

E DIN 6809-9:2020-11 (D)

Erscheinungsdatum: 2020-10-16

Klinische Dosimetrie - Teil 9: Strahlungsqualität von Photonenstrahlung im Patienten oder Phantom

Inhalt	Seite
Vorwort	6
Einleitung	7
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe	8
4 Spektren	10
4.1 Allgemeines	10
4.2 Photonspektren innerhalb der geometrischen Feldgrenzen	10
4.3 Spektren außerhalb der geometrischen Feldgrenzen	12
5 Einfache Kenngrößen des Spektrums	14
5.1 Allgemeines	14
5.2 Streuanteil der Dosis	14
5.3 Dosisanteil der niederenergetischen Komponente	15
5.3.1 Relativer Dosisanteil der niederenergetischen Komponente	15
5.3.2 Dosisprofile der niederenergetischen Komponente	17
5.4 Mittlere Energie der spektralen Photonenfluenz Φ_E	18
Anhang A (informativ) Spektrales Ansprechvermögen von Detektoren	21
A.1 Einleitung	21
A.2 Ansprechvermögen gebräuchlicher Sonden	21
Anhang B (informativ) Ansprechvermögen von Detektoren unter Nichtreferenz-Bedingungen	25
B.1 Grundlagen	25
B.2 Monte Carlo-basierte Verfahren	25
B.3 Werte von $k_{NR,Q}$ für Thermolumineszenzdetektoren	26
B.4 Werte von $k_{NR,Q}$ für Silizium-Dioden	27
Anhang C (informativ) Dosis-Umrechnungsfaktoren	28
C.1 Allgemeines	28
C.2 Verschiedene Körpergewebe	28
C.3 Knochenhaut, rotes Knochenmark	29
C.4 Dosis-Umrechnungsfaktoren in Absorbern	30
Anhang D (informativ) Relative biologische Wirksamkeit und Kenngrößen der Teilchenbahnstruktur	32
D.1 Allgemeines	32
D.2 Definition der relativen biologischen Wirksamkeit	32
D.3 Relative biologische Wirksamkeit für molekulare und zelluläre Strahlenwirkungen	34
D.3.1 DNA-Schäden	34
D.3.2 Chromosomen-Aberrationen	34
D.3.3 Neoplastische Zelltransformation	35
D.3.4 Zellinaktivierung	36
D.3.5 Strahleninduzierte Karzinogenese	36
D.4 Teilchenbahnstruktur, Lineares Energieübertragungsvermögen, Lineale Energie	37
D.5 Mikrodosimetrische Kennzeichnung der Strahlungsqualität (Anwendungen)	38
D.6 Zusammenfassende Bewertung	39
Anhang E (informativ) Berücksichtigung der Strahlungsqualität bei der Bestrahlungsplanung	41
E.1 Allgemeines	41
E.2 Grenzflächen zwischen Weichteilgeweben und orthopädischen Implantaten	41
E.2.1 Senkrechter Einfall des Strahls	41
E.2.2 Einfall des Photonenstrahls unter verschiedenen Winkeln „Schrägeinfall“	44
E.3 Grenzflächen zwischen Weichteilgeweben und Dentalimplantaten	45
E.4 Bestrahlungen im Bereich des Mediastinums und der Lungen	45
E.4.1 Grundlagen	45
E.4.2 Kleines Feld	50

E.4.3	Großes Feld	50
E.5	Berechnung von Dosisverteilungen im Patienten	51
E.5.1	Berücksichtigung von Prothesen in der Bestrahlungsplanung	51
E.5.2	Auswirkung von Inhomogenitäten in der Lunge oder Hals-Nasen-Ohrenbereich in der Bestrahlungsplanung	51
E.5.3	Vermeidbare periphere Dosis bei Bestrahlungen im Mediastinum/Brustbereich	51
E.6	Generelle Empfehlung	52
	Literaturhinweise	54

Bilder

Bild 1	— Normierte Energiefluenz Ψ_E von Photonenspektren in der Teletherapie in Abhängigkeit von der Feldgröße und Tiefe	11
Bild 2	— Normierte spektrale Energiefluenz, Ψ_E , von Photonenspektren in der Teletherapie an Punkten außerhalb der Feldmitte	12
Bild 3	— Normierte Energiefluenz, Ψ_E , von Photonenspektren in der Teletherapie an Aufpunkten außerhalb des geometrischen Bestrahlungsfeldes im Vergleich zu Aufpunkten auf der Strahlachse	13
Bild 4	— Feldgrößen- und Tiefen-Abhängigkeit von $P_D^{200\text{ keV}}$ für 6 MV ((a) und (b)) und 15 MV ((c) und (d)) für axiale Aufpunkte in den Tiefen 2 cm bis 20 cm in Wasser	16
Bild 5	— 2D-Profile der Größe $P_D^{200\text{ keV}}$ in Wasser für Teletherapiefelder mit 6 MV und 15 MV bei den Feldgrößen 5 cm × 5 cm und 30 cm × 30 cm	17
Bild 6	— Laterales Dosisprofil der Photonen mit Energien unterhalb der Abschneide-Energie $E_{\text{cut}} = 200\text{ keV}$ für Primärstrahlung von 6 MV (a) und 15 MV (b)	18
Bild 7	— Variation der mittleren Photonenenergie \bar{E}_F (a) mit der Tiefe entlang der Strahlachse, (b), (c), (d) mit dem seitlichen Achsenabstand in den Tiefen 5 cm, 10 cm und 20 cm in einem Wasserphantom für 6 MV-Photonen bei verschiedenen Feldgrößen	19
Bild 8	— Variation der mittleren Photonenenergie \bar{E}_F (a) mit der Tiefe entlang der Strahlachse, (b), (c), (d) mit dem seitlichen Achsenabstand in den Tiefen 5 cm, 10 cm und 20 cm in einem Wasserphantom für 15 MV-Photonen bei verschiedenen Feldgrößen	20
Bild A.1	— Energieabhängigkeit des Ansprechvermögens von Si-Dioden bezüglich monoenergetischer Photonenstrahlung	22
Bild A.2	— Relatives Ansprechvermögen in Abhängigkeit von der mittleren Photonenenergie von Alanin	23
Bild A.3	— Verhältnis der Massen-Energieabsorptionskoeffizienten von Silber-Bromid Film zu Wasser (NIST-Daten)	23
Bild A.4	— Gemessenes relatives Ansprechvermögen in Abhängigkeit von der mittleren Photonenenergie von in der Strahlentherapie verwendeten Thermolumineszenz-Dosimetern [84]	24
Bild B.1	— Abhängigkeit von $k_{\text{NR,Q}}$ für LiF:Mg,Ti chips von der mittleren Photonenenergie E_m mit $k_{\text{NR,Q}} = 1$ für 6 MV unter Referenzbedingungen (Feldgröße 10 cm × 10 cm, Messtiefe 10 cm) Werte von $k_{\text{NR,Q}}$ für Ionisationskammern	26
Bild C.1	— Quotienten der Massen-Energieabsorptionskoeffizienten verschiedener Gewebe zu denen von Wasser in Abhängigkeit von der Photonenenergie	29
Bild C.2	— Umrechnungsfaktoren von der Dosis in rotem Knochenmark bzw. in der Knochenhaut zu der in Wasser in Abhängigkeit von der Photonenenergie unter Berücksichtigung des fehlenden Sekundärelektronengleichgewichts	30
Bild D.1	— Kumulative alterskorrigierte Inzidenz von Lebertumoren bei BC3F1-Mäusen, die im Alter von 3 Monaten mit Spaltneutronen oder 250 kV _p -Röntgenstrahlung exponiert wurden, als Funktion der applizierten Energiedosis [79]. Für die Wirkungsniveaus 12,5 %, 20 %, 30 % und 40 % ist die RBW angegeben	33
Bild D.2	— Photonen-Energieabhängigkeit der durch Doppelmarkierung mit g-H2AX und 53BP1 sichtbar gemachten DNA-Schäden nach 24 h Reparaturzeit in menschlichen 184A1-Brustdrüsen-Epithelzellen [47]	34

Bild D.3 — Experimentelle Werte des Koeffizienten Alpha (Gy^{-1}) für die zelluläre Ausbeute an dizentrischen Chromosomen nach Photonenbestrahlung menschlicher Lymphozyten in vitro (Symbole) und biophysikalische Erklärung durch die Ausbeute an korrelierten Elektronen-bahnenenden-Gruppen, die zur Deletion von Chromatinschleifen in der Lage sind [85]	35
Bild D.4 — Relative biologische Wirksamkeit am Beispiel der neoplastischen Zelltransformation überlebender C3H10T1/2-Mäuseembryo-Fibroblasten nach Bestrahlung in der exponentiellen Wachstums-Phase mit charakteristischer Röntgenstrahlung des Kohlenstoffs (C_K -Strahlung, 278 eV) und mit Co-60-Gammastrahlung als Referenzstrahlung [56]. Die RBW-Angaben beziehen sich auf verschiedene Wirkungsniveaus [79]	36
Bild D.5 — Prinzip der <i>Bahnstruktur</i> eines ionisierenden Teilchens als geometrische Anordnung von Ionisations- und Anregungsprozessen entlang der Flugbahn des Teilchens. Direkte Wechselwirkungen des ionisierenden Teilchens bilden den <i>Bahnkern</i> und Wechselwirkungen der ionisierenden Sekundärteilchen den <i>Halbschatten</i> . Dabei gilt $\Delta x =$ Längenelement der Bahnstruktur, auf das sich die Angabe ΔE der durch diese Wechselwirkungen in Atomen und Molekülen deponierten Energie bezieht [46]	37
Bild D.6 — Prinzip der „Linealen Energie“ $y = \varepsilon/\bar{l}$ zur Kennzeichnung der Bahnstruktur eines ionisierenden Teilchens. Dabei ist ε die gesamte Energiedeposition innerhalb einer gewebegefüllten Kugel mit dem Durchmesser d und der mittleren Sehnenlänge $REF_Ref511130852\backslash r\backslash h$ [46]	38
Bild E.1 — Einfluss einer 3 cm dicken Titanschicht von auf die Tiefendosis Kurve (Wasser-Energiedosis) in Abhängigkeit von der Photonenenergie für typische hochenergetische Photonenstrahlungen mit nominellen Beschleunigungsspannungen von 6 MV und 24 MV (5 cm \times 5 cm Feldgröße, SSD 100 cm, Monte-Carlo-Simulation mit EGSnrc)	42
Bild E.2 — Winkelabhängiger Rückstreuungs-Dosisfaktor $p_{b,\alpha}$ für unterschiedliche Energien und Einfallswinkel [2]	45
Bild E.3 — Prinzipielle Geometrie für die folgenden Betrachtungen	46
Bild E.4 — Transversale und longitudinale Dosisprofile bei der in Bild E.3 dargestellten geometrischen Situation für Photonenstrahlung von 6 MV, 10 MV, 15 MV und 24 MV und bei der Feldgröße 3 cm \times 3 cm	48
Bild E.5 — Transversale und longitudinale Dosisprofile bei der in Bild E.3 dargestellten geometrischen Situation für Photonenstrahlung von 6 MV, 10 MV, 15 MV und 24 MV und bei der Feldgröße 10 cm \times 10 cm	50
Bild E.6 — Relative periphere Dosiserhöhung für unterschiedliche Photonenenergien im Vergleich zu 6 MV bei der Feldgröße 3 cm \times 3 cm	52
Bild E.7 — Relative periphere Dosiserhöhung für unterschiedliche Photonenenergien im Vergleich zu 6 MV bei der Feldgröße 10 cm \times 10 cm	52

Tabellen

Tabelle C.1 — Umrechnungsfaktoren zwischen der Dosis in verschiedenen Körpergeweben und Wasser für zwei Photonspektren in 10 cm Tiefe auf der Zentralachse. Die Feldgröße ist 10 cm \times 10 cm, die Beschleunigungsspannung 6 MV bzw. 15 MV.	30
Tabelle E.1 — Rückstreuungs-Dosisstörungsfaktoren p_b für Abstand x zur Grenzfläche einer Titanschicht von 3 cm Dicke in Wasser	42
Tabelle E.2 — Rückstreuungs-Dosisstörungsfaktoren p_b für Abstand x zur Grenzfläche einer Titanschicht von 5 cm Dicke in Wasser. Kreisförmiges Feld 5 cm Durchmesser, senkrechter Einfall auf die Oberfläche des Phantoms. (Monte Carlo Simulation mit EGSnrc, [5], [4])	43
Tabelle E.3 — Vorwärtsstreuungs-Dosisfaktoren p_f für unterschiedliche distale Abstände von einer Titanschicht von 3 cm Dicke	43
Tabelle E.4 — Vorwärtsstreuungs-Dosisfaktoren p_f für unterschiedliche distale Abstände von einer Titanschicht von 5 cm Dicke, kreisförmiges Feld mit 5 cm Durchmesser, senkrechter Einfall auf die Oberfläche des Phantoms. (Monte Carlo Simulation mit EGSnrc)	44