

動脈、静脈、気管支を異なった色彩で表示し、立体的で手術解剖に近似したイメージが得られるようになった。

D 考察

CTを用いた肺癌検診は今後一層普及すると考えられ、より多くの早期肺癌が発見されることが想定される。腫瘍径は重要な予後因子であるが、小型腺癌の場合は病理学的な浸潤度が生物学的悪性度・予後と良く相関することが明らかにされている。特に病理学的浸潤部位はCT上充実部(consolidation)を呈し、腫瘍部において、この比率が高いほど悪性度が高いと考えられる。我々も参加した多施設のregistry study(JCOG0201)の結果では、CT所見「腫瘍径2cm以下、consolidation比率25%以下」の症例は、ほぼ組織学的非浸潤癌(リンパ管浸潤陰性、血管浸潤陰性)であることが証明されている。このような症例は日常臨床でも縮小術式を行い、根治と呼吸機能温存を目指すべきであり、従来の葉切除を行うことは過大侵襲であろう。同時に高齢かつ複数の併存疾患を有する患者の比率も増加しているため、外科治療の低侵襲化とは推進すべきであるが、地域の拠点施設の呼吸器外科医が縮小術式を標準手術として行い得るに至るには時間と経験の蓄積が必要と考える。この点で術前のシミュレーションや手術自体を支援するソフトの開発は意義あるものとする。

積極的縮小手術は日常臨床に導入可能であることが示唆され、放射線治療との優劣を治療効果、費用、侵襲性など多角的に評価する必要があると考える。

E 結論

早期肺癌に対する縮小手術はすでに一般臨床に導入されており、この技術の均てん化を図る必要がある。また、肺癌患者の高齢化、併存疾患の多さを考慮すると、放射線治療をはじめとする非手術治療との比較、新治療法の開発が必要である。次世代の低侵襲手術を確立するためには新たな手術術式とともに、早期癌の生物学的な解明、正確な質的診断、医工連携による新しい機器の開発、科学的な安全への配慮を包括的に推進していく必要があると思われる。

F 健康危機情報

特になし

G 研究発表(2009、2010、2011の3年間の論文10編程度)

1. Usuda J, Ichinose S, Ishizumi T, Ohtani K, Inoue T, Saji H, Kakihana M, Kajiwara N, Uchida O, Nomura M, Tsutsui H, Ohira T, Ikeda N. Klotho is a novel biomarker for good survival in resected large cell neuroendocrine carcinoma of the lung. *Lung Cancer*. 2011; 72(3): 355-359.
2. Kajiwara N, Kakihana M, Kawate N*, Ikeda N, Appropriate set-up of the da Vinci® surgical system in relation to the location of anterior and middle mediastinal tumors. *Interactive Cardiovascular and Thoracic Surgery*. 2011; 12(2): 112-116.
3. Nomura M, Fukuda T*, Fujii K*, Kawamura T, Tojo H*, Kihara M*, Bando Y*, Gazdar AF*, Tsuboi M, Oshiro H, Nagao T, Ohira T, Ikeda N, Gotoh N, Kato H, Marko-Varga G*, Nishimura T. Preferential expression of potential markers for cancer stem cells in large cell neuroendocrine carcinoma of the lung. An FFPE proteomic study *J Clin Bioinforma*.

2011;1(1): 23.

4. Kajiwara N, Kakihana M, Usuda J, Uchida O, Ohira T, Kawate N, Ikeda N. Training in Robotic Surgery Using the da Vinci® Surgical System for Left Pneumonectomy and Lymph Node Dissection in an Animal Model. *Ann Thorac Cardiovasc Surg.* 2011;17(5): 446-453.
5. Kajiwara N, Taira M, Yoshida K, Hagiwara M, Kakihana M, Usuda J, Uchida O, Ohira T, Kawate N*, Ikeda N, Early experience using the da Vinci Surgical System for the treatment of mediastinal tumors. *Gen Thorac Cardiovasc Surg.* 2011;59(10): 693-698.
6. Saji H, Tsuboi M, Yoshida K, Kato Y, Nomura M, Matsubayashi J, Nagao T, Kakihana M, Usuda J, Kajiwara N, Ohira T, Ikeda N, Prognostic Impact of Number of Resected and Involved Lymph Nodes at Complete Resection on Survival in Non-small Cell Lung Cancer. *J Thorac Oncol.* 2011; 6(11): 1865-1871.
7. Usuda J, Ichinose S, Ishizumi T, Ohtani K, Inoue T, Saji H, Kakihana M, Kajiwara N, Uchida O, Nomura M, Ohira T, Ikeda N, Klotho predicts good clinical outcome in patients with limited-disease small cell lung cancer who received surgery. *Lung Cancer.* 2011;74(2): 332-337.
8. Usuda J, Ichinose S, Ohtani K, Inoue T, Maehara S, Imai K, Shima K*, Ohira T, Kato H, Ikeda N, Molecular Determinants of Photodynamic Therapy for Lung Cancer. *Lasers in Surgery and Medicine.* 2011;43(7): 591-599.
9. Ikeda N, Usuda J, Kato H, Ishizumi T, Ichinose S, Otani K, Honda H, Furukawa K, Okunaka T*, Tsutsui H, New Aspects of Photodynamic Therapy for Central Type Early Stage Lung Cancer. *Lasers in Surgery and Medicine.* 2011;43(7): 749-754.
10. Kajiwara N, Kakihana M, Usuda J, Ohira T, Kawate N*, Ikeda N, Extended indications of robotic surgery for posterior mediastinal tumors. *Asian Cardiovascular and Thoracic Annals* in press: 2011.

厚生労働科学研究費補助金（がん臨床研究事業）
分担研究報告書【総合】
放射線療法と粒子線治療の比較
分担研究者 手島 昭樹（大阪大学大学院医学系研究科）

A) 研究目的

粒子線治療施設のがんの施設構造基準の策定または改訂のための参考として日本放射線腫瘍学会(JASTRO)全国放射線治療施設定期構造調査のデータを分析・提示する。

B) 研究方法

日本放射線腫瘍学会では 2009 年度、2010 年度（集積・解析途中）の全国の放射線治療施設の定期的構造調査を実施した。粒子線治療施設と IMRT 施行施設に注目して分析した。2009 年度調査は 2010 年 1 月より Web 登録にて開始した。全国の 770 施設を対象として 2011 年 1 月までに 710 施設より回答(90.9%)が得られた。このうち粒子線治療施設：6 施設(P)、IMRT 施行 101 施設のうち大学病院・がんセンター施設：57 施設(IMRTA)とその他の施設 44 施設(IMRTB)について患者数、装備、人員の構造を比較分析した。2010 年度調査は 2011 年 1 月より Web 登録にて開始した。2011 年 12 月時点で 450 施設より回答（57.7%）が得られた。このうち粒子線治療施設：6 施設(P)、IMRT 施行 98 施設のうち大学病院・がんセンター施設：51 施設(IMRTA)とその他の施設 47 施設(IMRTB)について同様の分析をした。

C) 研究成果

- (1) 粒子線治療施設 対 IMRT 施行施設の構造比較
- (2) 患者数：2009 年度は施設当たりの平均患者数は P 施設：339 人（粒子線治療新規）、IMRTA 施設：34 人（IMRT 実患者数）、IMRTB 施設：53 人（IMRT 実患者数）であった。それぞれの施設の実患者数平均値はそれぞれ 1,133 人、873 人、404 人である。6 施設の粒子線治療の新規患者数は 2,038 人であった。2010 年度は集積解析途中であるが、施設当たりの平均患者数は P 施設：353 人（粒子線治療新規患者数）、IMRTA 施設：41 人（IMRT 実患者数）、IMRTB 施設：56 人（IMRT 実患者数）であった。6 施設の粒子線治療の新規患者数は 2,119 人であった。それぞれの施設の実患者数平均値はそれぞれ 1,137 人、843 人、433 人である。
- (3) 装備と機能：2009 年度の Linac 機能のうち dual energy のものは P 施設：91%、IMRTA 施設：79%、IMRTB 施設：72%であった。IMRT 機能はそれぞれ 64%、81%、89%に有していた。Cone beam CT or CT on rail 機能はそれぞれ 45%、35%、44%、Treatment position with verification system (radioscopy)はそれぞれ 0%、39%、49%に有していた。2010 年度は Linac 機能のうち dual energy のものは P 施設：92%、IMRTA 施設：77%、IMRTB 施設：74%であった。IMRT 機能はそれぞれ 75%、83%、

89%に有していた。Cone beam CT or CT on rail 機能はそれぞれ 50%、43%、55%、Treatment position with verification system (radioscopy)はそれぞれ 8%、48%、62%に有していた。

- (4) 治療計画装置:2009年度のCT simulatorはP施設:100%、IMRTA施設:96%、IMRTB施設:93%に装備されていた。2010年度のCT simulatorはP施設:100%、IMRTA施設:100%、IMRTB施設:96%に装備されていた。
- (5) 人員:2009年度の施設当たりの平均の放射線腫瘍医 FTE 数はP施設:7.6人、IMRTA施設:4.8人、IMRTB施設:1.8人であった。同様に診療放射線技師 FTE 数は13.0人、6.4人、3.5人であった。医学物理士 FTE 数は1.2人、0.5人、0.4人であった。全体では常勤の医学物理士はそれぞれ11人、67人、39人と登録されていた。患者数負荷は1FTE放射線腫瘍医当たりではP施設:149人、IMRTA施設:182人、IMRTB施設:222人であった。一方、1FTE診療放射線技師当たりでは、それぞれ87人、137人、115人となっていた。2010年度は平均の放射線腫瘍医 FTE 数はそれぞれ7.8人、5.2人、2.1人であった。同様に診療放射線技師 FTE 数は13.1人、6.5人、3.8人であった。医学物理士 FTE 数は1.2人、0.8人、0.6人であった。全体では常勤の医学物理士はそれぞれ11人、66人、42人と登録されていた。患者数負荷は1FTE放射線腫瘍医当たりではそれぞれ145人、IMRTA施設:162人、IMRTB施設:206人であった。一方1FTE診療放射線技師当たりでは、それぞれ86人、130人、114人となっていた。

(2) 2009年度および2010年度(集積・解析途中)日本放射線腫瘍学会定期的構造調査の実施と分析(全体データ):

- ①患者数推移:わが国全体の2009年度の放射線治療新規患者数は推定約201,000人、新規+再患を含めた実患者数は約240,000人であった。同様に2010年度は、新規患者数は約216,000人、新規+再患を含めた実患者数は約254,000人と推定された。本研究班で臨床研究を想定している主要疾患について新規患者数推移を集計し、推定値を算出した。肺癌は2003年:23,627人、2005年:26,212人、2007年:30,996人、2009年:32,110人、2010年:34,826人、同SRT例はそれぞれ591人、1,184人、1,957人、2,363人、3,699人であった。肝・胆・膵臓癌はそれぞれ6,199人、6,560人、6,824人、7,305人、7,344人、前立腺癌は9,112人、13,644人、17,215人、19,711人、22,747人、乳癌は25,380人、31,238人、38,561人、43,817人、48,480人であった。
- ②IMRT:全体の実患者数に対する実施症例数と比率は、2005年:755人(0.3%)、2007年:2,799人(1.4%)、2009年:4,296人(2.0%)、2010年:4,704人(3.2%)であった。
- ③地域分布:都府県別年間実患者数は人口に依存しており、都市部への粒子線治療施設の普及も今後重要な課題と考えられた。

D) 考案

JASTRO 定期的構造調査の結果では、2010 年度データは集積・解析途中で解釈に注意を要するが、2007 年から 2010 年にかけて P 施設 6 施設、IMRTA 施設、IMRTB 施設について、施設当たりの平均の放射線腫瘍医 FTE 数はそれぞれ 6.3 人→7.8 人、4.9 人→5.2 人、1.5 人→2.1 人であった。同様に診療放射線技師 FTE 数は 8.1 人→13.1 人、6.4 人→6.5 人、3.2 人→3.8 人であった。医学物理士 FTE 数は 3.2 人→1.2 人、0.4 人→0.8 人、0.3 人→0.6 人であった。全体では常勤の医学物理士はそれぞれ 40 人→14 人、28 人→66 人、19 人→42 人と登録されていたので、2007 年では IMRT 施設における FTE 数から勤務実態としては診療放射線技師業務との兼任が大部分であることが強く示唆されたが、2010 年には著明に改善されている。6 施設の粒子線治療の新規患者数は 1,643 人→2,116 人で施設平均 274 人→353 人であった。患者数から IMRT 施設における一般外部放射線治療に占める IMRT の割合は IMRTA 施設では 5%→4.9%、IMRTB 施設では 16%→12.9%であり、2007 年と 2010 年時点と比較して全実患者に対する比率は同程度であり、まだ十分普及している治療法とは言えなかった。

粒子線治療を適切に普及させ、可能性を十分に引き出すためにもわが国の実情に合った施設構造基準の策定は重要な作業である。IMRT 施設における一般外部放射線治療に占める IMRT の割合は既述のように IMRTA 施設 4.9%、IMRTB 施設 12.9%で 2009 年と今回の 2010 年で変化がなかったが、全体の症例数は 408 例増加していた。一方、人員は P 施設、IMRTB 施設では特に放射線腫瘍医数は増加している。医学物理士の施設当たり FTE 数は P 施設では減少、IMRTA、B 施設とも 2 倍に増加していた。前者は研究業務の医学物理士を 2009 年の統計に含めなかった点、後者は IMRT 業務や他の QA/QC 業務への医学物理士の専任化が順調に進展していることが推察された。

2009 年までの構造調査では粒子線治療施設における粒子線治療患者実人数の統計が取れていなかったが、2010 年の調査から反映される。さらに本研究班参加施設を中心に放射線医学総合研究所がデータセンター（安藤裕班員）となり、症例調査も開始されるのでさらに詳細な分析が可能になる。粒子線治療施設の普及と同時に診療の質の担保のためのモニタリングに役立つであろう。

E) 結論

日本放射線腫瘍学会の定期的構造調査により国全体の放射線治療の装備や人員の把握とともに粒子線治療施設の構造基準を IMRT 施行施設との比較のもとに策定可能である。変化の激しい時期なので毎年施行する意義は大きい。

F) 健康危機情報

特になし。

なお 2009 年度の調査データより、施設固有名と公開を承諾した調査項目のデータならびに全体解析データと解説を日本放射線腫瘍学会 (JASTRO) HP に常時公開している。 <http://www.jastro.or.jp/aboutus/datacenter.php>

H) 研究発表

- 1) Numasaki H., Teshima T., Shibuya H., Nishio M., Ikeda H., Ito H., Sekiguchi K., Kamikonya N., Koizumi M., Tago M., Nagata Y., Masaki H., Nishimura T., Yamada S., and Japanese Society of Therapeutic Radiology and Oncology Database Committee.: National structure of radiation oncology in Japan with special reference to designated cancer care hospital. *Int. J. Clin. Oncol.* 2009; 14(3): 237-244.
- 2) Ide H., Ozawa S., Matsubara H., Saito T., Shinoda M., Tachimori Y., Tanaka O., Udagawa H., Yamana H., Teshima T., Numasaki H., Barron J.P.: Comprehensive registry of esophageal cancer in Japan, 2000. *Esophagus* 2009; 6(1): 27-47.
- 3) Yoshioka Y., Suzuki O., Kobayashi K., Teshima T., Yamada Y., Kotsuma T., Koizumi M., Kagawa K., Chatani M., Shimamoto S., Tanaka E., Yamazaki H., Inoue T.: External-beam radiotherapy for clinically localized prostate cancer in Osaka, Japan, 1995-2006: Time trends, outcome, and risk stratification. *Strahlenther. Onkol.* 2009; 185(7): 446-52.
- 4) Kenjo M., Uno T., Murakami Y., Oguchi M., Saito S., Numasaki H., Teshima T., Mitsumori M. Radiation therapy for esophageal cancer in Japan: Results of the Patterns of Care Study 1999-2001. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2009; 75 (2): 357-363.
- 5) Akino Y., Teshima T., Kihara A., Kodera-Suzumoto Y., Inaoka M., Higashiyama S., Furusawa Y., Matsuura N. Carbon-ion beam irradiation effectively suppresses migration and invasion of human non-small lung cancer cells. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2009; 75 (2): 475-481.
- 6) Mukumoto N., Tsujii K., Saito S., Yasunaga M., Takegawa H., Yamamoto T., Numasaki H., Teshima T.: A preliminary study of in-house Monte Carlo simulations: An integrated Monte Carlo verification system. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2009; 75 (2): 571-579.
- 7) Sasaki T., Nakamura K., Ogawa K., Onishi H., Okamoto A., Koizumi M., Shioyama Y., Mitsumori M., Teshima T., the Japanese Patterns of Care Study Working Subgroup on Prostate Cancer.: Radiotherapy for patients with localized hormone-refractory prostate cancer: Results of the Patterns of Care Study in Japan. *BJUI* 2009; 104: 1462-1466.
- 8) Toita T., Oguchi M., Ohno T., Kato S., Niibe Y., Kodaira T., Kazumoto T., Kataoka M., Shikama N., Kenjo M., Teshima T., Kagami Y.: Quality assurance in the prospective multi-institutional trial on definitive radiotherapy using high-dose-rate intracavitary brachytherapy for uterine cervical cancer: The individual case review in Japan. *Jpn. J. Clin. Oncol.* 2009; 39(12): 813-819.

- 9) Nakamura K., Ogawa K., Sasaki T., Onishi H., Koizumi M., Araya M., Mukumoto N., Mitsumori M., Teshima T., Japanese Patterns of Care Study working subgroup of prostate cancer.: Patterns of radiation treatment planning for localized prostate cancer in Japan: 2003-05 Patterns of Care Study report. *Jpn. J. Clin. Oncol.* 2009; 39(12): 820-824.
- 10) Ogawa K., Nakamura K., Onishi H., Koizumi M., Mitsumori M., Teshima T. Japanese patterns of care study working subgroup of prostate cancer.: External beam radiotherapy for clinically localized hormone-refractory prostate cancer: clinical significance of Nadir prostate-specific antigen value within 12 months. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2009; 74: 759-65.
- 11) Teshima T., Numasaki H., Shibuya H., Nishio M., Ikeda H., Sekiguchi K., Kamikonya N., Koizumi M., Tago M., Ando Y., Tsukamoto N., Terahara A., Nakamura K., Mitsumori M., Nishimura T., Hareyama M., and Japanese Society of Therapeutic Radiology and Oncology Database Committee.: Japanese Structure Survey of Radiation Oncology in 2007 based on institutional stratification of Patterns of Care Study. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2010; 78(5), 1483-93.
- 12) Ogata T., Yamazaki H., Teshima T., Kihara A., Suzumoto Y., Inoue T., Nishimoto N., Matsuura N.: Early administration of IL-6RA does not prevent radiation-induced lung injury in mice. *Radiat. Oncol.* 2010; 5: 26 (in press)
- 13) Sato K., Nishikino M., Okano Y., Ohshima S., Hasegawa N., Ishino M., Kawachi T., Numasaki H., Teshima T., Nishimura H.: γ -H2AX and phosphorylated ATM focus formation on cancer cell line by laser plasma x-ray irradiation. *Radiat Research* 2010; 174(4): 436-45.
- 14) Otani Y., Fukuda I., Tsukamoto N., Kumazaki Y., Sekine H., Imabashi E., Kawaguchi O., Nose T., Teshima T., Dokiya T. : A comparison of the respiratory signals acquired by different respiratory monitoring systems used in respiratory gated radiotherapy. *Med. Phys.* 2010; 37(12): 6178-6186.
- 15) Tomita T., Toita T., Kodaira T., Uno T., Numasaki H., Teshima T., et al. Patterns of radiotherapy practice for patients with cervical cancer in Japan (2003-2005): Changing trends in the pattern of care process. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* (in press).
- 16) Ono T., Numasaki H., Teshima T., et al. Respiratory monitoring with an acceleration sensor. *Physics in Medicine Biology* 2011; 56: 6279-6289.
- 17) Toita T., Kodaira T., Shikama N., Kenjo M., Yamauchi C., Numasaki H., Teshima T., et al. Prospective multi-institutional study of definitive radiotherapy with high-dose rate intracavitary brachytherapy in patients with non-bulky (<4 cm) stage I,II uterine cervical cancer (JAROG0401/JROSG04-2). *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2011 Apr. [Epub ahead of print].
- 18) Tomita T., Toita T., Kodaira T., Uno T., Numasaki H., Teshima T., et al. Changing trend in

- the patterns of pretreatment diagnostic assessment for patients with cervical cancer in Japan. *Gynecologic Oncology* 2011 Sep. [Epub ahead of print].
- 19) Ogata T., Teshima T., et al. Carbon ion irradiation suppresses metastatic potential of human non-small cell lung cancer A549 cells through the phosphatidylinositol-3-kinase/Akt signaling pathway. *J. Radiation Research* 2011 Feb. 19. [Epub ahead of print].
 - 20) Yogo A., Teshima T., Measurement of DNA double-strand break yield in human cancer cells by high-current, short-duration bunches of laser-accelerated protons. *Jpn. J. Appl. Phys.* 2011; 50:106401(1-7).
 - 21) Yoshioka M., Teshima T., et al. Examination of fundamental characteristics of a polymer gel detection in a proton beam irradiation. *Radiation Measurements.* 2011; 46(1): 64-71.
 - 22) Numasaki H., Koizumi M., Ando Y., Tsukamoto N., Terahara A., Nakamura K., Teshima T., et al. Japanese structure survey of radiation oncology in 2007 with special reference to designated cancer care hospitals. *Strahlenther. Onkol.*, 2011; 187(3): 167-74.
 - 23) Ogawa K., Nakamura K., Sasaki T., Onishi H., Koizumi M., Araya M., Mukumoto N., Teshima T., Mitsumori M.: Radical external beam radiotherapy for clinically localized prostate cancer in Japan: Changing trends in the Patterns of Care process survey. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2012; 81(5): 1310-1318.
 - 24) Numasaki H., Koizumi M., Ando Y., Tsukamoto N., Terahara A., Nakamura K., Teshima T., et al. and Japanese Society for Therapeutic Radiology and Oncology Database Committee. National Medical Care System may impede fostering of true specialization of radiation oncologists: Study based on structure survey in Japan. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2012; 82(1): e111-e117.

平成 23 年度厚生労働科学研究費補助金（がん臨床研究事業）

【総合・分担研究報告書】

炭素イオン放射線治療の費用対効果に関する研究

分担研究者 中野隆史（群馬大学大学院医学系研究科 腫瘍放射線学分野）

研究協力者 大野達也（群馬大学重粒子線医学センター）

研究要旨：本研究のもとで、直腸癌再発に対する炭素イオン放射線治療の費用対効果について研究し、診断、再発治療、経過観察、患者移動、補完療法、合併症、入院に関して個々の患者 25 名について検討。患者は、直腸の腺癌の原発部の再発に対して根治的手術のみを行い摘出不能の骨盤再発を起こしている。治療は炭素線治療あるいは、3次元原体照射＋化学療法＋温熱療法の比較を行った。2年生存率は、炭素線で 85%、化学放射線治療で 55%であった。平均的な費用は、炭素線治療で約 480 万円、従来治療法で約 461 万円であった。炭素線の incremental cost-effectiveness ratio (ICER) を調べると、1%の生存率増加を期待するのに 6428 円の増加であった。必要入院期間は炭素線で 37 日、化学放射線治療で 66 日であった。炭素線治療は、費用対効果の優れた治療方法であると結論された。

ランダム化比較試験をモデルとした分子標的薬の費用対効果を解析した。2年時の生存率 1%の向上に必要となる費用は、Pemetrexed 481,298 円、Imatinib 367,741 円、Bevacizumab 416,972 円、Rituximab 214,768 円であり、炭素線治療の 6,428 円に比べると、33-75 倍の費用となっていた。分子標的薬の治療後 2 年間の費用対効果は 21-48 万円代に分布し炭素線治療に比べて、およそ 33-75 倍の費用となっていた。

本年度は群馬大学でこれまでに約 300 名の重粒子線治療癌患者実際に治療された。患者の費用は重粒子線治療の先進医療費として 314 万円別途付加されたが、実際に患者が負担した治療費は、肺癌で約 324 万円、肝臓癌で約 322 万円、仙骨腫瘍で約 325 万円と、ほぼ 320 万円から 330 万円程度で、臓器別にも大きな相違は見られなかった。

研究発表

1. Mobaraki A, Ohno T, Yamada S, Sakurai H, Nakano T. Cost-effectiveness of carbon ion radiation therapy for locally recurrent rectal cancer. Cancer Sci. 2010.
2. Ohno T, Nakano T. Carbon ion radiotherapy project at Gunma University PTCOG49 proceeding 2010
3. Ohno T, Nakano T. Cost effectiveness of carbon ion radiotherapy. NIRS International Symposium on Heavy Ion Radiotherapy and Advanced Technology 2011

文献

- 1) N Engl J Med 2006;355:2542-50.
- 2) Lancet 2009;374:1432-40.
- 3) N Engl J Med 2003;348:994-1004.
- 4) N Engl J Med 2004;350:2335-42.
- 5) Blood. 2005;106:3725-3732

厚生労働科学研究費補助金（がん臨床研究事業）
分担研究報告書

粒子線治療の臨床評価に関する研究
（小動物用の陽子線照射システム開発、
ならびに施設移動にともなう臨床治療の継続性担保についての考察）

分担研究者 （財）若狭湾エネルギー研究センター

研究開発部粒子線医療研究グループ

室長 山本 和高

研究要旨 粒子線治療をより有効的に普及促進させる手法の一つとして、粒子線とレーザー光線併用の治療・診断法の確立を目指し、レーザー・陽子線併用実験場を構築した。その結果、細胞種によってはこの併用療法が効果的であることを確認した。これと並行し、既存治療施設から新規施設への臨床機能の円滑な移動方法についても検証した

A. 研究目的

粒子線治療は、イオンビームの特徴的な線量分布を活かすことにより、患者に対して患者の QOL を維持できる低侵襲性を確保したがん治療法として、近年、特に評価が高まりつつある。若狭湾エネルギー研究センター(WERC)においても、陽子線がん治療研究装置(PT)を整備し、平成 14 年度に臨床試験を開始して以来、平成 21 年度まで陽子線がん治療臨床研究を継続して実施し、良好な成績を得た。

粒子線治療のさらなる有効性・汎用性を追究するため、本研究においては集学療法としてレーザー光線力学診断治療法の併用方法を開発した。並行して既存治療施設から新施設への臨床機能の円滑な移動方法についても検証した。

これらの研究により、次世代の普及型陽子線治療施設立ち上げ時には、他の治療法同時併用も視野に入れた総合的な計画を立てることも可能になる。またその新施設を

円滑に立ち上げる方法を実践しておくことで、より効率的な治療実施も可能となる。このことにより、粒子線がん治療の臨床評価がより高度に実施可能となる。

B. 粒子線とレーザー光線併用の治療・診断法に関する研究
B-1. 研究方法

実験装置として、WERC の高エネルギー生物照射装置(HE)を使用した。陽子線のビームエネルギーは 200 MeV とした。小動物専用の照射野としてビーム断面方向に 100 mm x 15 mm の一様な線量分布範囲を得ることができるよう、ビーム加工条件を開発した。また小動物への的確な線量付与を可能とするために、高周波出射方式に対する線量制御システムへのフィードバック方式を改良した。ビーム強度は陽子線で 3 nA 程度となった。開発した照射野を使用すると線量率は毎分 3 Gy に相当することが明らかとなった。

被照射体として、前立腺由来のがん細胞三種類(PC3, DU145, LNCaP)を移植した

ヌードマウス合計 45 匹を使用した。これを更に、陽子線照射のみの群と陽子線照射とレーザー光線照射を併用する群とに分類した。ただしいずれの場合にも陽子線は 5 Gy (X 線換算) した。照射 30 日後の腫瘍体積を計測し、この体積により効果を判定するものとした。

B-2. 研究結果

がん細胞の種類により、結果に差異を生じた。DU145 と LNCaP については、陽子線とレーザー併用の場合に陽子線単独と比べて明らかに腫瘍体積縮小速度が早い、あるいは腫瘍が消失した。一方、PC3 については、陽子線とレーザー併用の場合と陽子線単独の場合とで明確な差が見られなかった。

B-3. 考察

今回の結果により、細胞の種類によって、陽子線単独の場合と陽子線とレーザー併用の場合とで、感受性の違う可能性があることを見出した。今後、陽子線とレーザーを同時照射可能な場を構築し、より広範に研究を進めて行く。

C. 既存施設から新施設への臨床機能の円滑な移転方法についての考察

C-1. 臨床機能の円滑な移転に関する考察

既存施設 (WERC) から新施設 (福井県立病院陽子線がん治療センター、FPC) への臨床機能移転準備のため、FPC の基本設計

時から WERC から医師と研究心が福井県に併任採用され、福井県庁職員とともに実施設計等に携わった。その後、FPC 固有の職員 (医師と医学物理) を採用し、医学物理職員については WERC において研修を実施した。福井県に併任採用された医師は FPC に異動した。

FPC では平成 23 年 3 月から治療を開始し、主に肺、肝、前立腺、頭頸部を治療対象部位として臨床照射を実施している。これらは WERC において臨床研究を実施したか、あるいは臨床研究プロトコルを策定した部位である。平成 24 年 1 月現在で受け入れ患者数は 90 例を越えており、開設された平成 23 年 3 月からの 1 年間の目標受け入れ人数 (110 名) に達する勢いである。

これらの事実により、既存施設から新施設への臨床機能の移転は円滑に行われたと判断してよいものと考えられる。

C-2. 臨床機能移転に際する線量計測比較手段の構築

陽子線治療装置の製造メーカーは WERC と FPC では異なっており (WERC は日立製作所、FPC は三菱電機)、その線量計測法の継続性担保が両施設間での臨床機能移転時の問題となる。

そこで可搬式飛程調整システムを構築するものとした。この可搬式飛程調整システムは飛程調整体 (FD) と電磁弁 (V)、遠隔制御用コンピュータ (PC) 等で構成される。

今後、動作確認等を実施し、二施設間における線量測定結果の検討を進めていく予定である。また粒子線治療を提供している他の施設においても測定が可能であり、今後の粒子線治療標準化に資する開発であるものと期待できる。

C-3. 既存施設での遮へい計算検討を踏まえた、新施設建設遮へい設計の適正化に関する研究

粒子線治療施設の遮へい設計では、安全性・確実性の観点から、過去に使用された実績のある計算手法を採用する場合がある。実際に、FPCの遮へい設計では、WERCにおいて使用実績のある計算手法を採用した。

一方で、近年の計算機性能の向上により、より確度の高い計算手法の利用が可能になっている。この手法を使用することで遮へい設計の適正化が期待されるが、安全性・確実性の観点から旧来手法との整合性を把握しておくことが必要となる。

そこでWERCの施設の遮へい計算について、確度の高い計算手法を用いて再評価を行い、旧来手法との比較を行った。

旧来手法として、HILO86R断面積データと多群放射線輸送計算コードANISNを使用した。この手法は、WERCで使用された遮へい計算手法とほぼ同等である。より確度の高い手法として、JENDL-HE断面積データとモンテカルロ輸送計算コードMCNPXを使用した。

両者の計算結果を比較すると、特に補

助遮へい体に鉄を使用している箇所において差異が見られた。これは、ANISNコードではエネルギー領域ごとに平均化した断面積データを使用しているのに対して、MCNPXコードでは連続エネルギーの断面積データを使用していることに起因していると考えられる。

今後、両手法による遮へい計算結果の差異について詳細な検討を行っていく予定である。

E. 結論

小動物に適用可能な照射野を開発し、陽子線とレーザ併用照射の効果を確認可能なものとした。これにより、細胞の種類によって、陽子線単独の場合と陽子線とレーザ併用の場合とで、感受性の違う可能性があることを見出した。今後、陽子線とレーザを同時照射可能な場を構築し、より広範に研究を進めて行く。

既存施設から新施設への円滑な臨床機能の移転方法について考察した。新施設建設計画立案時から両施設間において人的交流を十分に図り、また異動や研修を充分に行うことによって円滑な臨床機能の移転をなし得たことが判明した。

この二施設間の線量計測比較手段について検討した。可搬式飛程調整システムを構築することにより、両施設間において線量計測を比較可能で、臨床結果の継続性を担保しうることを明らかにした。

新施設建設遮へい設計の適正化について検討した。既存の粒子線治療施設の遮

へい計算の再評価により、より確度の高い遮へい計算手法に関する知見を得た。

(予定を含む。)

1. 特許取得
特許出願を予定

G. 研究発表

1) 山本和高、日本海側初の陽子線がん治療を開始 一福井県立病院陽子線がん治療センター、原子力 eye 57(7):7-8, 2011

2. 実用新案登録
なし

2) 山本和高、公立病院での陽子線治療と採算性 陽子線がん治療センターオープン半年強を踏まえて、新医療 2011年12月号 (11月20日発刊予定)

3. その他
なし

3) Kume K., Takata T., Hasegawa T., Takemoto Y., Kube and T., Sakamoto Y., "Improvements in fabrication process of the patient bolus for prostate cancer used at particle therapy", Jpn.J.Med.Phys., Vol.31 Supple. No.4(2011) 101

4) 高田卓志,桜井良憲,久米恭,田中浩基,土田秀次,ESR線量計の粒子種およびLET依存性のモデル計算,医学物理 31 卷 Sup.1(2011)184

5) 久米恭,高田卓志,長谷川崇、久保拓也、坂本靖、高田卓志、武本泰夫、粒子線治療ブロードビーム照射用のボラス加工技術高度化、医学物理31卷 Sup.1(2011)227

H. 知的財産権の出願・登録状況

3年間の研究成果全般についての最終報告書

研究課題：粒子線治療の有効性、適応、費用対効果に関する総合的研究

課題番号：H21 - がん臨床 - 一般 - 008

研究分担者：兵庫県立粒子線医療センター院長 村上昌雄

A) 研究目的

粒子線治療の臨床評価を行い、粒子線治療の有効性・適応・有害事象を明確にすること。

B) 研究方法

兵庫県立粒子線医療センターは2001年に開院して以来、頭頸部腫瘍、肺癌、肝癌、前立腺癌、骨軟部腫瘍を中心として4500名以上の治療実績がある。各疾患ごとにレトロスペクティブに治療成績を検討した。

C) 研究成果

(1) 「大腸癌肝転移に対する粒子線治療」を班会議(2010年6月18日)において発表した。

【目的】

兵庫県立粒子線医療センターでは2003年より転移性肝腫瘍に対して粒子線治療を行ってきた。主に陽子線、炭素イオン線を使用しているが、今回は原発巣を大腸癌にのみ限定し、線量増加試験を含めた照射例すべてについて、その治療効果の遡及的な解析を行った。

【方法】

対象は2003年5月から2009年12月に粒子線治療を行った大腸癌肝転移症例41例53部位。原発巣は結腸35、直腸18部位。腫瘍最大径8~125mm(中央値37mm)。治療線種は陽子線26部位、炭素イオン線27部位であった。照射方法はCTおよびMRIで同定できる腫瘍をGTVとし、CTVはGTVに5mmのmarginを付加、PTVは5mmのsetup marginと呼吸同期marginを付加した。線量増加試験は56GyE/8frより開始し、再発例を確認した場合に4GyEずつ線量増加を行い、現在72GyE/8frで治療を行っている。その他、消化管近接例に対しては線量増加試験外のプロトコールとして76GyE/20frや80GyE/20frを使用した。

【結果】

全体(53部位)の1年・2年局所制御率は61%、30%。1年・2年全生存率は93%、59%であった。腫瘍最大径 ≤ 3 cm、 > 3 cmの2年局所制御率は84%、49%($P=0.003$)、2年生存率は76.2%、50%($P=0.01$)と有意差を認めた。腫瘍最大径別においてそれぞれ線種別(陽子線・炭素イオン線)の局所制御・全生存について検討を行ったが有意差は認めなかつ

た。その他、CEA の ≤ 27 、 > 27 では局所制御・全生存において有意差を認めた。線量増加試験における局所制御率は 68GyE/8fr のプロトコル以上にて改善する傾向が認められたが統計学的有意差は認めなかった。局所制御・全生存に対する多変量解析の結果、いずれも腫瘍最大径のみが有意変数として示された。有害事象については grade3 以下の皮膚炎が 15%、肝機能障害が 11%に見られ、許容範囲内であった。

【結論】

大腸癌肝転移に対する粒子線治療は 30mm 以下の腫瘍であれば比較的良好な局所制御を得ることができるが、大きな腫瘍に対しては満足できる結果は得られていない。現在 72GyE/8fr での治療を行っているが、今後は CTV margin の増加試験も併せて行く予定である。

(2) 「HIBMC における粒子線治療後の晩期皮膚障害」を班会議 (2010 年 10 月 16 日) において発表した。

【目的】粒子線治療後の晩期皮膚障害の頻度をレトロスペクティブに把握し、皮膚障害に関連する諸因子について検討する。

【方法】

2001 年 5 月～2008 年 8 月に当センターで粒子線治療を受け 1 年以上追跡可能でプロトコル外治療例、前立腺癌症例を除外した、844 例、照射部位 957 か所を検討対象とした。照射部位をもとにした症例の背景は、男性が 603 名、女性 354 名、照射治療開始時の年齢は 12～91 歳で、肝腫瘍 270 例 306 部位、頭頸部腫瘍 257 例 277 部位、肺腫瘍 189 例 204 部位、骨軟部腫瘍 83 例 94 部位であった。粒子線治療には 150 - 230MeV 陽子線、320MeV 炭素イオン線を使用し、静的ビームモジュレーション法を用いた。経過観察時には通常の外来診察に加えて、患者宅に簡易カメラを郵送し照射部皮膚の撮影を行った。晩期障害は RTOG/EORTC の定義を採用し、統計処理は statview(ver 5.0) を使用し、症例の解析には χ^2 乗検定、t 検定、晩期障害の危険因子解析に対して、ロジスティック回帰分析尤度比検定を行った。観察期間は全体で 370～2945 日 (中央値 956) であった。

【結果】

晩期皮膚有害事象の発生頻度は Grade3 が 14 領域 : 1.5%、Grade4 が 32 領域 : 3.3% であった。線種別では、陽子線で Grade3 が 9 領域 : 0.6%、Grade4 が 12 領域 : 0.8%、炭素イオン線では Grade3 が 5 領域 : 1.7%、Grade4 が 20 領域 : 7.0%と、重篤な有害事象の発生率は炭素イオン線の方が高かった。

Grade3、4 発生率の因子別比較では骨軟部腫瘍におおく発症し、皮膚最大線量%が Grade3 は 60%以上、Grade 4 は 80%以上でみられた。四肢、臀部、腰部に高頻度でみられたが、頭頸部、骨盤部(前・側)では非常に発生頻度が低かった。また 1 門の症例で高率にみられた。

一門照射野無変更症例（108 症例、120 部位）での因子解析では、いずれの線種でも皮膚 BED3 線量と面積が Grade 3, 4 発症に相関していた。多変量解析においては皮膚 BED3 線量と面積が有意な発症因子であり、線種は無関係であった。

【結論】

荷電粒子線治療においては皮膚線量、面積に注意が必要で、最大皮膚線量を処方線量の 80%未満に押させれば Grade 4 は発症しない。

(3) 「限局型前立腺癌の陽子線治療成績」を班会議（2011 年 10 月 14 日）において発表した。

【目的】

2003/4-06/3 に治療した cT1-3N0M0 前立腺がん 476 名に対する陽子線治療成績について検討した。

【方法】HIBMC 独自のリスク分類は A 群:T1-T2a, PSA<20, 前立腺生検陽性率 (PPPB)<50%、GS<8、B 群:T2b-T3 又は $20 \leq \text{PSA} < 50$ 又は PPPB $\geq 50\%$ 又は GS8 以上、C 群 PSA>50 または T4 と定めた。A 群は PRT74GyE/37Fr 単独、B 群は 6 か月の照射前 MAB、C 群は照射後 1 年以上の MAB を原則とした。なお、MSKCC リスク分類でも予後を評価した。

【成績】観察可能期間は 63-99 か月（中央値 82）で全例の 5 年、8 年 PSA 制御率は 88.8%、81.4%であった。A 群（280 例）：B 群（165 例）：C 群（31 例）の 5 年、8 年 PSA 制御率はそれぞれ 93.0%、86.8%：85.2%、77.0%：70.0%、-%であり、MSKCC 低リスク群（106 例）：中リスク（171 例）：高リスク（191 例）はそれぞれ 99.0%、94.0%：90.7%、82.8%：81.2%、73.2%と良好で、有害事象も G2 の GI4.4%、GU2.7%と許容範囲内であった。

【結論】限局性前立腺癌に対する陽子線治療は有効な治療法であり、手術に取って代わる治療法といえる。

D) 考察

当センターの粒子線治療成績をレトロスペクティブに検討し、局所制御に優れた粒子線治療の成果を、大腸癌肝転移例および前立腺癌において確認した。

早期の前立腺癌においては、粒子線治療を用いることで、有害事象は十分許容できる範囲内で、切らずに治す癌治療が実現できていることを、観察期間の中央値 82 ヶ月という長期フォローアップのデータから示すことができた。

原発性肝癌では 66GyE/10Fr の陽子線又は炭素イオン線治療において、3cm 未満なら 98%、3-5cm では 90%、5cm 以上でも 80%以上の局所制御率を期待できる。しかし、大腸癌肝転移巣の場合は、原発性肝癌より高線量を投与したにも拘わらず、腫瘍径が 3cm 未満では 84%、3cm を超えると 49%と極端に局所制御率が悪くなっていた。このことから、大腸癌肝転移は、非常に難治性の疾患である事がわかった。現在も線量増加中であるが、

切除標本の検討結果から、腫瘍のCTV マージンを5mm から10mm に変化させるトライアルも続行中である。

一方、荷電粒子線治療はX線と異なりビルドアップ効果が無いため、大きな腫瘍や潜在性の腫瘍では皮膚障害に注意を払う必要がある。特に、ブロードビーム法を使用する場合には注意が必要である。本研究にて重篤な皮膚障害を発生させない、安全な治療計画を行う指針を提案することができた。今後、新たな治療プロトコルの作成、新規粒子線治療施設に対する情報提供、プロスペクティブな第2相、3相試験の立案、安全かつ確実な粒子線治療の確立に際し、今回のデータは貴重な資料となると考えている。

E) 結論

粒子線治療は前立腺癌、大腸癌肝転移に有効性を認め、粒子線治療の良い適応疾患になると考えられる。重篤な晩期皮膚障害を発生させない治療計画上の指針を提案できた。

F) 研究発表（10編程度）

1. Murakami M, Demizu Y, Niwa Y, Miyawaki D, Terashima K, Arimura T, Mima M, Nagayama S, Maeda T, Baba M, Akagi T, Hishikawa Y, Abe M: Current status of the HIBMC and results of representative diseases. Bulanov SV, Daido H, AIP Conference 1153: 400-415, 2009.
2. Demizu Y, Murakami M, Miyawaki D, Niwa Y, Akagi T, Sasaki R, Terashima K, Suga D, Kamae I, Hishikawa Y: Analysis of vision loss caused by radiation-induced optic neuropathy after particle therapy for head-and-neck and skull-base tumors adjacent to optic nerves. Int J RadiatOncolBiolPhys 75: 1487-1492, 2009.
3. Miyawaki D, Murakami M, Demizu Y, Sasaki R, Niwa Y, Terashima K, Nishimura H, Hishikawa Y, Sugimura K: Brain injury after proton therapy or carbon ion therapy for head and neck cancers and skull base tumors. Int J RadiatOncolBiolPhys 75: 378-384, 2009.
4. Ito A, Kai Y, Goto M, Takeo N, Okamoto O, Kato A, Shimizu F, Katagiri K, Fujiwara S, Miura T, Watanabe K, Murakami M: Successful treatment of single lymph node metastasis of melanoma with carbon ion radiotherapy and chemotherapy. Journal of Dermatology 36: 430-432, 2009.
5. Shimizu M, Sasaki R, Miyawaki D, Nishimura H, Demizu Y, Akagi T, Suga D, Sakamoto H, Murakami M, Sugimura K, Hishikawa Y: Physiologic reactions after proton beam therapy in patients with prostate cancer: significance of urinary autoactivation. Int J RadiatOncolBiolPhys 75: 580-586, 2009.
6. Fukumoto T, Komatsu S, Hori Y, Murakami M, Hishikawa Y, KU Y: Particle beam radiotherapy with a surgical spacer placement for advanced abdominal leiomyosarcoma results in a significant clinical benefit. Journal of Surgical Oncology 101: 97-99, 2010.

7. Komatsu S, Hori Y, Fukumoto T, Murakami M, Hishikawa Y, Ku Y: Surgical spacer placement and proton radiotherapy for unresectable hepatocellular carcinoma. *World Journal of Gastroenterology* 16: 1800-1803, 2010.
8. Iwata H, Murakami M, Demizu Y, Miyawaki D, Terashima K, Niwa Y, Mima M, Akagai T, Hishikawa Y, Shibamoto Y: High-dose proton therapy and carbon-ion therapy for stage I nonsmall cell lung cancer. *Cancer* 116: 2476-2485, 2010.
9. Komatsu S, Fukumoto T, Demizu Y, Miyawaki D, Terashima K, Niwa Y, Mima M, Fujii O, Sasaki R, Yamada I, Hori Y, Hishikawa Y, Abe M, Ku Y, Murakami M: The effectiveness of particle radiotherapy for hepatocellular carcinoma accompanied with inferior vena cava tumor thrombus. *Journal of Gastroenterology* 46: 913-920, 2011.
10. Komatsu S, Murakami M, Fukumoto T, Hori Y, Hishikawa Y, Ku Y: Risk factors for survival and local recurrence after particle radiotherapy for single small hepatocellular carcinoma. *Br J Surg* 98: 558-564, 2011.
11. Komatsu S, Fukumoto T, Demizu Y, Miyawaki D, Terashima K, Sasaki R, Hori Y, Hishikawa Y, Ku Y, Murakami M: Clinical results and risk factors of proton and carbon ion therapy for hepatocellular carcinoma. *Cancer* 117: 4890-4904, 2011.

平成23年度 厚生労働科学研究費補助金（がん臨床研究事業）

「粒子線治療の有効性、適応、費用対効果に関する総合的研究」

分担研究報告書（総合研究報告書）

分担研究課題：粒子線治療の臨床評価に関する研究

分担研究者：村山 重行

A) 研究目的

粒子線治療のひとつである陽子線治療は、荷電粒子線の物理特性を利用して治療計画上の線量集中性を最適化できる。これが臨床的に評価可能な局所腫瘍制御率の向上や有害事象の低減に寄与できるか否かを明らかにする。

限局型前立腺癌およびI期非小細胞肺癌を対象として陽子線治療の有効性と安全性を検討し、これら疾患に対して陽子線治療が担うべき役割を探索する。

B) 研究方法

当院の普及型陽子線治療システムを使用した陽子線治療を限局型前立腺癌およびI期非小細胞肺癌に適用した臨床例の観察を中心に遡及的検討を行う。また多施設共同として主に第II相臨床試験プロトコールに則った試験治療を実施する。

C) 研究成果

(1) I期非小細胞肺癌に対する陽子線治療例の検討

2003年11月から2007年4月までの間に治療を開始し、総線量80GyE/20frの陽子線治療を施行した末梢型原発性I期非小細胞肺癌24例について、2010年9月時点での治療成績を検討した。

症例の内訳は、男女比は21:3、年齢は56-87才（median 75才）、病期（2002年UICC 6th ed.）はIA期6例、IB期16例、術後再発2例（T1、T2相当が各1例）、病理組織型は腺癌14例、扁平上皮癌9例、大細胞癌1例であった。手術適応については「手術適応あり」が8例、「手術適応なし」が16例であった。観察期間は3-74ヵ月（median 40ヵ月）であった。

陽子線治療は全例同じ線量配分80GyE/20回/約4週（27-34日（median 28日））で実施され、照射方法では呼吸同期照射法（呼吸時にビーム射出）を使用した。治療計画におけるCTV値は12~182 ml（平均値78.5 ml）、患側肺に対するV20値（20GyE以上の線量を受ける体積割合）は8-32%（中央値16%）で、治療期間中の計画変更は7例に対して1回の変更が実施された。その他の照射パラメータ（門毎の線量配分・照射角度など）は、腫瘍の占拠部位、胸壁厚などに応じて個別化して設定された。観察期間中の局所再発は1例（T2症例）、リンパ節・遠隔転移は6例に認めた。全例の2年粗生存率、無増悪生存率、局所制御率はそれぞれ、91%、79%、90%で、5年ではそれぞれ57%、66%、90%であった。

(2) 高リスク前立腺がんに対する陽子線治療成績の検討

荷電粒子線の物理特性を利用した前立腺癌に対する陽子線治療においては、線量集中性の最適化による抗腫瘍効果の増強と有害事象の軽減が期待される。高リスク群限局型前立腺癌への内分泌治療を併用した陽子線治療についての検討を行った。

当院の普及型陽子線治療システムを使用して陽子線を施行された高リスク群限局型前立腺癌症例について遡及的に検討した。2003年7月から2010年10月までに当院で陽子線治療を開始した前立腺癌386例のうち112例が高リスク群症例であった。このうち陽子線治療開始から5年以上経過した45例（観察期間中央値：