT) 2018
7. Halperin EC, Perez CA, Brady LW: Perez and Brady's principles and practice of

radiation oncology. Wolters Kluwer, Philadelphia 2019

8. Krüger M, Hautmann M, Bartella A, Al-Nawas B, Grötz KA: S2k-Leitlinie: Infizierte Osteoradionekrose (IORN) der Kiefer. AWMF Online 2018

9. Kubota H, Miyawaki D, Mukumoto N et al.: Risk factors for osteoradionecrosis of the jaw in patients with head and neck squamous cell carcinoma. *Radiat Oncol* 2021; 16: 1

10. Landberg T, Chavaudra J, Dobbs J et al.: ICRU Report 62.: Prescribing, recording and reporting photon beam therapy (Supplement to ICRU Report 50). *Journal of the ICRU* 1999: iii-52

11. Lee IJ, Koom WS, Lee CG et al.: Risk factors and dose-effect relationship for mandibular osteoradionecrosis in oral and oropharyngeal cancer patients. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2009; 75: 1084–1091

12. Pfister D, Spencer S: NCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology. Head and neck cancers. NCCN 2021

13. Schiegnitz E, Al-Nawas B, Grötz KA: S3-Leitlinie: Implantatversorgung zur oralen Rehabilitation im Zusammenhang mit Kopf-Hals-Bestrahlung. AWMF Online 2015

14. Verordnung zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung. Strahlenschutzverordnung 2018

15. Wannemacher M, Wenz F, Debus J: Strahlentherapie. Springer, Berlin 2013



Foto: UKR

PD DR.
MATTHIAS G. HAUTMANN
 Klinik und Poliklinik
 für Strahlentherapie
 Universitätsklinikum Regensburg
 Franz-Josef-Strauß-Allee 11
 93042 Regensburg
 matthias.hautmann@
 klinik.uni-regensburg.de