

〈原著論文〉

## 前立腺癌に対する高線量率組織内照射における アプリケーション刺入本数に関する検討

神谷 伸彦, 余田 栄作, 釋舎 竜司, 河田 裕二郎, 林 貴史, 平塚 純一

川崎医科大学放射線腫瘍学

**抄録** 前立腺癌に対する高線量率組織内照射において、アプリケーション針の刺入本数や刺入位置は線量分布に大きく影響する。刺入方法は各施設の経験やポリシー、使用装置に依存する部分があり、最適な刺入法として確立された普遍的な方法はない。今回我々はアプリケーション針の刺入本数と線量体積因子の関連を解析し、最適な刺入本数を検討した。対象は2010年6月1日から2012年10月31日の間に同治療を受けた初発前立腺癌135例。治療計画には Oncentra<sup>®</sup> を用いた。治療前エコーによる前立腺体積、治療計画 CT により算出された線量体積因子 (PTV の Dmin%, D90%, dose non-uniformity ratio : DNR, homogeneity index : HI, conformity index : CI, 尿道最大線量, 直腸最大線量), 治療時期 (一次解析として前期: ~2011年1月, 中期: 2011年2月~9月, 後期: 2011年10月~2012年5月, さらに追加解析として直近: 2012年6月~), アプリケーション針刺入本数について、相互の関連を JMP 14, Student の t 検定を用いて検討した。一次解析の結果、刺入本数は前立腺体積と相関せず、刺入本数が多い群は少ない群に比べ尿道最大線量が有意に低かった。他の線量体積因子では有意差はないものの、刺入本数が多い群で PTV の Dmin% は高値, D90% は高値, DNR は低値, HI は高値, CI は高値と、本数が多いほど良好な線量分布であることを示していた。なお、治療時期が後期の症例で刺入本数が有意に増加していた。これらの結果が判明した後に治療された直近16例においては、さらに刺入本数が増加し、線量体積因子の改善が認められていた。今回の検討から、アプリケーション針の刺入本数が多いほど線量分布が改善し、とくに16-17本の刺入により良好な線量分布が得られることが示された。

doi:10.11482/KMJ-J201945131 (令和元年10月9日受理)

キーワード: 前立腺癌, 高線量率組織内照射, アプリケーション, 線量体積因子

### 緒言

組織内照射は単独あるいは外照射と併用して、前立腺癌の治療に広く用いられており、当院においては1997年10月から高線量率組織内照射 (high-dose-rate brachytherapy; HDR-BT) と外照射の併用を開始し、良好な治療成績を残している<sup>1, 2)</sup>。

HDR-BT は、アプリケーション針を刺入し適切な配置を確認した後に線源を挿入して照射する遠隔操作式後装填法 (remote afterloading system; RALS) を用いて行われ、線源の停留位置をコンピューターで最適化することによって意図通りの線量分布を生み出せることが特徴の一つである。RALS 普及前の組織内照射は線源

別刷請求先  
神谷 伸彦  
〒701-0192 倉敷市松島577  
川崎医科大学放射線腫瘍学

電話: 086 (462) 1111  
ファックス: 086 (462) 1199  
Eメール: kamiyang@med.kawasaki-m.ac.jp

を直接刺入して行われていたため、刺入後の線源位置調整はできず、刺入位置により線量分布が自ずと決まるものであった。RALSが利用可能となった現在においても、アプリケーター針の刺入方法はRALS導入前の経験を基本とし、よりよい線源配置を施設ごとに創意工夫しているのが実情である。

当院ではHDR-BT導入当初はX線シミュレーターによる治療計画を行っていたが、2007年11月からCTシミュレーターが利用可能となり、線量分布や線量体積因子の詳細な評価が可能となった。そこで本研究では、当院においてCTシミュレーターを用いて前立腺癌に対するHDR-BTを施行した症例を対象とし、アプリケーター刺入本数が線量分布に及ぼす影響について後方視的に解析し、最適な刺入本数について検討する。

## 対象

2010年6月1日から2012年10月31日に当院でHDR-BTを施行した初発の前立腺癌135例を対象とした。対象の選択基準は、上記期間において限局性前立腺癌に対する根治的治療としてHDR-BTと外照射の併用治療が行われた全例とした。年齢51-83歳（中央値68歳）、T1:T2:T3:T4=16:84:32:3で、全例N0M0であった。なお135例のうち2012年5月31日までの119例について一次解析を行った後に、その解析結果を確認する目的で2012年6月1日以降に16例を追加で解析した。

## 方法

### 組織内照射

組織内照射には金属アプリケーター針を用い、5mm間隔で刺入孔が配置されたテンプレートを用いて経直腸エコーガイドで経会陰的に刺入した。原則として前立腺の辺縁を縁取るように、さらに内部が均一に刺入されるように、アプリケーター針を配置した。テンプレートを用いることでアプリケーター針の間隔を一定とし、また頭尾方向に平行に刺入することが容

易となる。この際、尿道や直腸の近傍には刺入しないよう注意しながら、できるだけ刺入間隔が密になるよう留意した。前立腺全体をカバーできる本数を刺入した後にCT撮影を行い、Oncentra<sup>®</sup>を用いて放射線治療計画を作成し、Microselectron HDR<sup>®</sup>を用いて照射を行った。

放射線治療計画においては、前立腺全体をターゲット（planning target volume; PTV）とし、PTV表面を線量処方点とした。PTV内部の線量均一性を図るためOncentra<sup>®</sup>のvolume optimization機能を用い、さらに尿道と直腸に過線量が投与されないよう graphical optimizationにより線源停留時間をマニュアルで調整した後に照射を行った。処方線量は高リスク群10Gy/回、中・低リスク群9Gy/回とし、尿道と直腸の最大線量はそれぞれ処方線量の120%以下、60%以下を目標とした。

### アプリケーター針の本数と関連する放射線治療因子の解析

アプリケーター針刺入本数、前立腺体積、線量体積因子、治療時期について、以下のとおり検討を行った。

まず治療前に経腹エコーで測定した前立腺体積を「20mL未満」「20mL以上25mL未満」「25mL以上」の3群に分けて、アプリケーター針刺入本数との関連を検討した。

次にアプリケーター針刺入本数を「少：9-13本」「中：14-15本」「多：16-18本」の3群に分け、放射線治療の線量体積因子との相関を検討した。検討した因子は、PTVのDmin%（PTVの最低線量/処方線量）、PTVのD90%（PTVの90%がカバーされる線量/処方線量）、dose non-uniformity ratio（DNR）、homogeneity index（HI）、conformity index（CI）、尿道最大線量、直腸最大線量であり、これらをOncentra<sup>®</sup>を用いて算出した。なお、DNRはV150/V100で算出され、値が小さいほど高線量域の少ない均一な線量分布であり、HIは（V100-V150）/V100で算出され、値が大きいほどPTV全体に処方線量が均一に投与されていることを示す指標で

ある。V100, V150とはPTV全体の中で処方線量の100%, 150%が照射される体積割合である。CIは処方線量が照射される体積/PTV体積で算出され、1に近いほど線量集中性が高いことを意味する。

さらに、治療内容が学習曲線の影響を受けている可能性を考慮し、治療時期を「前期: 2010年6月1日~2011年1月31日」「中期: 2011年2月1日~9月30日」「後期: 2011年10月1日~2012年5月31日」に分けて時期別の解析を行った。2012年5月31日時点で一次解析を行ったのち、その結果を受けて治療方針が見直されたため、「直近: 2012年6月31日~10月31日」についても追加解析を行った。

統計解析にはJMP® (Ver.14)を用い、各因子の関連の有無をStudentのt検定で検討した。

なお、本研究は川崎医科大学倫理委員会の承認(受付番号1177)を得て実施した。開示すべき利益相反はない。

**結果**

**一次解析結果**

アプリケーター針の刺入本数は9-18本(中央値15本)で、少: 40例, 中: 39例, 多: 40

例であった。前立腺体積は8-33mL(中央値21.8mL)で、小: 41例, 中: 32例, 大: 30例(不明16例)であった。前立腺体積別の平均刺入本数は小: 14本, 中: 15本, 大: 15本で、いずれの群間にも有意差はなかった(表1)。

刺入本数と線量体積因子の相関を表2に示す。アプリケーター針刺入本数と尿道最大線量には相関が見られ、刺入本数が多い群は少ない群よりも有意に尿道線量が低く抑えられていた。他の線量体積因子については刺入本数と有意な相関を認めなかったが、直腸最大線量を除くすべての因子はいずれもアプリケーター針刺入本数が多いほど良好な数値であり、すなわち良好な線量分布であることを示していた。

治療時期別の治療症例数は前期40例, 中期35例, 後期44例で、時期別に線量体積因子を見ると、直腸最大線量を除くすべての因子が後期において有意に良好な数値を示していた(表3)。直腸最大線量も有意差はないものの後期において良好であった。また後期においては、有意にアプリケーター針刺入本数が増加していた。なお、前立腺体積については治療時期による差はなかった。

表1 前立腺体積とアプリケーター針本数

	前立腺体積			p 値		
	小 (<20mL)	中 (20-25mL)	大 (25mL ≤)	小 vs. 中	小 vs. 大	中 vs. 大
アプリケーター針本数	14.1 ± 0.35	15.0 ± 0.37	14.9 ± 0.33	0.090	0.142	0.848

平均 ± 標準誤差, p 値は Student の t 検定による

表2 アプリケーター針刺入本数と線量体積ヒストグラム

	アプリケーター針刺入本数			p 値		
	少 (9-13)	中 (14-15)	多 (16-18)	少 vs. 中	少 vs. 多	中 vs. 多
PTV Dmin%	45.3 ± 1.95	46.2 ± 1.73	47.2 ± 1.10	0.706	0.407	0.654
PTV D90%	78.7 ± 2.23	81.1 ± 1.90	83.3 ± 1.28	0.360	0.078	0.399
DNR	0.521 ± 0.008	0.515 ± 0.009	0.506 ± 0.009	0.609	0.212	0.464
HI	0.479 ± 0.008	0.485 ± 0.009	0.494 ± 0.009	0.609	0.212	0.464
CI	0.764 ± 0.014	0.779 ± 0.011	0.791 ± 0.009	0.333	0.095	0.487
尿道最大線量	131 ± 1.25	129 ± 1.37	127 ± 1.07	0.343	0.048	0.302
直腸最大線量	59.9 ± 1.55	61.6 ± 1.38	60.8 ± 1.49	0.428	0.672	0.709

平均 ± 標準誤差, p 値は Student の t 検定による

PTV: planning target volume, Dmin%はPTVの最低線量/処方線量, D90%はPTVの90%がカバーされる線量/処方線量, DNR: dose non-uniformity ratio (DNR), HI: homogeneity index, CI: conformity index

表3 治療時期と線量体積因子

	治療時期			p 値		
	前期	中期	後期	前期 vs. 中期	前期 vs. 後期	中期 vs. 後期
PTV Dmin%	45.1±1.40	43.7±1.95	49.2±1.47	0.548	0.064	0.017
PTV D90%	78.7±1.52	78.0±2.20	85.6±1.67	0.785	0.006	0.004
DNR	0.519±0.006	0.525±0.009	0.500±0.009	0.630	0.089	0.034
HI	0.481±0.006	0.475±0.009	0.500±0.009	0.630	0.089	0.034
CI	0.761±0.010	0.763±0.013	0.805±0.011	0.873	0.004	0.009
尿道最大線量	132±0.89	130±1.41	126±1.23	0.506	<0.001	0.005
直腸最大線量	62.8±1.45	60.7±1.80	59.1±1.18	0.330	0.067	0.435
アプリーター針本数	13.9±0.28	13.5±0.40	15.6±0.28	0.367	<0.001	<0.001
前立腺体積	20.7±1.08	21.1±0.89	21.1±0.80	0.807	0.784	1.000

平均±標準誤差, p 値は Student の t 検定による

PTV : planning target volume, Dmin% は PTV の最低線量 / 処方線量, D90% は PTV の90% がカバーされる線量 / 処方線量, DNR : dose non-uniformity ratio (DNR), HI : homogeneity index, CI : conformity index

### 追加解析結果

一次解析結果を受け, それ以降の症例は「アプリーター針の刺入本数が多いほど良好な線量分布が得られる」という明確な認識のもと治療が行われた。そこで, 治療時期に「直近16例」を加え追加解析を行った結果を図1に示す。刺入本数は後期の平均16本に比べ直近では平均17本と有意に増加していた。線量体積因子に関しては, PTV の Dmin%, D90%, CI, 尿道最大線量は後期と比べて直近の症例で有意に改善していた。DNR, HI, 直腸最大線量については有意差はなかったが, やはり後期に比べて直近の方が良好な数値であった。

### 考察

組織内照射は刺入手技の習熟に一定の経験が必要で, とくに画像ガイドの手法が確立されていない時代には術者の技量が治療の成否を左右する, いわば「職人技」であった。RALS が導入されるまでは線源の刺入位置により線量分布が自ずと決まっていたため, 線源を適切に刺入することが非常に重要であり, 当時主流であったマンチェスター法やパリ法では, 適切な線量分布を得るために線源を0.5-2.0cm の等間隔で刺入することが原則とされていた<sup>3, 4)</sup>。現在は超音波やCT等の画像ガイド下の刺入が一般化し, さらにRALSを用いることにより, アプリーター刺入後に線源配置を最適化し, 線量分

布と線量体積因子の事前評価をした上で治療を実施することが可能となった。すなわち, 従来の職人技から客観的で標準化された治療になってきている。しかしRALS普及後も線源配置が重要であることに変わりはなく, 近年のガイドラインでもアプリーター針の刺入間隔は1cmを超えないよう推奨されている<sup>5)</sup>。

前立腺癌の組織内照射においては, 前立腺全体に必要な線量が投与され, 不要な高線量域を生じさせず, かつ尿道や直腸への照射線量を低く抑えることが必要である。そのためには, アプリーター針を前立腺全体に広く均等に刺入するのが理にかなっていると考えられるが, 最適な刺入間隔や刺入本数は確立されていない。我々が参考にしてきた前立腺癌に対するHDR-BTに関する初期の報告<sup>6, 7)</sup>でも, テンプレートを使用して一定間隔で刺入すると記載されているだけで詳細な規定はない。当院では, 十分に多くのアプリーター針を刺入することで線源配置の自由度を高くしておけば, 治療計画時の最適化処理でより良い線量分布を作成できるというポリシーで治療を行ってきた。とは言え, アプリーター刺入本数が十分かどうかの最終判断は術者に委ねられており, 経験的には14-16本程度で前立腺全体に均一に刺入できたという感覚が得られることが多い。また治療装置の仕様上1回の治療においてアプリーター針は18本まで使用可能であるが, 前立腺という

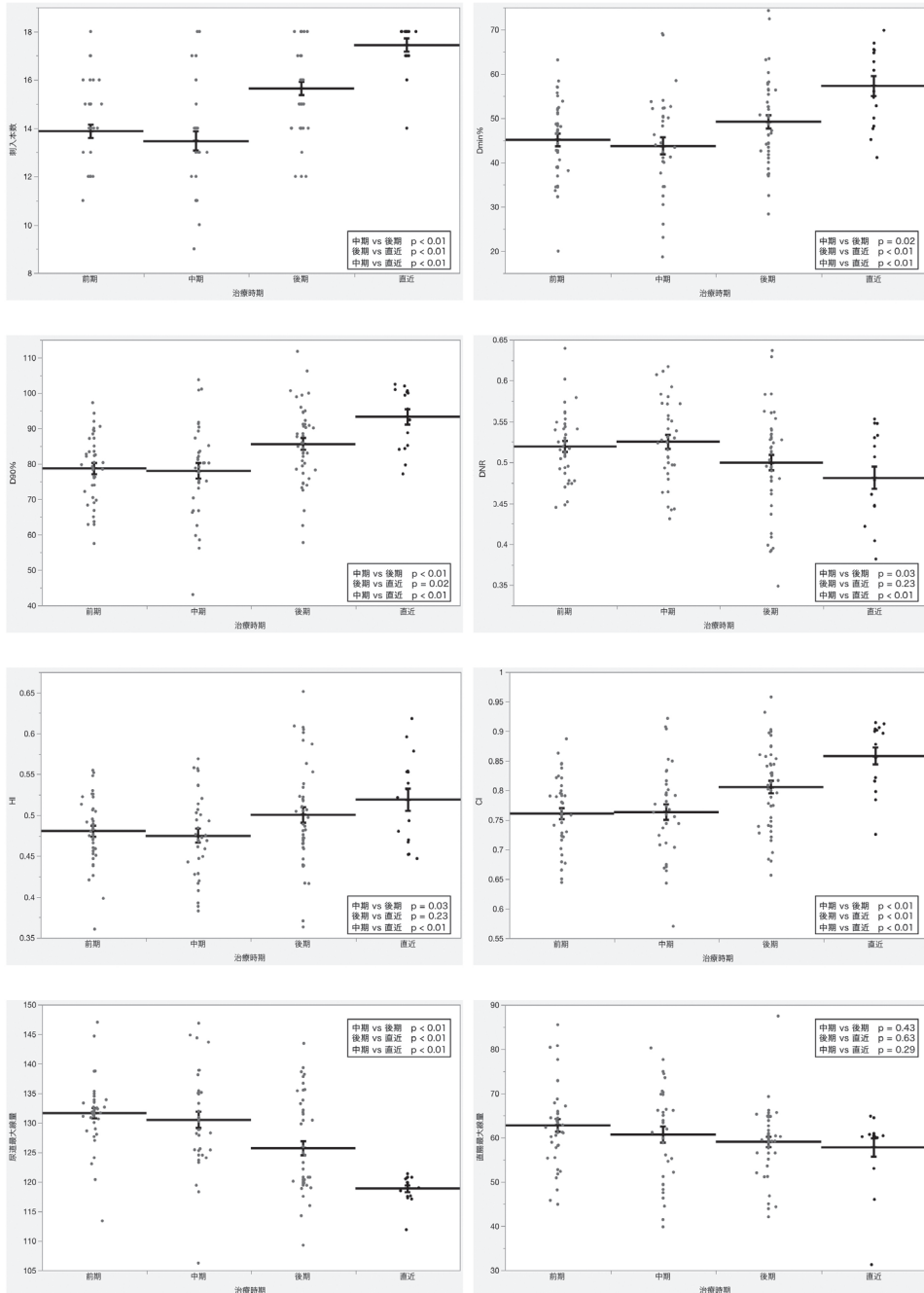


図1 治療実施時期別の線量体積因子

Dmin%: planning target volume の最低線量 / 処方線量

D90%: planning target volume の90%がカバーされる線量 / 処方線量

DNR: dose non-uniformity ratio

HI: homogeneity index

CI: conformity index



比較的小さい標的内に刺入するため、アプリケーション針の本数に上限あるいは最適値が存在する可能性もある。いずれにせよ、実際の線量分布は刺入終了後の治療計画のプロセスを経て事後評価されるため、アプリケーション刺入時点で刺入本数が十分かどうかの判断は術者の経験によるところが大きいのが実情である。

そこで今回、前立腺の最低線量、線量均一性、尿道・直腸線量などの線量体積因子が、アプリケーション針の本数によってどのような影響を受けるかを解析し、最適な刺入本数について検討した。我々の検討結果からは、刺入本数が多いほど直腸線量以外の線量体積因子は良好な値を取ることが示され、特に16本以上刺入すると尿道最大線量が有意に低減していた。これまでも刺入本数と線量体積因子の関係を検討した報告がいくつかある。Chichefらは13本以上刺入すれば線量制約を満たすことができた<sup>8)</sup>、あるいは本数が多いほど線量体積因子が良好な値を取った<sup>9)</sup>と報告している。これらの、本数が多いほど良い線量分布につながるという報告は、我々の検討結果と合致する。一方で、Charra-Brunaudら<sup>10)</sup>は刺入本数が少ないと線量体積因子が悪化するが、15本以上であれば本数による差はなかったとしており、さらに14本以上刺入すると排尿障害が増加するという報告<sup>11)</sup>や、15-17本が適切であってそれ以上に多いと尿道線量が高くなりすぎるという報告<sup>12)</sup>もあり、必ずしも一定の結論には至っていない。結論が一定しない理由として、上記報告の考察の中でも触れられているが、前立腺体積によって最適な刺入本数が変わる可能性や、線量分布の最適化が治療計画装置のソフトウェアに依存することが挙げられる。最適化に用いるアルゴリズムによっても線量分布が変化する<sup>13)</sup>ため、当院でも試行錯誤の結果現在の方法に落ち着いた経緯がある。

今回の検討で、アプリケーション針の刺入本数が多いほど線量分布が向上することが示されたが、最終的にどういうアプリケーション配置が最適かは前立腺の大きさや尿道・直腸との位置関

係も考慮して患者ごとに個別に決定する必要がある、その判断は術者に委ねられている。すなわち画像ガイドの手法が確立し治療計画ソフトウェアが進歩した現在においても、やはり組織内照射のクオリティは術者の技量や裁量に左右される部分が多いのである。そこで、学習曲線の影響を考慮して治療内容を時期別に見直したところ、予想通り後期においてアプリケーションの刺入本数が増加し、線量分布も向上していた。この一次解析結果判明後、刺入本数が多いほど線量分布が改善するという認識のもとに治療を行った直近の症例を追加解析してみると、平均刺入本数は後期の16本に対し直近では17本とさらに増加し、あわせて線量分布も向上していることが示された。アプリケーション刺入時には術者が「これで十分」と判断して刺入を終了するわけであるが、一次解析の結果を受けて、直近の症例ではさらに1本でも2本でも多く刺入しようという心理が働いたと思われ、線量分布の最適化プロセスに対する習熟と相まって、結果として直近の症例ほど治療計画内容が良好となったと考えられる。

今回の検討結果から、前立腺癌に対するHDR-BTにおいては、前立腺体積の大小にかかわらず少なくとも16本以上、さらに16本よりは17本のアプリケーションを刺入の方が良好な線量分布につながることを示された。もちろん、線量分布はアプリケーションの刺入本数だけで決まるものではなく、治療装置や治療計画ソフトウェアに対する習熟度や、前立腺の形状を考慮しながら尿道・直腸近傍を避けて刺入位置を選択していく術者の経験にも依存するため、今回の検討結果がすべての施設で一律に当てはまるとは限らない。しかし少なくとも当院においては、「治療標的内なるべく密かつ均一に線量を配置する」という感覚的に行っていた手技を、具体的に「16-17本以上を目標にアプリケーションを刺入する」という客観性のある指標で規定することができた。

当院では引き続き16-17本以上のアプリケーションを刺入する方針を継続する予定であるが、

今後も線量分布など治療内容のクオリティを定期的にチェックし, よりよい組織内照射を追求していくことが必要と考えている. また, 各施設の環境において同様の検証を行っておく必要性があることも強調しておきたい.

## 結 語

前立腺癌に対する HDR-BT におけるアプリーケーター針の至適刺入本数について検討した. 前立腺体積の大小によらず刺入本数が多いほど線量体積因子は良好な数値を示し, とくに 16-17 本以上の刺入により良好な線量分布が得られることが示された.

## 引用文献

- 1) Hiratsuka J, Jo Y, Yoshida K, Nagase N, Fujisawa M, Imajo Y: Clinical results of combined treatment conformal high-dose-rate iridium-192 brachytherapy and external beam radiotherapy using staging lymphadenectomy for localized prostate cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 59: 684-690, 2004
- 2) Jo Y, Hiratsuka J, Fujii T, Takenaka A, Fujisawa M: High-dose-rate iridium-192 afterloading therapy combined with external beam radiotherapy for T1c-T3bN0M0 prostate cancer. *Urology* 64: 556-560, 2004
- 3) HENSCHKE UK, HILARIS BS, MAHAN GD: AFTERLOADING IN INTERSTITIAL AND INTRACAVITARY RADIATION THERAPY. *Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med* 90: 386-395, 1963
- 4) Pierquin B, Dutreix A, Paine CH, Chassagne D, Marinello G, Ash D: The Paris system in interstitial radiation therapy. *Acta Radiol Oncol Radiat Phys Biol* 17: 33-48, 1978
- 5) Hoskin PJ, Colombo A, Henry A, Niehoff P, Paulsen Hellebust T, Siebert FA, Kovacs G: GEC/ESTRO recommendations on high dose rate afterloading brachytherapy for localised prostate cancer: an update. *Radiother Oncol* 107: 325-332, 2013
- 6) Stromberg J, Martinez A, Gonzalez J, *et al.*: Ultrasound-guided high dose rate conformal brachytherapy boost in prostate cancer: treatment description and preliminary results of a phase I/II clinical trial. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 33: 161-171, 1995
- 7) Prestidge BR, Butler EB, Shaw D, McComas V: Ultrasound guided placement of transperineal prostatic afterloading catheters. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 28: 263-266, 1994
- 8) Chicheł A, Kanikowski M, Skowronek J: Vital role of volume and number of needles in HDR brachytherapy (HDR-BT) of prostate cancer. *J Contemp Brachytherapy* 1: 145-150, 2009
- 9) Chicheł A, Kanikowski M, Skowronek J, Dymnicka M, Piotrowski T: Correlation between treatment plan parameters and particular prognostic factors in prostate cancer treated with high-dose-rate brachytherapy (HDR-BT) as a boost. *J Contemp Brachytherapy* 1: 11-17, 2009
- 10) Charra-Brunaud C, Hsu IC, Weinberg V, Pouliot J: Analysis of interaction between number of implant catheters and dose-volume histograms in prostate high-dose-rate brachytherapy using a computer model. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 56: 586-591, 2003
- 11) Vargas C, Ghilezan M, Hollander M, Gustafson G, Korman H, Gonzalez J, Martinez A: A new model using number of needles and androgen deprivation to predict chronic urinary toxicity for high or low dose rate prostate brachytherapy. *J Urol* 174: 882-887, 2005
- 12) Fröhlich G, Agoston P, Lövey J, Polgár C, Major T: The effect of needle number on the quality of high-dose-rate prostate brachytherapy implants. *Pathol Oncol Res* 16: 593-599, 2010
- 13) Adamczyk M, Zwierzchowski G, Malicki J, Skowronek J: Evaluation of clinical benefits achievable by using different optimization algorithms during real-time prostate brachytherapy. *Phys Med* 29: 111-116, 2013

〈Regular Article〉

## The impact of needle number on the dose-volume parameters of high-dose-rate brachytherapy for prostate cancer

Nobuhiko KAMITANI, Eisaku YODEN, Ryuji TOKIYA,  
Yujiro KAWATA, Takafumi HAYASHI, Junichi HIRATSUKA

*Division of Radiation Oncology, Department of Radiology, Kawasaki Medical School*

**ABSTRACT** In high-dose-rate brachytherapy (HDR-BT) for prostate cancer, the number and arrangement of applicator needles have a decisive impact on radiation dose distribution. Brachytherapy techniques largely depend on the operator's experience, policy and devices. Furthermore, the procedures of needle insertion, dose prescription and plan optimization vary according to institutions. The aim of this study was to determine the optimal needle number for achieving the best quality of HDR-BT for prostate cancer by analyzing the relationship between needle number and dose-volume parameters. We included 135 patients with newly diagnosed prostate cancer who received HDR-BT between June 2010 and October 2012. Treatment planning was performed on Oncentra<sup>®</sup> using volume optimization, followed by manual graphical optimization. Dose-volume parameters, such as Dmin% and D90% of the planning target volume (PTV), dose non-uniformity ratio (DNR), homogeneity index (HI), conformity index (CI), and maximum dose to the urethra and rectum, were calculated on the treatment planning system. Student's t-test was performed to determine the correlation of these parameters and prostate volume with needle number using the JMP<sup>®</sup> 14 software. We divided the treatment period into three phases: early, middle, and late; needle number and dose-volume parameters were analyzed according to these periods. Needle number was not correlated with prostate volume but showed correlations with several dose-volume parameters. Higher needle number was significantly correlated with lower maximum dose to the urethra; furthermore, higher needle number had a tendency to show correlations with higher Dmin% of PTV, higher D90%, lower DNR, higher HI, and higher CI. These results indicated that a higher needle number could achieve better radiation dose distribution. Concerning the treatment period, the number of needles used in patients was higher in the late period than in the earlier period. Based on these results, we started using the highest number of needles that could be inserted safely; this led to the achievement of better radiation dose distribution. In conclusion, our results show that a high needle number can achieve better quality of brachytherapy for prostate cancer. We think that using 16 or 17 needles is the most appropriate. *(Accepted on October 9, 2019)*

Key words : Prostate cancer, High-dose-rate brachytherapy, Applicator needle,  
Dose-volume parameter

---

Corresponding author  
Nobuhiko Kamitani  
Division of Radiation Oncology, Department of  
Radiology, Kawasaki Medical School, 577 Matsushima,  
Kurashiki, 701-0192, Japan

Phone : 81 86 462 1111  
Fax : 81 86 462 1199  
E-mail : kamiyang@med.kawasaki-m.ac.jp