

超音波検査経験の有無が膀胱用超音波画像診断装置の測定精度に及ぼす影響

Effect of ultrasonography experience on the measurement accuracy of bladder ultrasound diagnostic devices

川崎 善幸^{1)*}, 吉田 達也²⁾, 早川 倫生²⁾, 川代 稔之²⁾

1) 沖縄セントラル病院 放射線科
2) 公立館林厚生病院 中央放射線室

Key words: Ultrasound skill, Measure accuracy, Bladder volume, Prostate, Radiotherapy

[Abstract]

Purpose: In radiation therapy for prostate cancer, ultrasound devices are used, and there have been scattered reports on measurement accuracy. However, no reports have examined differences between operators. This study aimed to evaluate the impact of ultrasound examination experience on measurement accuracy.

Methods: The bladder volume measured using an ultrasound device was compared between an experienced group and an inexperienced group. The reference values were obtained from the bladder region of interest in treatment planning CT.

Results: The difference from the reference values was -4.5 ± 31.4 ml in the experienced group and -19.9 ± 36.0 ml in the inexperienced group. The correlation coefficients with the reference values were 0.91 for the experienced group and 0.88 for the inexperienced group, showing no significant difference, but both groups exhibited a strong correlation with the reference values.

Conclusion: It was confirmed that the measurement accuracy of the inexperienced group was comparable to that of the experienced group when the bladder volume was 150 ml or more.

[要 旨]

【目的】 前立腺癌の放射線治療では超音波装置が使用され、測定精度に関する報告が散見される。しかし、測定者間に関する報告はない。今回、超音波検査経験の有無が測定精度に及ぼす影響について検証した。

【方法】 治療計画CT時の膀胱の関心領域（基準値）と超音波装置で計測した膀胱容積を経験群と未経験群で比較した。

【結果】 基準値との差は経験群では -4.5 ± 31.4 ml、未経験群では -19.9 ± 36.0 mlであり、相関係数は経験群では0.91、未経験群では0.88と有意差は認められず基準値と強い相関が得られた。

【結語】 超音波検査未経験群は150 ml以上で経験群と同等の測定精度であることが確認された。

緒 言

前立腺癌患者の増加に¹⁾ 伴い、手術と同等の治療の選択肢である放射線治療を選択する患者は増加傾向にある^{2,3)}。近年、前立腺癌に対する放射線治療は、高精度の放射線治療を安全に実施するために、3次元原体照射（Three-dimensional conformal radiotherapy: 3D-CRT）や強度変調放射線治療（Intensity-modulated radiotherapy: IMRT）、強度変調回転放射線治療（Volumetric-modulated arc therapy:

VMAT）などの照射技術を用いつつ、画像誘導放射線治療（Image-guided radiotherapy: IGRT）の併用が推奨されている²⁻⁴⁾。以前は、晩期障害として最も問題なのは放射線性直腸炎による直腸出血で、放射線治療後半年から数年の間に発生することが多いが、以降の発生はまれである⁴⁻⁷⁾。一方で、課題となっているのは尿路系の有害事象で、放射線治療後5年を経過しても発生し、グレード2以上の発生頻度は13～23%程度と報告されている⁴⁻⁷⁾。近年では、尿路系の有害事象を減少させるため、蓄尿する施設が増加傾向にあるとともに⁸⁻¹⁰⁾、膀胱容積100～250 mlで治療すべきとも報告されており⁸⁻¹⁰⁾、膀胱容積を確認するためのツールとして、膀胱用超音波画像診断装置の有効性が報告されている¹¹⁻¹⁷⁾。このような背景もあり、治療計画時の膀胱容積を再現するため、膀胱用超音波画像診断装置を活用する施設が増加傾向にある¹¹⁻¹⁷⁾。そのため膀胱用超音波画像診断装置の性能評価に関する研究は散見されるが¹¹⁻¹⁷⁾、操作者のスキルに応じた評価は確認し

KAWASAKI Yoshiyuki^{1)*}, YOSHIDA Tatsuya²⁾,
HAYAKAWA Tomoki²⁾, KAWADAI Toshiyuki²⁾

1) Department of Radiology, Okinawa Central Hospital

2) Department of central Radiology, Tatebayashi Kosei General Hospital

* E-mail: zenkou0226@gmail.com

Received December 16, 2024; accepted April 20, 2025

た限り報告例がない。当施設では、超音波検査を診療放射線技師が担当している。そこで今回、超音波検査経験者と未経験者が膀胱用超音波画像診断装置で膀胱容積を測定した際、どのような差が認められるのか検証したので報告する。

1. 方法

1-1 使用機器

膀胱用超音波画像診断装置は、測定精度が検証されているBVI6100（以下、BVI6100: Verathon Inc., Bothell, WA, USA）¹⁴⁻¹⁶⁾（Fig.1 (a)）を使用した。BVI6100は、Bモードで画像を取得しており、プローブを扇状運動させ、15度ごとに12方向の膀胱断面の画像を作成し、膀胱を積分し膀胱容積を推定しているのが特徴である。また画面で膀胱の位置を確認できない場合に、矢印で膀胱の位置をアシストする機能があり（Fig.1 (b)）、その情報を参考にスキャンすることが可能である。なお、当施設では膀胱容積測定マニュアルを作成しており、恥骨上縁付近をスキャンし、膀胱のアシスト機能を参考に位置を変位させ、3回スキャ

ンし、平均値を採用することとしている。計測の様子をFig.1 (c) に示す。

1-2 対象

本研究の対象患者は、2018年1月から2020年12月までの間に前立腺癌の放射線治療を実施した患者であり、研究への同意が得られた90人（平均年齢 74.5 ± 4.9 歳）を対象とした。測定者は放射線治療業務に携わる診療放射線技師で、超音波検査経験者（以下、経験群）4人、未経験者（以下、未経験群）4人である。

なお、本研究は沖縄セントラル病院の倫理委員会で審査を受け、承認された（承認番号 2018003）。

1-3 膀胱の関心領域の作成

治療計画computed tomography (CT) 撮影直前に膀胱用超音波画像診断装置を用いて、仰臥位における膀胱容積を3回計測し平均値を算出した。計測は、放射線治療を担当する診療放射線技師8人で実施した。計測直後に治療計画CTをスライス厚3 mmで撮影し、画像を治療計画装置Pinnacle³ R10.0 (Philips Medical Systems, Cleveland, OH, USA) に転送し

た。その後、膀胱の関心領域 (Region of interest: ROI) を作成し膀胱容積を求めた。膀胱ROIの作成は、放射線治療経験5年以上の診療放射線技師3人により膀胱内壁を抽出した後、放射線腫瘍医による確認を実施し再現性を担保した¹⁴⁾。ROIの一例をFig.2に示す。なお、目標とする膀胱容積は200 mlとしており、治療計画CTは、500 ml飲水後、30分、45分、60分で撮影を実施し、必要があれば追加撮影を実施し、撮影直前に膀胱容積の計測を実施した。なお、蓄尿に耐えられない症例に関しては45分で測定を中止した。

まず、治療計画装置で作成した膀胱ROIの体積 (cm³) を基準値に設定し、膀胱用超音波画像診断装置の測定値 (ml) は3回計測の平均値とした。経験群・未経験群別に測定値と基準値の回帰直線・決定係数 (R²)・相関係数を解析した¹⁵⁾。次に、基準値と測定値を比較し測定誤差を算出した¹⁵⁾。膀胱用超音波診断装置の計

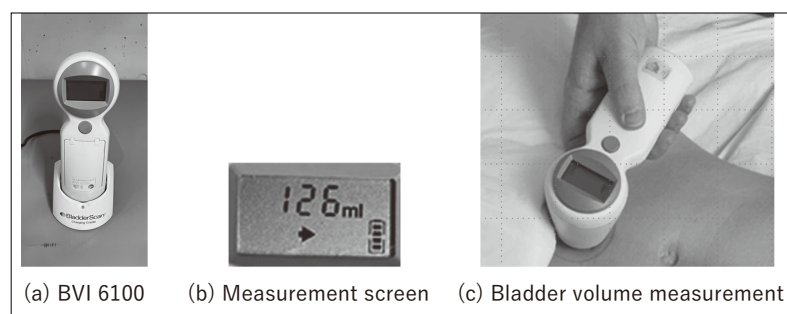


Fig.1 Bladder ultrasound diagnostic imaging device and bladder volume measurement

- (a) Bladder ultrasound diagnostic imaging device: BVI 6100
- (b) Measurement screen
- (c) Bladder volume measurement

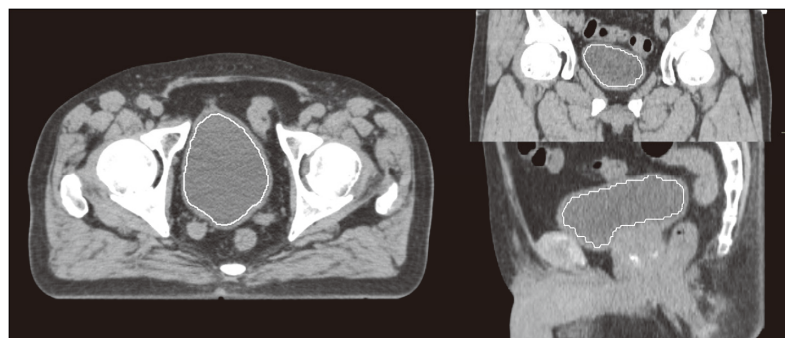


Fig.2 An example of a bladder region of interest

測定値を M_{US} とし、治療計画装置におけるROIの計測値を M_{RTP} とした際の誤差率の絶対値 $\varepsilon_{(Ab)}\%$ を式(1)、誤差率 $\varepsilon\%$ を式(2)として算出した。誤差率(相対誤差)は、膀胱容積ごとに評価を実施した¹⁵⁾。なお、膀胱容積は、治療計画の最適容積が100–250 mlとの報告⁸⁻⁹⁾があることから、100–250 mlの測定精度が重要であると判断し、99 ml以下、100–149 ml、150–199 ml、200–249 ml、250 ml以上に分類した。なお、誤差率の絶対値は固定誤差を、誤差率はバイアス(偏り)を把握するために算出した。

$$\varepsilon_{(Ab)}\% = |M_{US} - M_{RTP}| \div M_{RTP} \times 100 \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$\varepsilon\% = (M_{US} - M_{RTP}) \div M_{RTP} \times 100 \quad \dots \dots \dots (2)$$

誤差率の比較ではKruskal-Wallis検定を行い、治療計画CTから得られる基準値と各測定装置から得られる測定値との相関の有無は、Spearmanの順位相関係数を用いて解析を行った。なお、統計解析にはEZR (Easy R version 1.68, 自治医科大学附属さいたま医療センター、埼玉)¹⁸⁾を使用した。

2. 結 果

2-1 基準値との差と相関関係

経験群・未経験群の測定回数は、それぞれ134、133回であった。基準値と測定値の相関図をFig.3に示す。測定値と基準値の差(平均値 $\pm$ 標準偏差)は、経験群では -4.5 ± 31.4 ml、未経験群では -19.9 ± 36.0 mlとなり、未経験群では経験群より15 mlほど過小評価

となった。また相関図から得られた回帰直線と決定係数(R^2)は、経験群では $y=0.92x+12.70$, 0.91, 未経験群では $y=0.90+2.36$, 0.88となり、Spearmanの順位相関係数(ρ)は経験群では0.956 ($p<0.05$)、未経験群では0.943 ($p<0.05$)となり、両群共に強い相関を示した。

2-2 測定誤差

基準値と測定値から得られた誤差率の絶対値($\varepsilon_{(Ab)}\%$)をFig.4に、膀胱容積ごとの誤差率の絶対値($\varepsilon_{(Ab)}\%$)をFig.5に、誤差率($\varepsilon\%$)のヒストグラムをFig.6に示す。膀胱容積が99 ml以下、100–149 ml、150–199 ml、200–249 ml、250 ml以上のデータ数は、経験群でそれぞれ19, 21, 29, 26, 39回、未経験群でそれぞれ26, 18, 33, 16, 40回であった。

誤差率の絶対値の平均値は、経験群では $12.2 \pm 7.9\%$ 、未経験では $18.0 \pm 11.5\%$ で、超音波検査経験の有無において有意差($p<0.05$)が認められた。膀胱容積ごとの誤差率では、膀胱容積が99 ml以下の平均値は、経験群では $17.8 \pm 9.9\%$ 、未経験群では $33.7 \pm 13.9\%$ と大きい。100 ml以上では両群共に99 ml以下と比較して安定した結果が得られていた。しかしながら、超音波検査経験の有無における各膀胱容積の誤差率の平均値では、149 ml以下では有意差($p<0.05$)が認められたが、150 ml以上では有意差($p<0.05$)は認められなかった。また基準値と測定値から得られた誤差率が、メーカー公称値($\pm 15\%$, ± 15 ml)内に入っていた割合は、経験群では89.6%、未経験群では83.5%であり、両群共に80%以上の症例でメーカー公称値内の精度で計測できることが確認

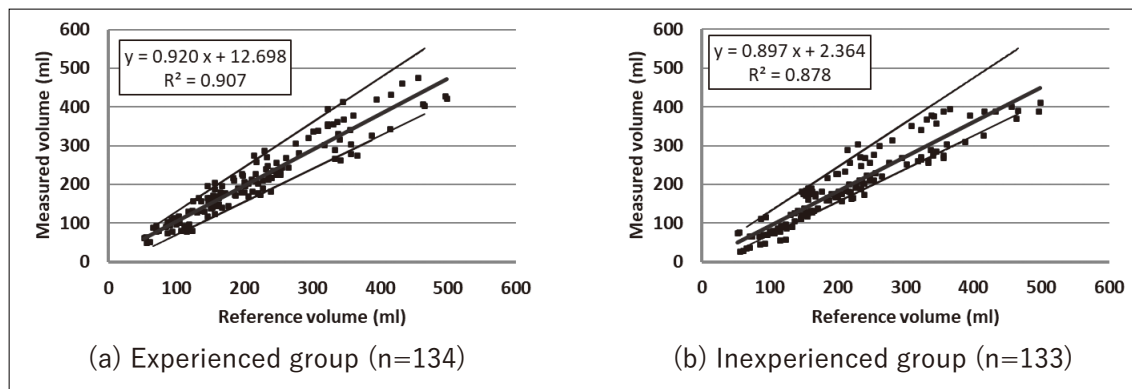


Fig.3 Correlation diagram between reference values and measured values
(a) Experienced group (b) Inexperienced group

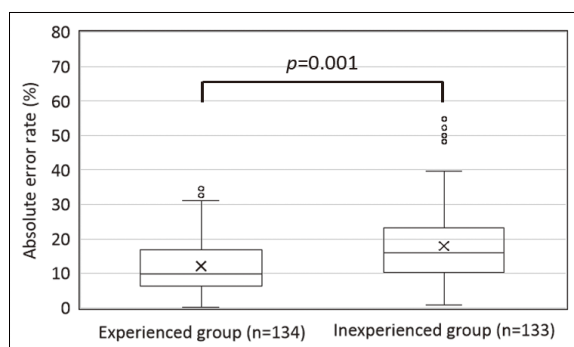


Fig.4 Absolute error rate ($\varepsilon_{(Ab)}\%$) obtained from the reference value and the measured value

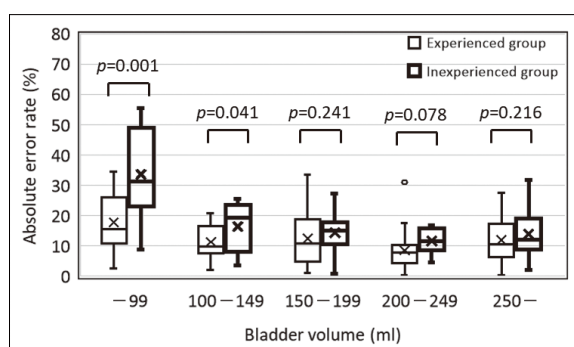


Fig.5 Absolute error rate ($\varepsilon_{(Ab)}\%$) for each bladder volume

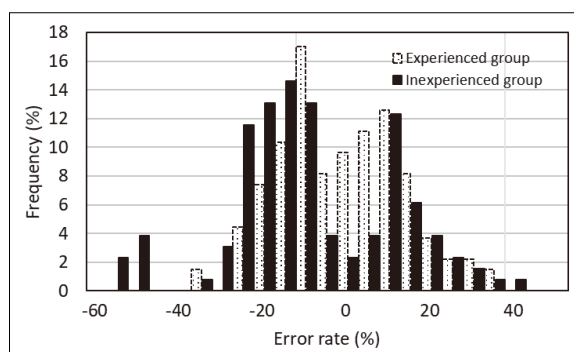


Fig.6 Histogram of error rate ($\varepsilon\%$)

された。ヒストグラムからは、未経験群では適正値の測定頻度が少なく、過大評価や過小評価の頻度が多く、正規分布を示さなかった。

3. 考 察

放射線治療における膀胱用超音波診断装置の測定精度に関する報告は散見されるが¹⁴⁻¹⁸⁾、測定者の超音波スキルにおける評価報告は過去に見当たらない。本研究では、膀胱容積を測定する専用機を用い、超音波検査経験の有無が測定精度にどのような影響を及ぼすの

か評価した。

調査の結果より、超音波経験の有無に関わらず、基準値と高い相関があることが確認された。一方で、測定値と基準値の差の平均は未経験群が15 ml程度過小評価していること、誤差率の絶対値では未経験群では4%程度誤差が大きいことが明らかとなった。また膀胱容積別では149 ml以下の膀胱容積で有意差 ($p<0.05$) が認められたが、150 ml以上では有意差 ($p<0.05$) は認められなかった。このことから、前立腺癌に適切な膀胱容積は100-250 mlと報告されているが、100-149 mlでは測定精度の影響を受けるが、150-250 mlでは超音波経験の有無により影響を受けないことが確認された。一定量以上の膀胱容積では、膀胱用超音波画像診断装置の膀胱位置アシスト機能により膀胱を同定可能なことから、優位差が認められなかったのではないかと考えている。一方で、アシスト機能があるにもかかわらず、149 ml以下で有意差が出た理由としては、メーカー公称値である測定精度が $\pm 15\%$ 、 ± 15 mlであることから、膀胱容積が少ない場合には測定値に対する装置の誤差が大きくなること、探触子の操作スキルによる計測ブレによる誤差、膀胱の位置はある程度同定しているが、腸管ガスなどによる計測誤差などの影響により有意差が出てしまったと考えている。これは、誤差率の絶対値では、経験群ではおおむね正規分布を示しているのに対し、未経験群では度数分布のピークが明らかに2カ所存在していることから明らかである。この結果は、探触子を固定し計測できていないことが要因ではないかと考えた。そこで各測定者にヒアリングしたところ、経験群では①過去画像から探触子のアプローチ場所を事前確認 ②探触子を固定させた（ブレさせない）計測③息止めによる計測——を実施していたが、未経験群ではマニュアルに準じていたものの、経験群のような対策を講じていなかった。①ではガスや骨による信号の減衰を防止でき、正確な膀胱の位置同定が可能である。②では約5秒のスキャン中の探触子のブレをなくし、膀胱容積の積算値を安定化させている。③では呼吸によるブレを軽減し膀胱容積の積算値を安定化させている。経験群と未経験群では、これらの積み重ねが測定精度に影響したと考えており、これらが改善されれば未経験群の基準値と測定値の差の平均値や誤差率の絶対値の平均値が改善され、さらに149 ml以下の膀胱容積でもより精度の高い計測が可能と思われる。今後はこれらを教育した後の測定精度についても評価していきたい。

4. 結 語

本研究は、超音波検査経験の有無が膀胱容積の測定精度にどのような影響を及ぼすのか確認した。未経験群では、膀胱容積149 ml以下での測定精度は劣るものの、150 ml以上では経験群と同等の測定精度であることが確認された。

利益相反

筆頭著者および共著者全員に開示すべき相反利益はない。

発表学会

本研究は、第38回日本診療放射線技師学会大会（兵庫県神戸市）で発表した。

図の説明

- Fig.1 測定装置の外観と表示画面
(a) 膀胱用超音波画像診断装置
(b) 計測画面
(c) 膀胱容積計測の様子
- Fig.2 膀胱ROIの例
- Fig.3 基準値と測定値の相関図
(a) 経験群 (b) 未経験群
- Fig.4 基準値と測定値から得られた誤差率の絶対値
- Fig.5 膀胱容積ごとの誤差率の絶対値
- Fig.6 誤差率のヒストグラム

参考文献

- 1) 国立研究開発法人国立がん研究センターがん情報サービス：最新がん統計。 https://ganjoho.jp/reg_stat/statistics/stat/summary.html (Accessed 05 July 2024).
- 2) 日本放射線腫瘍学会 編：放射線治療計画ガイドライン。248-268, 金原出版, 2020.
- 3) 大西 洋, 他：がん・放射線療法（改定第8版）。248-253, Gakken, 2023.
- 4) NCCN Prostate Cancer Panel Members: Prostate Cancer, NCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology; Version 3. 2022.
- 5) Aizawa R, et al.: Low incidence of late recurrence in patients with intermediate-risk prostate cancer treated by intensity-modulated radiation therapy plus short-term androgen deprivation therapy. *Int J Clin Oncol*, 25(4), 713-719, 2020.
- 6) Aizawa R, et al.: Ten-year outcomes of high-dose intensity-modulated radiation therapy for nonmetastatic prostate cancer with unfavorable risk: early initiation of salvage therapy may replace long-term adjuvant androgen deprivation. *Int J Clin Oncol*, 24(10), 1247-1255, 2019.
- 7) Tomita N, et al.: Favorable 10-year outcomes of image-guided intensity-modulated radiotherapy combined with long-term androgen deprivation for Japanese patients with nonmetastatic prostate cancer. *Asia Pac J Clin Oncol*, 15(1), 18-25, 2019.
- 8) Fujioka C, et al: Optimal bladder volume at treatment planning for prostate cancer patients receiving volumetric modulated arc therapy. *Pract Radiat Oncol*, 6(6), 395-401, 2016.
- 9) 川崎善幸, 他：前立腺癌IMRT治療計画における最適な膀胱容積。 *日放技誌*, 62 (5), 22-26, 2015.
- 10) 成田浩人, 他：放射線治療計画。 *ピラールプレス*, 147-153, 2018.
- 11) Ung KA, et al.: Comparison study of portable bladder scanner versus cone-beam CT scan for measuring bladder volumes in post-prostatectomy patients undergoing radiotherapy. *J Med Imaging Radiat Oncol*, 58(3), 377-383, 2014.
- 12) Stam MR, et al.: Bladder filling variation during radiation treatment of prostate cancer: can the use of a bladder ultrasound scanner and biofeedback optimize bladder filling? *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 65(2), 371-377, 2006.
- 13) Ohira S, et al.: Improvement in bladder volume reproducibility using A-mode portable ultrasound bladder scanner in moderate-hypofractionated volumetric modulated arc therapy for prostate cancer patients. *J Appl Clin Med Phys*, 23(4), e13546, 2022.
- 14) 川崎善幸, 他：膀胱用超音波画像診断装置による膀胱容積測定の精度。 *Sysmex Journal*, 36 (1), 84-90, 2013.
- 15) 雑賀貴大, 他：骨盤領域（前立腺）放射線治療における膀胱容量測定の精度比較（ポータブル超音波診断装置とCBCTの比較）。 *日放技学誌*, 80 (7), 760-765, 2024.
- 16) Mullaney L, et al.: A comparison of bladder volumes based on treatment planning CT and BladderScan® BVI 6100 ultrasound device in a prostate radiation therapy population. *Br J Radiol*, 91(1091), 20180160, 2018.
- 17) 柴田真佑里, 他。Artificial intelligence 技術を活用した膀胱容量自動計測機能搭載超音波装置の放射線治療における有用性。 *日放技学誌*, 78 (12), 1406-1414, 2022.
- 18) Y Kanda: Investigation of the freely available easy-to-use software 'EZR' for medical statistics. *Bone Marrow Transplantation*, 48, 452-458, 2013.