

<特集「小児がん医療の現状と今後」>

小児がん医療における放射線治療の役割

鈴木 弦*, 山崎 秀哉, 山田 恵

京都府立医科大学大学院医学研究科放射線診断治療学

The Rule of Radiation Therapy in the Treatment of Childhood Cancer

Gen Suzuki, Hideya Yamazaki and Kei Yamada

Department of Radiology,

Kyoto Prefectural University of Medicine Graduate School of Medical Science

抄 録

小児がんに対する放射線治療の究極のゴールは、生存率の向上と QOL の改善である。小児がんの治療は腫瘍制御の達成と、成長／発達障害、認知機能低下、神経内分泌機能障害、二次発がんに代表される晩期障害とのリスクバランスのうえに成り立っている。放射線障害には線量-体積効果がみられ、正常組織へのダメージは線量依存性が増加することが知られている。正常組織や臓器への照射線量を減らすことができれば、晩期障害のリスク低下に期待がもてる。陽子線治療はその物理学的特性により、現時点においてゴール達成に最も期待がもてる治療モダリティといえる。すでに本邦においては有害事象を減らす目的で、小児がん患者に広く使用されている。しかし、X線治療と比較して治療時間が長く、鎮静剤や麻酔導入の必要性がこれまで以上に増すことが、問題の一つとして挙げられる。小児が放射線治療に馴染むための事前準備は、治療時間短縮のみならず、麻酔を減らせることに繋がる可能性もあり、検討に値する。

キーワード：小児がん、放射線治療、晩期障害。

Abstract

The ultimate goal in pediatric radiation oncology is to improve survival and quality of life. In particular, a sound balance is needed between tumor elimination and minimization of the late effects of radiation therapy on growth and development, cognition, neuroendocrine function, and the induction of secondary malignancies. It is well documented that radiation causes damage to normal tissues and organs in a dose-dependent and volume-dependent way. Reducing the exposure of normal tissues to therapeutic radiation would presumably decrease the risk of late effects. Thanks to its physical properties, proton beam therapy (PBT) is a possible candidate to achieve this goal. PBT would be widely used in pediatric patients to reduce toxicities in Japan in the near future. But the treatment time for PBT can be longer than that for photon radiotherapy and similar sedatives or anesthesia are required. The preparation

平成28年 8月24日受付

*連絡先 鈴木 弦 〒602-8566 京都市上京区河原町通広小路上ル梶井町465番地
gensuzu@koto.kpu-m.ac.jp

process which is to become familiar with the treatment room and staff before treatment may be useful for reducing the need for anesthesia, allowing PBT to be performed in less time.

Key Words: Childhood cancer, Radiation, Late effects.

はじめに

今日の集学的治療の進歩により、小児がんは約7割が治癒する時代となり、“不治の病”とされた1960年代（治癒率3割）と比較すると治療成績の向上が際立っている¹⁾。しかし、厚生省発表の人口動態統計によると小児の死亡原因として悪性新生物が上位を占め、特に4歳以降は事故など病死以外の原因を除けば依然として死亡原因の1位である。著しく改善してきた現状の治療成績は未だ発展の途上にとらえ、さらなる成績向上を目指すべきことは言うまでもない。

放射線治療の適応となる小児がんは多岐にわたるが、いずれにおいても放射線のみで根治治療が行われる機会は少なく、化学療法や手術療法を適切に組み合わせ、いわゆる total cell kill を目指した集学的治療の一部として行われることがほとんどである。放射線治療の役割は、主に固形癌に対する局所制御率の向上、さらには生存率の向上と考えられる。近年、放射線治療は目覚ましい進歩を遂げ、局所制御率の向上とともに後期有害事象の軽減が可能な照射方法が確立してきた。本稿では小児に対する放射線の影響をふまえつつ、放射線治療が小児がんの治療戦略にどのように貢献できるのか、また最先端医療として期待される粒子線治療の役割についてもあわせて述べたい。

小児に対する放射線の影響

放射線の影響を受けやすい細胞や組織として、①細胞分裂頻度が高く、②将来行う細胞分裂の数が多く、③形態および機能が未分化であること、が示されている。小児は成人に比して組織分化の観点では未分化な細胞が多く、将来の成長にむけて分裂、発育する組織の細胞に富んでいることから、放射線が身体に与える影響

は成人に比して高いといえる。腫瘍細胞の観点からも小児の固形癌は成人より分化度が低いものが多く、放射線感受性が高い腫瘍が多い。通常、成人の固形癌を制御するためには一回線量1.8~2 Gyで総線量60~70 Gy程度の線量を要することが一般的であるが、神経芽腫や横紋筋肉腫などに代表される小児軟部腫瘍などでは、より少ない線量で比較的高い病巣制御の達成が期待でき、放射線の生体への影響（副作用）を考慮する観点からはメリットが大きい。例えば、神経芽腫の高リスク群では、手術によって完全切除できた場合、腫瘍床に19.8 Gy/11回（COG-ANBL0532では21.6 Gy/12回、シアトルグループは21.0 Gy/14回）を照射する。肉眼的残存腫瘍が認められる場合にはさらに10.8 Gy/6回（COG-ANBL0532では14.4 Gy/8回、シアトルグループは9 Gy/6回）の追加照射が行われる。また横紋筋肉腫の場合、胎児型を除いた外科病理学的グループIの症例に対しては36 Gy/20回、リンパ節陽性例あるいは顕微鏡的残存が認められるグループIIには41.4 Gy/23回、肉眼的腫瘍が残存するグループIIIの場合には50.4 Gy/28回の術後照射が行われている。その他の腫瘍をみても、成人に用いられる60~70 Gyの高線量を標準処方線量とする小児がんはほとんど見受けられない。

しかし小児の場合、照射される正常組織の耐容線量が腫瘍の局所制御に必要な線量を下回ることもあり、このことが適切な放射線治療の遂行を困難にしている。骨の発育障害はわずか6 Gy程度の照射でも認められ、障害の程度が飽和状態となる40 Gy程度まで線量依存性に影響が大きくなることが知られている。ウィルムス腫瘍照射後の長期生存例においては、側彎症と筋骨格系の発達異常が高い頻度で報告されており、米国のNational Wilms' Tumor Study (NWTs)では10~12 Gy, 12.1~23.9 Gy, 24~40 Gyで、

それぞれ8%, 46%, 63%に側彎症が認められている²⁾。また、将来の妊娠、出産への影響も大きな問題で、特に25 Gy以上の腹部照射を受けた女性に低体重児や未熟児、あるいは先天異常の発生が多いと報告されている。腹部照射で骨盤が照射野内に含まれない場合には妊孕性が保たれ、全腹部照射10.5 Gyまでの照射線量の場合にも妊孕性が期待できる可能性もあるが、高線量の腹部骨盤照射例では、流産や胎児死亡の発生が高いことが報告されている³⁾。小児の未熟な脳組織に対しては、極めて低線量の照射でさえも長期の認知機能低下、行動欠損の原因になり得るとされ⁴⁻⁶⁾、脳腫瘍の制御に必要な照射線量によって正常な脳の発達が阻害される可能性が高い。特に5歳以下であれば程度の差はあれ学習能力の低下はほぼ必発と考えられる。危険臓器の耐容線量と晩期障害についてのまとめ⁷⁾を表1に示す。

放射線を用いた癌治療では、一般的に腫瘍に照射する放射線量を増加すれば腫瘍制御率もある時点までは高くなるため、最大の抗腫瘍効果が得られる線量を腫瘍に投与するのが理想的である。しかし、投与線量の増加は、同時に副作用の頻度をも高くしてしまうため、特に正常組織の耐容線量の低い小児症例においては、正常組織の耐用線量が照射線量の上限となってしまう場合があり、必要とする領域に理想的な線量を十分に投与できないことも少なくない。小児がんに対する放射線治療は、成長や発達障害、神経内分泌機能低下、そして二次発がんなど放

射線に伴う晩期障害とのリスクバランスのうえに成り立っている。

二次発がん

小児がんの治療率は顕著な改善がみられるが、同時に長期生存例の増加に伴って二次発がんリスクも増大することを考慮に入れなくてはならない。二次発がんは生命予後に影響する重大な晩期障害の一つで、CCSS (the Childhood Cancer Survivor Study) の調査では長期生存症例の死因として、再発の次に多い死因であることが明らかにされている⁸⁾。放射線による発がんは、照射によるDNA損傷が誘因となって生じると考えられており、発生の安全域とされる閾値がない確率的影響で発生するとされている。すなわち、照射線量の増加と発がんの発生に正比例の関係が成り立つものであり、低線量域においてもその発生には十分な注意が払われるべきである。

二次発がんの発生は、苦難の治療を乗り越えた小児がんサバイバーに対して新たな苦悩の始まりと治療への再挑戦を意味し、解決すべき重要な課題である。小児の正常細胞や組織の放射線感受性が高いことや、その影響が長期に及ぶことを念頭に置かねばならない。

小児がんの放射線治療、3DCRT/IMRTから陽子線治療へ

放射線は線量依存性に、そして照射野が広がるほど正常の組織や臓器にダメージを与える

表1 危険臓器の耐容線量と晩期障害 (文献7より引用)

臓器、組織	線量	晩期障害
中枢神経	~18Gy	IQ低下、短期記憶低下、行動思考障害、
下垂体	~18Gy	ホルモン分泌不良、特にGH,ACTH,TSH
甲状腺	20Gy	甲状腺機能低下症
生殖器	1-2Gy(精巣)、6-10Gy(卵巣)	不妊症
骨	~10Gy:特に乳幼児	骨成長障害、特に頭頸部
腎臓	12-14Gy	高血圧、腎不全
歯列	~4-10Gy	齲歯、顎骨成長障害、顎骨壊死
眼	~10Gy(白内障)、~25Gy(ドライアイ)	白内障、ドライアイ
二次発がん	低線量:腺癌 高線量:肉腫	例えば、ホジキン病治療後の乳癌、甲状腺癌 神経系の肉腫(乳腺発生も含む)

ことが知られている。特に、髄芽腫に代表されるように、小児がんの照射野は成人と比較して大きいことが多く、さらに体格が小さいため照射による影響が相対的に増加し、成人よりも正常臓器に対する平均線量が高くなる傾向にある(図1)。二次発がんを含めた晩期障害のリスクを減らすためには、正常組織の照射線量や照射体積を可能な限り減らすこと重要と考えられる。

放射線治療の技術面におけるの進歩は、1980年代に画像診断領域で急速な普及を遂げたCT装置の恩恵にあずかっている。1990年代には放射線治療専用装置として放射線治療領域にもCTが普及し始め、コンピューターを用いた治療計画装置の発展も相まって、不整形の腫瘍を三次元的に多方向から照射することが可能となった。これに沿った照射野形状で照射するのが3次元原体照射法(3DCRT)である。この画期的な照射技術の登場によって、従来の二次元的治療と比べると腫瘍に対する線量集中度が格段に増し、正常組織への高線量照射域も大幅に縮小した。しかし、3DCRTでは照射野内の線量強度が均一であるため、例えば凹んだような

複雑な腫瘍形状に一致した線量分布を得ることが困難であった。この問題を解決する照射技術が、強度変調放射線治療(intensity modulated radiation therapy: IMRT)である。IMRTでは照射野形状を合わせ込むと同時に照射野内の線量強度を変化させながら、腫瘍には高線量を照射しつつ、正常組織には線量低減を可能にする照射法である。IMRTはいわゆる逆方向治療計画(Inverse planning)の登場によって、治療計画の主導権が人間からコンピューターに移り、高い線量原体性を再現するための入射ビーム強度の最適化は治療計画システムが担うようになった。この高精度X線治療は、腫瘍と危険臓器が隣接するなどの理由で通常のX線治療では十分な線量を照射することができない局在においてその力を発揮し、小児がん診療において重要な治療モダリティの一つとして位置づけられている⁹⁻¹¹⁾。中間リスクの横紋筋肉腫症例を対象としたCOG研究においても、3DCRTと比較してIMRTのターゲットに対する線量カバーが良好であったことが報告されている¹²⁾。IMRTは放射線腫瘍医にとって最も治療困難で挑戦的

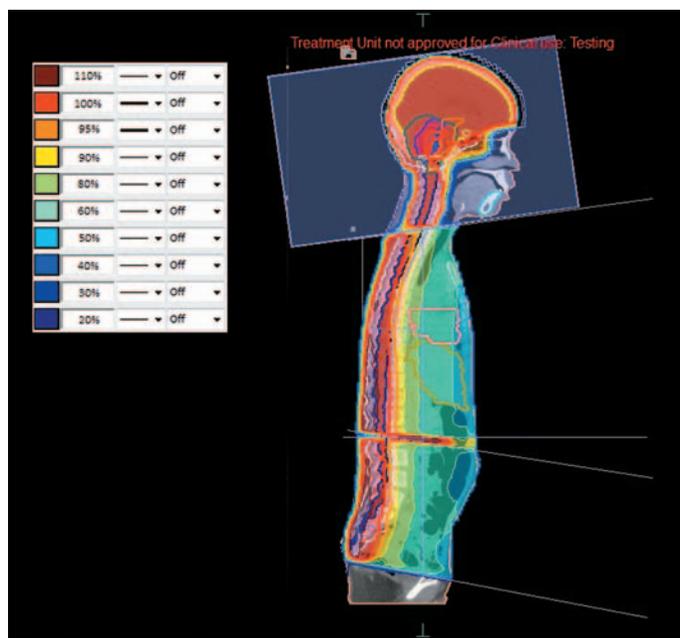


図1 全脳全脊髄照射(髄芽腫症例)

な症例に開かれた卓越した治療オプションの一つといえる。腎臓や腸管など腹腔内臓器を避けた後腹膜腫瘍への照射や、隣接する骨を避けた軟部腫瘍への照射、さらには正常脳実質を避けた鼻／副鼻腔腫瘍への照射などが、その有効性が際立つ例として挙げられる。

一方、照射範囲が大きくなると、X線治療では周囲臓器の照射体積が増加し、特にIMRTにおいては漏洩線量の増加に伴う有害事象の発生を懸念する報告もなされている¹³⁾¹⁴⁾。小児がんにおいては照射範囲が広い傾向にあるだけでなく、化学療法の同時併用が標準的に行われることも多い。化学療法の併用は正常組織の照射効果も増強するため、とくに広範囲に照射する際には有害事象のリスクが格段に高くなる。事実、進行肺癌や食道癌に対する同時併用化学放射線療法で線量増加をした結果、有害事象の増加により成績が低下したことが報告されている¹⁵⁾¹⁶⁾。腫瘍と同様に、リスク臓器の照射効果には線量一体積効果があるため、照射野が大きい場合でも、高線量をこれまで以上に安全に照射できれば治療成績の向上に繋がる可能性がある。その点においては線量集中度が極だつて高い粒子線治療が魅力的な治療といえる。

現在、粒子線治療は炭素を用いた重粒子線治療と陽子を用いた陽子線治療が実臨床に使用されている。両者は共通する物理学的特性を有する。粒子線は人体などに入射すると、主に物質

中とのクローン力による電離作用によりその運動エネルギーを損失する。物質へ照射された粒子線は深部に進むにつれて運動エネルギーを損失し、物質中で粒子線が停止する寸前の場所でピークに達し非常に大きなエネルギーを損失する。その結果、停止寸前の場所にBraggピークと呼ばれる高い線量領域が形成される(図2A)。粒子線の照射位置および入射運動エネルギーを調節して腫瘍部分にBraggピークを集中させることで、腫瘍に対して線量集中度が高い治療を実現させている。実際の治療では、腫瘍は3次元的に複雑な広がりとし大きさを有しているため、Braggピークを腫瘍の深部方向の幅に合わせて広げた拡大ブラッグピーク(spreadout Bragg peak: SOBP)を形成することで、腫瘍の形状や大きさにあった優れた線量分布を得ることができる(図2B)。このような粒子線の物理学的特性により、腫瘍に近接する正常組織への線量はX線より低減することが可能となり、腫瘍に対してはより高い線量を照射しうることで局所制御の向上も期待できる。

生物学的効果については重粒子線と陽子線では全く異なっている。重粒子線はX線の2~3倍の生物学的効果比(Relative biological effectiveness: RBE)を有し、理論的に骨軟部肉腫など放射線抵抗性腫瘍に対して高い治療効果が期待できる。その反面で正常組織に対しても同等の強い生物学的効果を与えるため、“諸刃の剣”とな

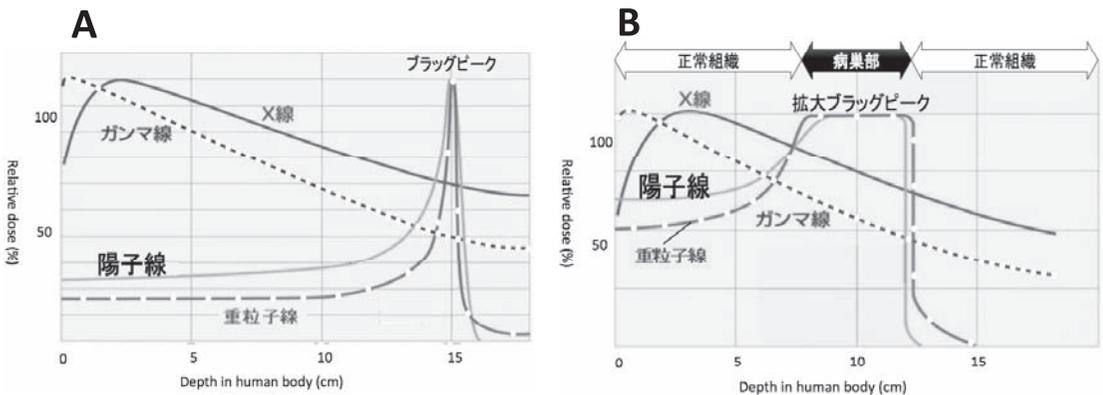


図2 A. 粒子線と他の放射線の深部線量分布 B. 拡大ブラッグピーク形成概念図

りうる。陽子線治療はX線とほぼ等価のRBEと考えられており、これまで使い慣れたX線の線量-効果関係や有害事象に関する蓄積された臨床データを利用しやすいといった利点がある。化学療法併用に関しても、腫瘍に対する放射線増感作用や増強効果の予測がこれまでのX線を用いた化学放射線療法の臨床データから類推しやすい。小児がんの集学的治療の一環として陽子線治療を適応しやすいのはこのためである。陽子線治療を用いることで、懸念される二次発がんについてもX線の1/15程度にできると報告されている¹⁷⁾。陽子線治療の小児がんへの適応は、米国放射線腫瘍学会においても、治療法別の保険適応の考え方に関するモデルポリシーで医学的にその有用性が絶対視されている。最先端医療ゆえ長期的に有効性を示すデータに乏しいことが課題であるが、本邦でも小児がんに対して公的保険収載が認められ、考え得る最適な体外照射法としてこの恩恵を広く提供できる環境がようやく整った。小児がんサバイバー1万人以上を対象とした晩期障害に関する調査報告においては、6割以上が日常生活に何らかの支障を有しており、うち複数の障害をもつサバイバーが約4割にのぼる、との報告がなされ¹⁸⁾、世界に大きなインパクトを与えた。さらにこの報告では約3割がGrade 3~4の高度な障害であったことを明らかにしている。このことから現存のX線治療で高い腫瘍制御率が期待できるとしても、治療後QOLを向上する目的で陽子線治療が選択される機会は増加し、そのニーズが急速に高まっていくことは予想に難くない。現時点において、治療施設数が限られるなど社会的背景は無視できないが、今後、治療装置のさらなる小型化、低価格化がすすむことで導入施設が増加し、小児がん診療の地域格差が解消される方向に向かうことに期待したい。

小児放射線治療の問題点

放射線治療が小児がん診療の一翼を担う一方、その診療にあたっては小児ならではの難しい問題もある。その一つは鎮静、麻酔の問題で

ある。高精度放射線治療は腫瘍に局限した急峻な線量分布を呈するため、体動によるエラーは再発リスクに直結する。したがって正確で安全な放射線治療を行うには治療中の体位保持、安静を保つことが前提となる。しかし、小児（特に幼児）ではそれが容易でない場合が多く、治療にあたっては鎮静剤や全身麻酔の導入を余儀なくされることも少なくない。特に本邦において治療件数の増加が予想される陽子線治療においては、これまでのX線治療と比較して治療時間が顕著に長くなる場合が想定され、鎮静や麻酔の必要性がさらに増す可能性がある。Buchsbaumらは、陽子線治療をうける小児症例に対して、麻酔導入は安全かつ効果的であることを報告し¹⁹⁾、Owusu-Agyemangらは非侵襲的麻酔に伴う、徐脈、けいれん、喉頭や気道スパズムなどの累計発生頻度はわずか0.05%とその安全性を報告している²⁰⁾。しかしながら、治療毎の麻酔の導入は、麻酔科医を含む担当スタッフの充足と設備の充実が必要で、さらにはそれに携わる診療スタッフの時間的拘束の問題も伴う。小児患者は成人と同じ治療室を使用するため、治療室の占有時間の問題も予想される。いかに麻酔を最小化（可能であれば省略）しつつ、円滑に治療室を運用していくかが今後の小児放射線診療の課題である。Mizumotoらは陽子線治療をうける小児患者を対象とし、事前のスタッフ対面や治療室見学、治療台の実体験、またギフト準備等のプレパレーションが治療運用に与える影響について検討している²¹⁾。その結果、コミュニケーションはとれるものの長時間の安静を保てない小児に要する治療時間は、治療開始翌日から5回と比較して、治療終了前5回で大幅に短縮可能であったと報告している。さらに、プレパレーションによって麻酔を必要としなくなった、あるいは麻酔を減らせた症例が顕著に増加したことも併せて報告している。筆者らも同様の取り組みを行うことで、円滑に診療を行い得た経験を有しており（図3）、プレパレーションの積極的導入は検討に値すると考えている。

精神面においては、子どもはストレスへの適



図3 (久留米大学病院放射線治療センター 淡河恵津世教授のご厚意による)

- A. キャラクターペイントシェル B. 治療室内 DVD 鑑賞装置 C. スタンプカレンダー
D. ご褒美マグカップ

応能力が未熟であるため、治療による苦痛などで容易に PTSD などを発症しうる。治療に際しては、心理的ケアや療養環境の整備などについて特段の配慮が必要である。陽子線治療を含めた放射線治療施設においては、麻酔導入のための準備室や小児専用ルームなど、患児に個別に

対応できる空間が必要と考える。専門スタッフの充実と適正な人員配置、施設や環境の整備など、小児放射線診療において解決すべき問題は少なくない。

開示すべき潜在的利益相反状態はない。

文 献

- 1) Smith AM, Seibel NL, Altekruse SF, Ries LAG, Mebert DL, O'Leary M, Smith FO, Reaman GH. Outcomes for children and adolescents with cancer: challenges for the twenty-first century. *J Clin Oncol* 2010; 28: 2625-2634.
- 2) Paulino AC, Wen BC, Brown CK, Tannous R, Mayr NA, Zhen WK, Weidner GJ, Hussey DH. Late effects in children treated with radiation therapy for Wilms' tumor. *Int J Radiat Biol Phys* 2000; 46: 1239-1246.
- 3) Kapapourkak JA, Peterson S, Peabody EM, Thomas PRM, Green DM, D'Angio GJ, Breslow NE. Pregnancy outcomes after abdominal irradiation that included or excluded the pelvis in childhood Wilms tumor survivor: a report from the National Wilms' Tumor Study Group. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2004; 58: 1364-1368.
- 4) Hall P, Adami HO, Trichopoulos D, Pedersen NL, Lagiou P, Ekblom A, Ingvar M, Lundell M, Granath F. Effect of low doses of ionising radiation in infancy on cognitive function in adulthood: Swedish population based cohort study. *BMJ* 2004; 328: 19-21.
- 5) Ron E, Modan B, Floro S, Harkedar L, Gurewitz R.

- Mental function following scalp irradiation during childhood. *Am J Epidemiol* 1982; 116: 149-160.
- 6) Shore RE, Albert RE, Pasternack BS. Follow-up study of patients treated by x-ray epilation for tinea capitis; resurvey of post-treatment illness and mortality experience. *Arch Environ Health* 1976; 31: 21-28.
 - 7) Thorp N. Basic Principles of pediatric radiotherapy. *Clin Oncol* 2013; 25: 3-10.
 - 8) Mertens AC, Liu Q, Neglia JP, Wasilewski K, Leisenring W, Armstrong GT, Leslie L, Robison LL, Yasui. Cause-Specific Late Mortality Among 5-Year Survivors of Childhood Cancer: The Childhood Cancer Survivor Study. *J Natl Cancer Inst* 2008; 100: 1368-1369.
 - 9) Wolden SL, Wexler LH, Kraus DH, Laquaglia MP, Lis E, Meyers PA. Intensity-modulated radiotherapy for head-and-neck rhabdomyosarcoma. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2005; 61: 1432-1438.
 - 10) McDonald MW, Esiashvili N, George BA, Katzenstein HM, Olson TA, Rapkin LB, Marcus Jr. RB. Intensity-modulated radiotherapy with use of cone-down boost for pediatric head-and-neck rhabdomyosarcoma. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2008; 72: 884-891.
 - 11) Curtis AE, Okcu MF, Chintagumpala M, The BS, Paulino AC. Local control after intensity-modulated radiotherapy for head-and-neck rhabdomyosarcoma. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2009; 73: 173-177.
 - 12) Lin C, Donaldson SS, Meza JL, Anderson JR, Lyden ER, Brown CK, Morano K, Laurie F, Arndt CA, Enke CA, Breneman JC. Effect of radiotherapy techniques (IMRT vs. 3D-CRT) on outcome in patients with intermediate-risk rhabdomyosarcoma enrolled in COG D9803-a report from the Children's Oncology Group. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2012; 82: 1764-1770.
 - 13) 石川 仁, 大西かよこ, 水元齊志, 粟飯原輝人, 関野雄太, 武居秀之, 神澤 聡, 奥村敏之, 坪井康次, 櫻井英幸. 局所進行癌に対する化学療法を併用した陽子線治療成績と展望. *癌と化療* 2015; 42: 148-153.
 - 14) Hall EJ. Intensity-modulated radiation therapy, protons, and the risk of second cancers. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2006; 65: 1-7.
 - 15) Bradley JD, Paulus R, Komaki R, Masters G, Blumenschein G, Schild S, Bogart J, Hu C, Forster K, Maglicco A, Kavadi V, Garces YI, Marayan S, Lyengar P, Robinson C, Wynn RB, Koprowski C, Meng J, Beitler J, Gaur R. Standard-dose versus high-dose conformal radiotherapy with concurrent and consolidation carboplatin plus paclitaxel with or without cetuximab for patients with stage IIIA or IIIB non-small-cell lung cancer (RTOG 0617): a randomised, two-by-two factorial phase 3 study. *Lancet oncol* 2015; 16: 187-199.
 - 16) Minsky BD, Pajak TF, Ginsberg RJ, Pisansky TM, Martenson J, Komaki R, Okawara G, Rosenthal SA, Kelsen DP. INT 0123 (Radiation Therapy Oncology Group 94-05) phase III trial of combined-modality therapy for esophageal cancer: high-dose versus standard-dose radiation therapy. *J Clin Oncol* 2002; 20: 1167-74.
 - 17) Miralbell R, Lomax A, Cella L, Schneider U. Potential reduction of the incidence of radiation-induced second cancers by using proton beams in the treatment of pediatric tumors. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2002; 54: 824-829.
 - 18) Oeffinger KC, Mertens AC, Sklar CA, Kawashima T, Hudson MM, Meadows AT, Frieman DL, Marina N, Hobbie W, KadanLottick NS, Schwartz CL, Leisenring W, Robison LL. Chronic health conditions in adult survivors of childhood cancer. *N Engl J Med* 2006; 355: 1572-1582.
 - 19) Buchsbaum JC, McMullen KP, Douglas JG, Jackson JL, Simoneaux RV, Hines M, Bratton J, Kerstiens J, Johnstone PAS. Repetitive pediatric anesthesia in a non-hospital setting. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2013; 85: 1296-1300.
 - 20) Owusu-Agyemang P, Grosshans D, Arunkumar R, Rebello E, Popovich S, Zavala A, Williams C, Ruiz J, Hernandez M, Mahajan A, Porche V. Non-invasive anesthesia for children undergoing proton radiation therapy. *Radiother Oncol* 2014; 111: 30-34.
 - 21) Mizumoto M, Oshiro Y, Ayuzawa K, Miyamoto T, Okumura T, Fukushima T, Fukushima H, Ishikawa H, Tsuboi K, Sakurai H. Preparation of pediatric patients for treatment with proton beam therapy. *Radiother Oncol* 2015; 114: 245-248.

著者プロフィール



鈴木 弦 Suzuki Gen

所属・職：京都府立医科大学大学院医学研究科放射線診断治療学・講師

略歴：1995年3月 久留米大学医学部卒業
 1995年5月 久留米大学病院放射線科研修医
 1996年4月 済生会大牟田病院胃腸科
 1998年3月 大牟田市立総合病院放射線科
 2000年4月 大阪大学大学院医学系研究科集学放射線治療研究部 留学
 2003年2月 医学博士号取得
 2012年2月 久留米大学病院放射線治療センター講師
 2012年4月 久留米大学医学部重粒子線がん治療学講座講師
 2013年4月 済生会滋賀県病院放射線科
 2015年7月～現職

専門分野：放射線腫瘍学

- 主な業績：1. Suzuki G, Yamazaki H, Takenaka H, et al. Definitive radiation therapy for angiosarcoma of the face and scalp. *IN VIVO* 2016; 30 (in press)
2. Yamazaki H, Ogita M, Suzuki G, et al. Reirradiation using robotic image-guided stereotactic radiotherapy of recurrent head and neck cancer. *J Radiat Res* 2016; 57: 288-93.
3. Yamazaki H, Nakamura S, Suzuki G, et al. Superiority of charged particle therapy in treatment of hepatocellular carcinoma (Regarding Qi W.X. et al. charged particle therapy versus photon therapy for patients with hepatocellular carcinoma: A systematic review and meta-analysis). *Radiother Oncol* 2016; 118: 420.
4. Suzuki G, Yamazaki H, Takenaka H, et al. Clinical outcome of patients treated with reirradiation for spine or pelvic bone metastasis: a multi-institutional analysis of 98 patients. *Mol Clin Oncol* 2016; (in revise)
5. Katsumori T, Miura H, Suzuki G, et al. Angiographic endpoint using "Artificial Flow" on uterine artery embolization for leiomyomas in the circumstance with no free flow in uterine artery. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2015; 38: 1047-1049.
6. Yamazaki H, Nakamura S, Suzuki G, et al. Hypofractionated radiotherapy for localized prostate cancer: a challenging accelerated hypofractionated radiotherapy. *Anticancer Res* 2015; 35: 5167-5177.
7. Suzuki G, Yamazaki H, Ogo E, et al. Multimodal treatment for T1-2 supraglottic cancer: The impact of tumor location. *Anticancer Res* 2014; 34: 203-208.
8. Suzuki G, Yamazaki H, Ogo E, et al. Multimodal approach for cervical esophageal carcinoma: role of neoadjuvant chemotherapy. *Anticancer Res* 2014; 34: 1989-1992.
9. Suzuki G, Yamazaki H, Ogo E, et al. Predisposing factors for larynx preservation strategies with non-surgical multimodality treatment for locally advanced (T3-4) larynx, hypopharynx and cervical esophageal disease. *Anticancer Res* 2014; 34: 5205-521.
10. Watanabe Y, Suefuji H, Suzuki G, et al. (18) F-FDG uptake in primary gastric malignant lymphoma correlates with glucose transporter 1 expression and histologic malignant potential. *Int J Hematol* 2013; 97: 43-49.
11. Suzuki G, Ogo E, Abe T, et al. Non-surgical multimodality treatment for locally advanced (T3-4) hypopharyngeal cancer: The impact of pre-treatment hemoglobin level. *Anticancer Res* 2013; 33: 5561-5565.
12. Suzuki G, Ogo E, Tanoue R, et al. Primary gingival angiosarcoma successfully treated by radiotherapy with concurrent intra-arterial chemotherapy. *Int J Clin Oncol* 2011; 16 : 439-443.
13. Tanaka T, Fujita H, Suzuki G et al. Outcomes of multimodality therapy for stage IVB esophageal cancer with distant metastasis (M1-Org). *Disease of esophagus* 2010; 23: 646-661.
14. Ogo E, Komaki R, Suzuki G, et al. The clinical characteristics and non-steroidal treatment for radiation-induced broncholitis obliterans organizing pneumonia syndrome after breast-conserving therapy. *Radiotherapy and Oncology* 2010; 97: 95-100.