

テーマ1「放射線関連施設における活動の現状と将来展望」

②

放射線治療技術の歴史・進歩と 診療放射線技師の役割

(公社) 大阪府診療放射線技師会

副会長 佐原 朋広

世間の人々の我々診療放射線技師に対するイメージは、X線胸部撮影ならびにCT撮影など、画像検査に関わるスタッフではないかと思われる。一方、診療放射線技師は、がん治療における3本柱の1つである「放射線治療」にも大きく関わり、照射の精度管理から放射線の品質管理まで、幅広く担っている。

今回、放射線治療技術の歴史・進歩を踏まえ、診療放射線技師が放射線治療の中でどのように関わり貢献しているのかについて講演する。

放射線治療技術の歴史・進歩と診療放射線技師の役割

大阪府診療放射線技師会 副会長 佐原 朋広

1. はじめに

大阪府診療放射線技師会は、診療放射線技師の職能団体であり、2023年に創立75周年ならびに法人設立45周年を迎えた。当法人は、診療放射線学及び診療放射線技術の向上を図ると共に、診療放射線技師の職業倫理の高揚を図り府民の保健福祉に寄与することを目的として活動している[1]。

診療放射線技師の一般的なイメージは、病院・診療所においてエックス線CT検査を代表する放射線検査を担当するスタッフではないだろうか。診療放射線技師の仕事は、放射線を取り扱う種類によって、エックス線検査、アイソトープによる核医学検査及び高エネルギー放射線による放射線治療と大きく分けられる。また、診療放射線技師は、医療用放射線の適正使用における安全管理にも深く関わっている。

さて、近年、医療技術の進歩は、目覚ましいものがある。そのため日本人の平均寿命は年々、伸びてゆき、2030年には超高齢化社会を迎える[2]。日本人の病気による死因は「がん」が1位であり、これは超高齢化社会においても変わらないといわれている[3]。

一方、がん治療において治療法の3本柱として「手術療法」、「化学療法」ならびに「放射線治療」がある。放射線治療は、高エネルギー放射線のがん組織のみへ限局的に照射し、これらを死滅させる、いわば“切らずに治す”治療法である。このように“細胞死を引き起こす”放射線を人体へ照射する必要があることから、放射線治療の現場では、放射線の安全管理が義務付けられており、それらを担っているのが診療放射線技師である。現在、放射線治療は、非侵襲的であり特に体力の減少が危惧される高齢者にとって非常に有効である。放射線治療において近年、手術療法と治療成績が匹敵するレベルの技術革新があった[4]。

以上、踏まえて、放射線治療技術の歴史とその技術革新について振り返り、放射線治療分野における診療放射線技師の役割について解説する。

2. 診療放射線技師[5]とは

診療放射線技師は、医師・歯科医師の指示を受けて、放射線を人体に対して照射する業務を担っている。1951年、医療の質を保証することをねらいとして、診療エックス線技師法が定められ、診療エックス線技師の国家資格が始まった。その後、医師の補助者として診療用放射線全般を取扱う医療技術者が強く望まれるようになり、1968年には診療エックス線技師法が一部改正されて新たに診療放射線技師法が制定され、「診療放射線技師」の資格が創設された。

診療放射線技師法による診療放射線技師が取り扱うことができる放射線の種類を表-1に示す。医療中で最も利用されている放射線は、エックス線であるが、これらのエネルギーには大きな幅を持つ。診療放射線技師法は、CT検査に代表される120kVまでのエックス線から放射線治療用の数十MVのエネルギーまで、医師・歯科医師の指示を受けて、これらを人体へ照射することができる。数十MVのエックス線は、通常のエックス線管から発生することができない為、加速器により電子を加速し発生する。

診療放射線技師法：放射線の定義

第2条 この法律で「放射線」とは、次に掲げる電磁波又は粒子線をいう。

- 一 アルファ線及びベータ線
- 二 ガンマ線
- 三 100万電子ボルト以上のエネルギーを有する電子線
- 四 エックス線
- 五 その他政令で定める電磁波又は粒子線

表-1：診療放射線技師が取り扱う放射線の種類

3. 医療用加速器の歴史[6]

次に医療用加速器の歴史を振り返る。エックス線管に代わってエネルギーが高く、強度の大きな放射線源を電気機械に求めて、1930年代には超高電圧発生装置によるエックス線治療の優位性が強調された。その端緒になったのは1MVを発生するバンデグラフ加速器である。しかしながら、装置の難点は、エックス線のエネルギーの割には加速器が大きく設置に広い面積が必要であったこと、操作が困難であったことである。1940年、よりエネルギーの高いエックス線が発生できるベータトロンが開発された。エックス線エネルギーは飛躍的に増加して(20~25MV)、全世界で200台以上のベータトロンが医療に利用された(図-1)。

この加速器にもやはり限界があり、照射野が比較的狭くエックス線強度が比較的低いなどの欠点のため、1952年、医療分野に新しく登場した電子直線加速装置(リニアック)が取って替わった(図-2)。リニアックは、電子をマイクロ波で同調させて加速し、ターゲットの金属に衝突することで高エネルギーエックス線を発生させる。リニアックはエネルギー、照射野、線量率、操作性およびガントリ構造によるアイソセンタ治療に優れていた為、治療用加速器の分野で優位な地位を築くに到った。その優位性は、現在も変わらず装置の進化が続いている。現在、最も新しいリニアックは、高エネルギー放射線を高精度に照射できるようエックス線CTシステムを搭載されている(図-3)。

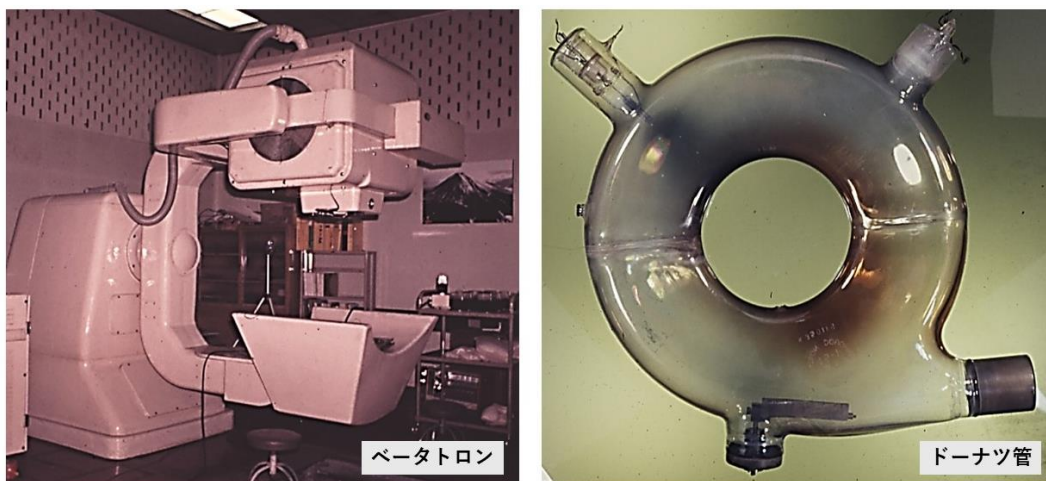


図-1: ベータトロンとドーナツ管*



図-2：1970年代頃のリニアック装置*

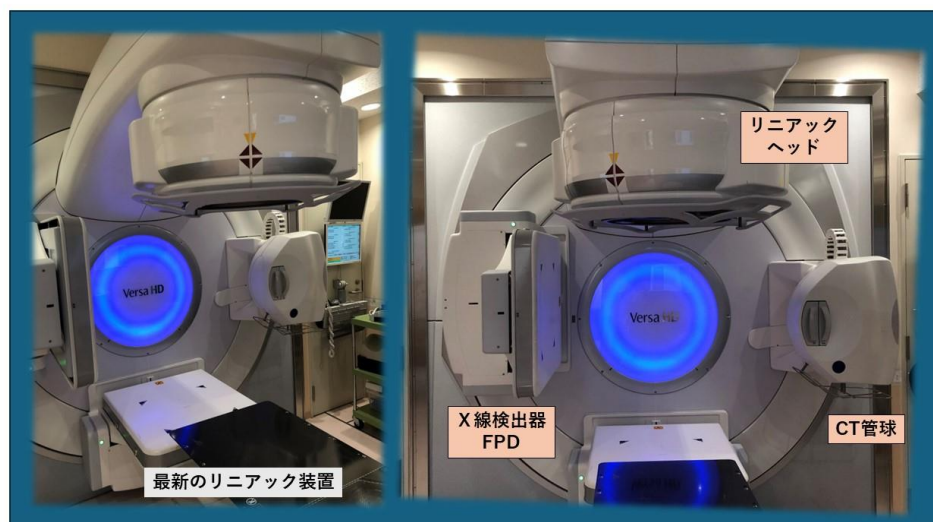


図-3：最新のリニアック装置*

*大阪公立大学医学部附属病院ご提供

4. 放射線治療の技術革新

(強度変調放射線治療)

強度変調放射線治療 intensity modulated radiation therapy (IMRT)は、リスク臓器に近接した複雑な形状をもつ複数のターゲットに対しても自在に線量を調整投与することができ、放射線治療の可能性を大きく広げる革新的治療法である。前立腺がん・頭頸部がん・中枢神経がんにおいては有望な臨床成績が報告されており、その他の多くのがん種で治療成績向上や合併症の軽減が期待されている[7]。

一方、IMRTは従来の外照射法にない複雑な照射・治療計画技術を用いており、治療計画や装置の品質保証/品質管理が適切になされないと治療成績の低下・有害事象の増加をもたらす危険性も孕んでいる。日本の多くの施設では、これらの品質保証/品質管理業務を診療放射線技師が担っている。

(画像誘導放射線治療 : Image Guided Radiation Therapy)

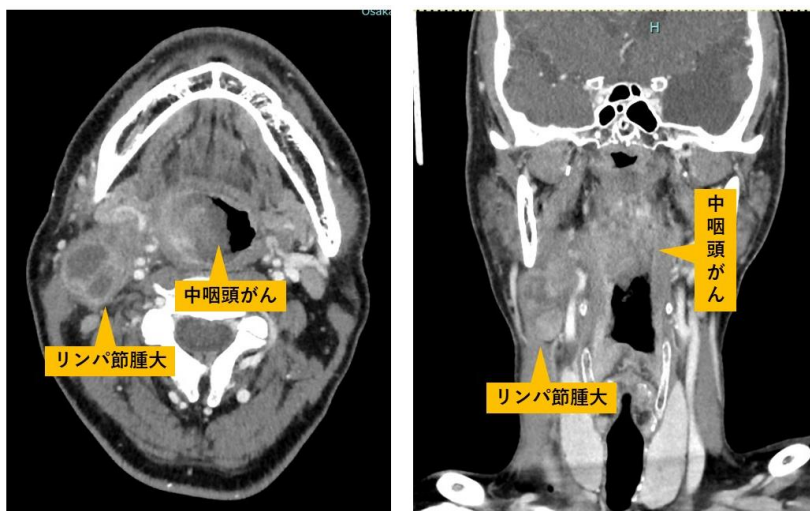
画像誘導放射線治療 (IGRT) は、画像情報を用いて位置合わせを行う技術である[8]。治療寝台に患者様が寝ている状態で撮影した X 線画像や CT 画像から骨・腫瘍・正常臓器の位置情報を把握し、治療寝台を適切な位置に補正 (誘導) する。この技術を毎回の放射線照射前に実施することで、高い位置精度で放射線治療を実現できる。これにより、がん組織のみへ線量を集中させることができ、正常組織への放射線量を低減することが可能である (図-4)。



図-4 : 画像誘導放射線治療

(強度変調放射線治療の症例 : 中咽頭がん)

中咽頭がんにおける強度変調放射線治療の症例を示す。中咽頭の口蓋扁桃内に腫瘍 (進行がん) があり、口腔内を圧迫している。これにより食物の通過障害が起こっている。また、所属リンパ節へのがん転移があり、リンパ節の腫大が診られる。これに対して画像誘導による強度変調放射線治療を実施した。治療回数と治療期間は、35 回および 7 週間であった。放射線治療後、約半年で腫瘍は大幅に縮小し、口腔内の通過障害が改善した。また、所属リンパ節への転移病巣も併せて縮小している。このように放射線治療は、手術療法と異なり組織機能を温存しながら、がん組織を取り除くことができる。



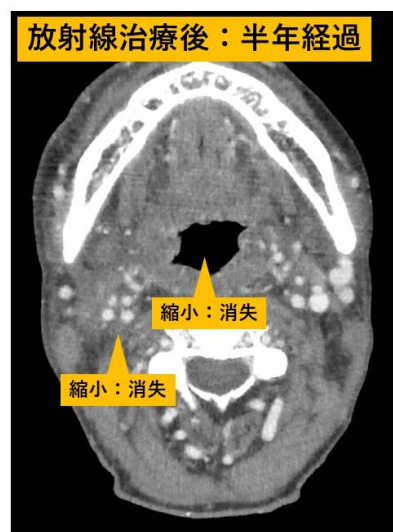
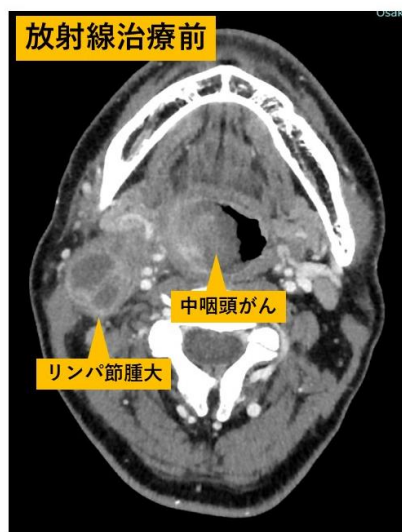
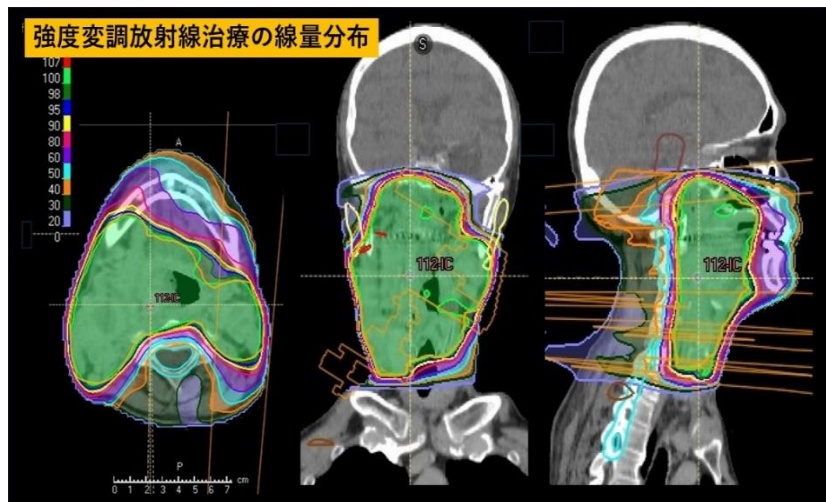


図-5：中咽頭がんにおける強度変調放射線治療の症例

5. 放射線治療部門における診療放射線技師の役割

(放射線治療部門の診療：放射線治療のフロー)

患者様が受ける放射線治療のフローを図-6に示す。診療放射線技師は、放射線治療計画から放射線の照射業務まで、放射線治療の中核を担っている。また、診療放射線技師は、この

ような患者様と直接、関わる臨床業務とは別に放射線治療の品質管理も担っている。

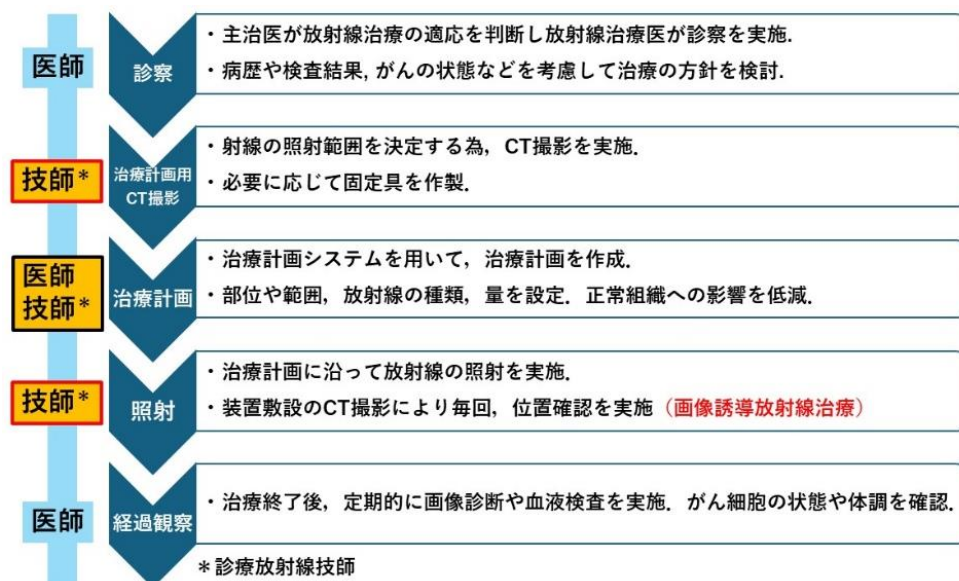


図-6: 患者の放射線治療フロー

（放射線治療の品質管理）

日本において、1998年～2004年にかけて放射線治療関連の医療事故が多発したことから、放射線治療の潜在的危険性と放射線治療の安全管理体制を確立する必要性が高まった。そして、2000年代の初頭から、各施設では医療安全の観点から放射線治療の品質保証と品質管理の取り組みが始まった[9]。

放射線治療における品質保証・品質管理とは、決められている部位に、決められた放射線の線量を確実に照射（投与）し、予定されている治療効果を実現することが「品質保証」で、また、その状態を継続的に実行することが「品質管理」となる。

（放射線治療における品質管理の実際）

診療放射線技師の関わる放射線治療の品質保証・品質管理は、物理的ならびに技術的品質保証・品質管理がある。放射線治療施設では、日本放射線腫瘍学会ならびに米国医学物理学会の品質管理ガイドラインを参考に、それぞれ品質管理プログラムを策定し、これに沿って放射線治療システムの品質管理を実施している。品質管理項目についてガイドラインから抜粋したものを表-2に示す。実際の品質管理項目は、日常点検から1年の点検項目まで多岐にわたっており、細かく規定されている。次に品質管理項目の中で最も重要な放射線治療装置における指示値の線量校正について述べる。

表-2：日本放射線腫瘍学会・米国医学物理学会の品質管理項目

頻度	JASTRO		AAPM	
	項目	許容誤差	項目	許容誤差 ^c
毎日	線量管理 線量モニタシステム校正 ^a	±3% (X) ±4% (e)	線量測定 X線出力の不変性 電子線出力の不変性 機械的チェック レーザー、光学的深度計	3% 3% 2 mm
毎週	線量管理 線量モニタシステム校正	±2% (X) ±3% (e)		
毎月	線量管理 電子線深部線量又は校正深との線量比 対称性、平坦度 (簡単な点検) 幾何学的誤差の管理 X線照射野数値表示と光表示 電子線照射野数値表示と光表示 ビーム軸の指示 (入射点) (射出点) アイソセンタからの指示点の変位 (十字ワイア、フロント、バック、サイドポイント等) 線源アイソセンタ距離 治療台の垂直上下 ^b 治療台アイソセントリック回転 ^b	±3%又は2 mm 1.03 (X) 1.05 (e) ±2 mm ±2 mm ±2 mm ±3 mm ±2 mm ±2 mm ±2 mm 2 mm	線量測定 X線出力の不変性(フィールド線量計で大気補正) 電子線出力の不変性(フィールド線量計で大気補正) バックアップモニタの不変性 X線PDD、TARの不変性 電子線PDDの不変性 X線ビーム平坦度の不変性 電子線平坦度の不変性 X線、電子線ビーム対称性 機械的チェック 放射線照射野と光表示一致 コリメータの対称性 架台、コリメータ角度表示 ウェッジ、トレイ、アプリケーション位置 十字ワイアの中心 治療台位置表示	2% 2% 2% 2% 2% 2% 3% 3% 2 mm 2 mm 1° 2 mm 2 mm φ 2 mm or 1°
6ヶ月～ 毎年	線量管理 線量モニタシステム再現性 線量モニタシステム直線性 〃 〃 一日の安定性 一日の安定性 X線深部線量又は校正深との線量比 平坦度 (精密な点検) 幾何学的誤差の管理 アイソセンタからのビーム軸の変位	±0.5% (X, e) ±2% (X) ±3% (e) ±2% (X) ±3% (e) ±2%又は2 mm 1.06 (x) 15 mm (e) ±2 mm		
毎年	線量管理 線量モニタシステム架台角度依存性 〃 運動照射中の安定性 〃 運動照射の終了位置 架台角度による深部線量安定性 深部線量曲線 照射野係数 幾何学的誤差の管理 照射野限定システムの平行・直角性 架台回転 目盛りのゼロ位置 放射線ヘッドの横揺れ、縦揺れ 照射野設定システムの 治療台のアイソセントリック 治療台の天板の 治療台の天板の横揺れ、縦揺れ 治療台の天板の縦方向の剛性	±3% (X, e) ±2% (X, e) ±5%、3° ±2 mm (X, e) ±2% (X, e) ±2% (X) ±0.5° ±0.1° ±0.1° 〃 〃 ±0.5° ±0.5° ±0.5° ±0.5° 5 mm	線量測定 X線電子線出力校正の不変性 架台角度に対するX線、電子線出力の不変性 モニタ電離箱の直線性 架台角度に対するOCRの不変性 回転モード 中心軸上のPDD、TARの不変性 OCRの不変性 X線照射野出力係数の不変性 電子線アプリケーション照射野出力係数の不変性 ウェッジ、アクセサリーの透過係数不変性 機械的チェック 架台回転のアイソセンタ コリメータ回転のアイソセンタ 治療台回転アイソセンタ アイソセンタとコリメータ軸、 架台軸、治療台軸の一致 放射線と機械的アイソセンタの一致 治療台の天板の剛性 治療台の天板の上下動	2% 2% 1% 2% メーカー仕様 2% 2% 2% 2% 2% 2% φ 2 mm φ 2 mm φ 2 mm φ 2 mm φ 2 mm 2 mm 2 mm

a : X線及び電子線の各1種類の公称エネルギーにつき始業前点検を推奨
b : 治療患者位置決めに利用する場合
c : 公称値に対する±の変位

(放射線治療装置おける指示値の線量校正)

放射線治療装置の線量校正は、リファレンス線量計を用いて測定した点の吸収線量 (Gy) と治療装置のモニタ指示値 (MU 値) の比較校正を意味する。これは、国家標準の線量“吸収線量：1Gy”が、線量校正された電離箱と電位計を用いて1Gyになるように、治療装置の内部に備えつけられたMU値を調整することである。つまり、治療装置のモニタ線量計から出力される増幅器の感度を調整してDMU≒1cGy/muとなるように校正し、MUに絶対値を持たせてDMUにすることである。しかしながら、放射線治療において実際の人体の吸収線量を測定することは非常に困難である。そこで、人体組織の素性が水に近いと考えられるため、大型の水槽に水をはり、これを水ファントム (模擬人体) とする。実際の校正では、電離箱線量計を水槽内の決められた深さへ配置し計測する[10]。

6. まとめ

医療用加速器による放射線治療の歴史は古く、1930年代に超高電圧発生装置によるエックス線治療が開始された。放射線治療装置は、エックス線のエネルギーの高エネルギー化ならびに照射技術の発展とともに、バンデグラーフ加速器、ベータトロンへと進化した。1952年、マイクロ波を利用し電子を加速する電子直線加速装置（リニアック）が登場し、現在の放射線治療において、その優位性を確立している。また、照射技術の高精度化が進み、強度変調放射線治療ならびに画像誘導放射線治療が、現在、主流の照射技術となっている。治療成績も手術と匹敵するほど優れており、超高齢者社会を迎える我が国において高齢者のがん治療に対する非常に有効な治療法であると思われる。一方、診療放射線技師は、放射線治療の黎明期から業務に深く関わっている。また、照射技術の高精度化が進む中、2000年代から放射線治療の安全管理に対する要求が高まり、多くの施設では治療装置の品質管理を診療放射線技師が担っている。

最後に、私は、今後も診療放射線技師として臨床現場において放射線治療の一翼を担うと共に、大阪府診療放射線技師会の活動を通じて、診療放射線技師職の発展と大阪府民の健康増進へ尽力したい。

参考文献・資料

- [1] 奥中雄策. 大阪府診療放射線技師会のご紹介. onsa news 2024 No. 34-1: 9-13.
- [2] 内閣府. 令和5年版高齢社会白書（全体版）.
- [3] 対がん協会会報 第742号（2024年）. 公益財団法人 日本対がん協会.
- [4] 前林俊也. 放射線治療の進歩の歴史. 日大医誌 74（5）: 272-274（2015）.
- [5] 診療放射線技師の歴史を知ろう <https://shingakunet.com/bunnya/w0033/エックス0440/rekishi/>.
- [6] 遠藤有聲. 医療用加速器の技術と変遷. 放射線医学物理 19.1（1999）: 1-15.
- [7] 強度変調放射線治療（IMRT）ガイドラインワーキンググループ. 強度変調放射線治療（IMRT）ガイドライン 2011. 日本放射線腫瘍学会.
- [8] 日本医学放射線学会, 日本医学物理学会, 日本医学物理士会, 他. 画像誘導放射線治療の臨床施行のためのガイドライン 2022. 2022.
- [9] 放射線治療品質管理機構. 2001年-2004年に公表された放射線治療における誤照射事故の調査報告のまとめ. 2020.
- [10] 齋藤秀敏. 外部放射線治療における水吸収線量計測の変遷 [第1部]. 医学物理 43.4（2023）: 125-135.

講演者略歴



佐原 朋広 (さほら ともひろ)

所 属 大阪府診療放射線技師会
住 所 〒 543-0018 大阪府大阪市天王寺区空清町 8-33
連 絡 先 TEL/FAX : 06-6765-0301/06-6765-0302、E-mail:sahara@daihougi.ne.jp
学 歴 1993年 大阪物療専門学校第2放射線技師科卒業
1999年 大阪工業大学電子工学科修了
2005年 大阪工業大学工学研究科 前期博士課程修了
役 員 歴 2014年 大阪府診療放射線技師会 理事
2020年 大阪府診療放射線技師会 常務理事
2024年 大阪府診療放射線技師会 副会長 現在に至る
職 歴 1993年 大阪市立大学医学部附属病院 中央放射線部
2012年 同 中央放射線部 主査
2022年 大阪公立大学医学部附属病院 中央放射線部 主査 現在に至る
免許・資格 診療放射線技師
第1種放射線取扱主任者
医学物理士
日本磁気共鳴専門技術者
研究・活動 専門分野：信頼性工学、医療用加速器の故障理論
分野など