

密封小線源治療
—診療・物理 QA ガイドライン—

作成

日本放射線腫瘍学会小線源治療部会ワーキンググループ
(委員長：中野隆史，副委員長：伊丹 純)

目次

緒言	9	毎回の照射
	10	経過観察
略語集	11	舌以外の部位
		文献
頭頸部癌 LDR ガイドライン		子宮頸癌腔内照射ガイドライン
はじめに		はじめに
1 適応基準		1 適応基準
2 除外基準		2 除外基準
3 患者選択基準		3 線源，線量計算
4 線源		4 治療計画
5 治療計画		5 アプリケータ挿入手技
6 線源挿入手技		6 線量，照射計画
7 外部照射併用		7 合併症と対処
8 術後線量評価		8 経過観察
9 経過観察		文献
10 退出基準及び放射線安全管理		
文献		
頭頸部癌 HDR ガイドライン		前立腺癌 LDR ガイドライン
はじめに		はじめに
1 適応基準		1 適応基準
2 除外基準		2 除外基準
3 患者選択基準		3 患者選択基準
4 線源		4 線源，線量計算
5 治療計画		5 治療計画
6 アプリケータ刺入手技		6 術中手技
7 外部照射併用		7 線源と処方線量
8 術後線量評価		8 外部照射併用
		9 内分泌療法併用

- 10 術後線量評価
 - 11 経過観察
 - 12 放射線治療後局所再発の救済照射
 - 13 退出基準及び放射線安全管理
 - 14 施設基準
- 文献

前立腺癌 HDR ガイドライン

はじめに

- 1 適応基準
 - 2 除外基準
 - 3 線源，線量計算
 - 4 手術手技
 - 5 治療計画
 - 6 治療
 - 7 処方線量
 - 8 外部照射併用
 - 9 内分泌療法併用
 - 10 経過観察
 - 11 放射線治療後局所再発の救済照射
- 文献

食道癌腔内照射ガイドライン

はじめに

- A 根治治療
 - 1 適応基準
 - 2 除外基準
 - 3 患者選択基準
 - 4 線源，線量計算
 - 5 治療計画
 - 6 挿入手技
 - 7 照射，線量分割，時期外部照射
 - 8 経過観察
 - 9 再発後の救済術
- B 緩和治療
 - 1 適応基準
 - 2 除外基準
 - 3 患者選択基準

- 4 線源挿入手技
 - 5 治療計画
- 文献

LDR 物理 QA ガイドライン

はじめに

- 1 吸収線量（率）計算方法の注意点
- 2 物理 QA の項目と放射線防護

HDR 物理 QA ガイドライン

はじめに

- 1 吸収線量（率）計算方法の注意点
 - 2 治療装置，治療計画装置の受入試験
 - 3 治療計画装置のコミッショニング
 - 4 治療計画装置の定期的品質管理
 - 5 治療装置の定期的品質管理
 - 6 患者治療ごとの品質保証
 - 7 放射線防護
- 文献

執筆協力者

緒言

密封小線源治療では、線源を腫瘍近傍又は腫瘍内に直接配置するため、線源は腫瘍の動きを制限し、更に腫瘍とともに動くため、PTV と CTV の差を極めて小さくすることのできる治療法であり、究極の高精度治療ともいえる。前回 JASTRO の QA 委員会から「密封小線源における QA システムガイドライン (2002)」が発表されてからすでに 10 年が経つ。その間、高線量率治療法の導入と進歩により Image-Guided Brachytherapy も可能となり、インバースプランニングも導入されるようになってきている。また、 ^{125}I シード線源による前立腺癌の治療なども施行されるようになった。そのため、密封小線源治療の全く新たなガイドラインが必要となってきた。

今回、JASTRO 小線源部会ガイドラインワーキンググループで密封小線源治療に関する診療・物理 QA ガイドライン案を作った。密封小線源治療を志す放射線腫瘍医はもちろん、臨床各科の先生方の指針となれば幸いである。

2013 年 3 月 15 日

日本放射線腫瘍学会小線源治療部会ワーキンググループ委員長：中野隆史
副委員長：伊丹 純

略語集

^{90}Sr	: ストロンチウム-90
^{106}Ru	: ルテニウム-106
^{125}I	: ヨウ素-125
^{137}Cs	: セシウム-137
^{192}Ir	: イリジウム-192
^{198}Au	: 金-198
AAPM	: 米国医学物理士会 (The <u>A</u> merican <u>A</u> ssociation of <u>P</u> hysicists in <u>M</u> edicine)
ACR	: 米国放射線科医学会 (<u>A</u> merican <u>C</u> ollege of <u>R</u> adiology)
ASTRO	: 米国放射線腫瘍学会 (<u>A</u> merican <u>S</u> ociety for <u>T</u> herapeutic <u>R</u> adiation <u>O</u> ncology)
BED	: 生物学的効果線量 (<u>B</u> iological <u>E</u> ffective <u>D</u> ose)
CT	: コンピュータ断層撮影 (<u>C</u> omputed <u>T</u> omography)
CTV	: 臨床標的体積 (<u>C</u> linical <u>T</u> arget <u>V</u> olume)
DVH	: 線量体積ヒストグラム (<u>D</u> ose <u>V</u> olume <u>H</u> istogram)
ESTRO	: 欧州放射線腫瘍学会 (<u>E</u> uropean <u>S</u> ociety for <u>T</u> herapeutic <u>R</u> adiology and <u>O</u> ncology)
FOV	: 有効視野 (<u>F</u> ield <u>O</u> f <u>V</u> iew)
GEC	: 欧州小線源治療グループ (The <u>G</u> roupe <u>E</u> uropéen de <u>C</u> uriethérapie)
GTV	: 肉眼的腫瘍体積 (<u>G</u> ross <u>T</u> umor <u>V</u> olume)
HDR	: 高線量率 (<u>H</u> igh <u>D</u> ose <u>R</u> ate)
ICRU	: 国際放射線単位測定委員会 (<u>I</u> nternational <u>C</u> ommission on <u>R</u> adiation <u>U</u> nits and measurements)
IGBT	: 画像誘導小線源治療 (<u>I</u> mage <u>G</u> uided <u>B</u> rachy <u>T</u> herapy)
IMRT	: 強度変調放射線治療 (<u>I</u> ntensity <u>M</u> odulated <u>R</u> adiation <u>T</u> herapy)
IPSS	: 国際前立腺肥大症状スコア (<u>I</u> nternational <u>P</u> rostate <u>S</u> ymptom <u>S</u> core)
JASTRO	: 日本放射線腫瘍学会 (<u>J</u> apanese <u>S</u> ociety for <u>T</u> herapeutic <u>R</u> adiology and <u>O</u> ncology)
JRS	: 日本医学放射線学会 (<u>J</u> apan <u>R</u> adiological <u>S</u> ociety)
JSMP	: 日本医学物理学会 (<u>J</u> apan <u>S</u> ociety of <u>M</u> edical <u>P</u> hysics)
JUA	: 日本泌尿器科学会 (The <u>J</u> apanese <u>U</u> rological <u>A</u> ssociation)
LDR	: 低線量率 (<u>L</u> ow <u>D</u> ose <u>R</u> ate)
LHRH	: 性腺刺激ホルモン放出ホルモン (<u>L</u> uteinizing <u>H</u> ormone <u>R</u> eleasing <u>H</u> ormone)
MRI	: 磁気共鳴画像撮影 (<u>M</u> agnetic <u>R</u> esonance <u>I</u> maging)
PET	: 陽電子放出断層撮影 (<u>P</u> ositron <u>E</u> mission <u>T</u> omography)
PC	: パーソナルコンピュータ (<u>P</u> ersonal <u>C</u> omputer)
PCA	: 患者自己管理鎮痛法 (<u>P</u> atient <u>C</u> ontrolled <u>A</u> nalgesia)
PSA	: 前立腺特異抗原 (<u>P</u> rostate <u>S</u> pecific <u>A</u> ntigen)
PTV	: 計画標的体積 (<u>P</u> lanning <u>T</u> arget <u>V</u> olume)
QA	: 品質保証 (<u>Q</u> uality <u>A</u> ssurance)
QOL	: 生活の質 (<u>Q</u> uality <u>O</u> f <u>L</u> ife)

- RALS : 遠隔操作式後充填法 (Remote AfterLoading System)
- RCT : ランダム化臨床比較試験 (Randomized Controlled Trial)
- RIS : 放射線科情報システム (Radiology Information System)
- SHIP : 未治療中間リスク群限局性前立腺癌に対する NHT+ヨウ素 125 密封小線源永久挿入療法 +AHT 併用療法と NHT+ヨウ素 125 密封小線源永久挿基導入併用療法とのランダム化比較臨床試験 (Study of Seed and Hormone for Intermediate-risk Prostate Cancer)
- TG-43U1 : タスクグループのレポート 43 の更新版 (Uppdate of Task Group No. 43 Report)
- TG-43U1S1 : TG-43U1 の補遺版 (Supplement of Uppdate of Task Group No. 43 Report)
- TRIP : 高リスク前立腺癌に対する小線源・外照射併用放射線療法における補助ホルモン治療の有効性に関する臨床研究 (RTC of TRI-Modalities with I-125 Brachytherapy and EBRT and Short or Long term Hormone Therapy for High-risk Localized Prostate Cancer)
- TRUS : 経直腸的超音波 (Trans Rectal Ultra Sound)

頭頸部癌 LDR ガイドライン

はじめに

頭頸部の中でも口腔、口唇及び中咽頭は美容などの形態温存とともに摂食、構音、味覚などの点から機能温存が強く期待される部位であり、LDR 組織内照射は口腔、口唇、中咽頭癌の治療として国内外で広く施行されてきた歴史がある¹⁾。しかし、現在医療従事者の被曝、放射線管理区域内の放射線治療病室の設置、更に線源供給の問題があり、施行可能な施設は少なくなっている。

1 適応基準

- 口腔、口唇、中咽頭癌
- 臨床病期 T1-T2, 一部の T3
- 術後断端陽性

2 除外基準

2.1 絶対的禁忌

- 放射線管理区域内の放射線治療病室での生活が困難な患者
- 治療に対する同意が得られない患者
- 妊娠中の患者

2.2 相対的禁忌

- 生命予後を決定する重篤な合併症を有している患者

3 患者選択基準

- 口腔、口唇、中咽頭の病変で視診及び触診によって治療範囲が同定できることを前提とし、N0 症例を原則とする²⁾。

3.1 単独治療

- 臨床病期 T1-T2^{3,4)}
- 臨床病期 T3 で表在型⁵⁾
- 術後断端陽性

3.2 外部照射併用

- 腫瘍に厚み (10-15 mm 以上) があり単独治療での治癒が困難と判断された場合

4 線源

4.1 一時装着線源

- 主に舌癌の治療に使用
- ^{137}Cs ニードル（現在は供給停止）
- ^{192}Ir ヘアピン（740 MBq）及びシングルピン（370 MBq）

4.2 永久挿入線源

- 舌を含めた口腔癌，口唇癌，及び中咽頭癌の治療に使用^{6,7)}
- ^{198}Au グレイン（185 MBq）
- 硬口蓋や歯肉の表在癌で線源の直接挿入が難しい場合には， ^{198}Au グレインを埋没させたモールドを作成し装着する表面貼付治療を行う⁸⁾。

5 治療計画

5.1 標的体積

- GTV：視診，触診及び MRI や PET/CT などの画像診断によって同定した原発病変
- CTV：病変の進展が予想される範囲 GTV + 5-10 mm
- PTV：CTV と一致

5.2 線源配置

- ^{137}Cs ニードル， ^{198}Au グレインを用いる場合は Paterson & Parker 法の配列
- ^{192}Ir ヘアピン及びシングルピンの場合は Paris 法あるいは Paterson & Parker 法を応用した配列とする。

5.3 術前線量評価

- ^{137}Cs ニードル， ^{198}Au グレインの場合，Paterson & Parker 法で計算する。
 - ✓ ^{137}Cs ニードル：線源から 5 mm 離れた点に 60-70 Gy を 5-7 日で処方
 - ✓ ^{198}Au グレイン：線源から 5 mm 離れた点に 80-90 Gy（永久崩壊）
- ^{192}Ir ヘアピン及びシングルピンの場合 Paris 法あるいは Paterson & Parker 法で計算する。
 - ✓ Paris 法：標的最低線量を 60-70 Gy
 - ✓ Paterson & Parker 法：線源から 5 mm 離れた点に 60-70 Gy を 5-7 日で処方

6 線源挿入手技

6.1 前処置

- 経鼻的経管栄養用チューブ挿入（ ^{198}Au グレインの場合は経口摂取でも可）
- スペーサー作成（舌癌治療時）

6.2 麻酔, 体位

- 硫酸アトロピン筋注
- 処置は座位又は臥位
- 局所麻酔はエピネフリン入りキシロカインを使用する.
- 全身麻酔で挿入する施設もある.

6.3 線源挿入術

6.3.1 ^{137}Cs ニードル

- ニードル保持器を用いて ^{137}Cs ニードルを舌に直接挿入する.
- 途中で X 線透視を行い, 配列を確認する.
- 挿入後は保持糸を舌に縫い付ける.

6.3.2 ^{192}Ir ヘアピン及びシングルピン

- Guide Gutter 法を用いる.
- ^{192}Ir 線源を舌に直接縫い付ける.

6.3.3 ^{198}Au グレイン

- 専用ルナー針を用いて, 粘膜より 5 mm の深さに線源を挿入する.

6.4 線源抜去

- ^{137}Cs ニードルや ^{192}Ir ヘアピン及びシングルピンは術後線量計算結果に従い予定した日時に線源及びスペーサーを抜去する.
- 舌に縫い付けた糸を切って抜去するのみなので無麻酔で良いが, 不安が強い場合はジアゼパムなどの鎮静剤を使用する.

7 外部照射併用

7.1 標的体積

- 病変 + 患側頸部 Level I-II
 - ✓ 病変に対する標的体積として, 原発巣に 5-10 mm のマージンを加え CTV とし, 更に照射中の標的の動きなどを加味し 5-10 mm のマージンを加えた範囲を PTV とする.
 - ✓ 特に病変が潰瘍形成型の場合に頸部リンパ節転移の頻度が高いため, 患側頸部の顎下リンパ節及び上内深頸リンパ節領域を含む照射野を設定する.

7.2 外部照射の線量

- 線量は 30-50 Gy / 15-25 回
- 組織内照射の処方線量は外部照射線量によって減量する (例: 外部照射 30 Gy + 組織内照射 50 Gy, 外部照射 40-45 Gy + 組織内照射 25-30 Gy).

8 術後線量評価

- ^{137}Cs ニードルや ^{192}Ir ヘアピン及びシングルピンを用いた場合は、線源挿入後に放射線治療病室を有する放射線管理区域内の X 線撮影装置で 2 方向の X 線写真を撮影し、専用ソフトを用いて線量計算を行い、線量分布を確認して線源抜去の日時を決定する。
- PTV が処方線量で囲まれるとともに、処方線量の 200% 以上の領域が線源周囲以上に広がらないように治療時間を調整する。
- CT が撮影可能な場合は CT 画像対応のソフトを用いて線量計算を行う。
- ^{198}Au グレインを用いた場合、挿入後翌日あるいは翌々日に X 線撮影を行い線源脱落の有無を確認する。また専用ソフトを用いて線量計算が可能である。

9 経過観察

9.1 観察期間

- 紹介元の医師、歯科医師による経過観察を含めると、治療後 2 年以内は 1 か月に 1 回程度の診察が好ましく、その後も 5 年まではフォローアップする。

9.2 有害事象

9.2.1 急性障害

- 口腔粘膜炎とそれに伴う疼痛は必発である。抗炎症作用のあるうがい薬（アズノール）や消炎鎮痛剤を用いながら経過をみることが多く、2 か月程度で改善する。

9.2.2 晩発障害

- 舌潰瘍
- 下顎骨骨髓炎：治療期間中にスぺーサーを用いることで回避できる。しかし、治療後の抜歯が原因となる場合もあるため注意が必要である。
- 口腔乾燥症（外部照射併用の場合）

10 退出基準及び放射線安全管理

- ^{137}Cs ニードルや ^{192}Ir ヘアピン及びシングルピンの一時装着線源を用いた場合は、線源の抜去とともに放射線治療病室からの退室が可能である。
- ^{198}Au グレインを用いた永久挿入の場合には、少なくとも 3 日間は放射線治療病室に入院し、脱落に十分備える。

付：スぺーサー及びモールドについて

スぺーサーは下顎骨と線源間の距離を取って、下顎骨障害を予防する器具である。レジンやシリコンで作成するが、鉛板を埋め込むと遮蔽効果が高い。

モールドは病巣と線源の距離を一定にし、正確な治療を行うための器具である。材質はスぺーサーと同様で、線源（LDR の場合）、アプリケータ（HDR の場合）を内部に埋没させておく。舌以外の部位で使用される。

文献

1. Mazon JJ, Ardiet JM, Haie-Méder C, et al: GEC-ESTRO recommendations for brachytherapy for head and neck squamous cell carcinomas. *Radiother Oncol* 91: 150-156, 2009.
2. 渋谷均, 吉村亮一, 太田さや子, 他: 口腔癌の放射線治療. *JOHNS* 20: 225-229, 2004.
3. Shibuya H, Hoshina M, Takeda M, et al: Brachytherapy for stage I & II oral tongue cancer: an analysis of past cases focusing on control and complications. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 26: 51-58, 1993.
4. Fujita M, Hirokawa Y, Kashiwado K, et al: Interstitial brachytherapy for stage I and II squamous cell carcinoma of the oral tongue: factors influencing local control and soft tissue complications. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 44: 767-775, 1999.
5. Ihara N, Shibuya H, Yoshimura R, et al: Interstitial brachytherapy and neck dissection for stage III squamous cell carcinoma of the mobile tongue. *Acta Oncol* 44: 709-716, 2005.
6. Shibuya H, Takeda M, Matsumoto S, et al: Brachytherapy for non-metastatic squamous cell carcinoma of the buccal mucosa. *Acta Oncol* 32: 327-330, 1993.
7. Matsumoto S, Takeda M, Shibuya H, et al: T1 and T2 squamous cell carcinomas of the floor of the mouth: results of brachytherapy mainly using ^{198}Au grains. *Int J Radiat Biol Phys* 34: 833-841, 1996.
8. Takeda M, Shibuya H, Inoue T: The efficacy of gold-198 grain mold therapy for mucosal carcinomas of the oral cavity. *Acta Oncol* 35: 463-467, 1996.

頭頸部癌 HDR ガイドライン

はじめに

頭頸部の組織内照射は、LDR 照射から発展した。RALS の普及により、HDR 照射への移行が特に我が国で進んだ¹⁻⁶⁾。HDR の利点は、医療従事者の被曝が皆無、患者隔離が不要、線源停留位置、時間の調節が可能などである¹⁾。一方、HDR は LDR より治療可能比が低く、線量分布の優位性によりその点を凌駕する必要がある。

1 適応基準

- 口腔、口唇、中咽頭癌
- 臨床病期 T1-T2, 一部の T3
- 術後断端陽性

2 除外基準

2.1 絶対的禁忌

- 治療に対する同意が得られない患者
- アプリケータ留置及びそれに伴う疼痛、栄養管理が困難な患者
- 妊娠中の患者

2.2 相対的禁忌

- 生命予後を決定する重篤な合併症を有している患者

3 患者選択基準

- 口腔、口唇、中咽頭の病変で視診及び触診によって治療範囲が同定できることを前提とし、N0 症例を原則とする。

3.1 単独治療

- 臨床病期 T1-T2
- 臨床病期 T3 で表在型

3.2 外部照射併用

- 腫瘍に厚み (10-15 mm 以上) があり単独治療での治癒が困難と判断された場合

4 線源

- RALS 用 ¹⁹²Ir 線源

5 治療計画

5.1 標的体積

- GTV：視診，触診及びMRIやPET/CTなどの画像診断によって同定した原発病変
- CTV：病変の進展が予想される範囲 GTV + 5-10 mm
- PTV：CTV と一致

5.2 線源配置

- Paris 法あるいは Paterson & Parker 法を応用した配列とする。

5.3 術前線量評価

- Paris 法：85% 基底線量に 54 Gy / 9 回 / 5-7 日又は 60 Gy / 10 回 / 5-7 日²⁾
- Paterson & Parker 法：線源から 5 mm 離れた点に上記の線量

6 アプリケーター刺入手技

(注：本稿ではこれ以降，舌癌について記載する。その他の疾患については末尾に記載する。)

6.1 前処置

- 経鼻的経管栄養用チューブ挿入
- スペーサー作成
- 治療計画用画像に干渉する金属歯冠は歯科で事前に除去

6.2 麻酔，体位

- 硫酸アトロピン筋注
- 座位又は臥位
- 局所麻酔にはエピネフリン入りのキシロカインを使用する。
- 全身麻酔で挿入する施設もある。

6.3 ガイド針刺入

- 1 cm 間隔の刺入が一般的
- 舌根側から刺入

6.4 アプリケーターへ置換

- ガイド針をアプリケーターへ置換する。
- ボタン付きアプリケーターを用いる³⁾。

6.5 アプリケーター抜去

- 点滴ルートを確保した上，アプリケーター刺入部の舌表面側及び顎下側を消毒し，顎下側を切断する。アプリケーターは一纏めのまま，舌側へ抜去し，舌及び顎下部を圧迫止血する。不安が強い場合は鎮静剤を使用する。

7 外部照射併用

7.1 標的体積

- 病変 + 患側頸部 Level I-II

7.2 外部照射の線量

- 外部照射 40 Gy / 20 回（又は 30 Gy / 15 回）と HDR 48 Gy / 8 回程度⁴⁾.
- 総治療期間 8 週以内を目安とする⁷⁾.

8 術後線量評価

- アプリケータ刺入後、スペーサーを装着し、2 方向からの単純 X 線写真及び CT を撮影する.
- 治療計画装置上でアプリケータを同定し線源停留位置を決定し、術前線量評価に従って治療計画を立てる.
- 幾何学的最適化法やマニュアルでの微調節などを用い、PTV が十分照射でき、処方線量の 200% 等線量曲線が個々の線源周囲以上に広がらないようにする.

9 毎回の照射

- 照射は 6 時間以上の間隔をあける.
- 照射前に必ず視診し、アプリケータ先端の位置を確認する.
- スペーサーを装着して照射する.

10 経過観察

10.1 観察期間

- 紹介元の医師，歯科医師による経過観察を含め，治療後 2 年以内は 1 か月に 1 回程度の診察が好ましく，その後も 5 年まではフォローアップする.

10.2 有害事象

10.2.1 急性障害

- 急性期粘膜炎は 1-2 週間でピークを迎え，その後 2 か月程度で軽快する.

10.2.2 晩発障害

- 粘膜潰瘍
- 下顎骨骨髓炎-下顎骨壊死：照射時にスペーサーを用いることで回避可能．治療後の抜歯が原因となることもあるため注意が必要．
- 口腔乾燥症（外部照射併用の場合）

11 舌以外の部位

- 口腔底⁵⁾，頬粘膜，硬口蓋，口唇，中咽頭^{6, 8)}も組織内照射の適応になる．中咽頭では，アプリケータをループ状に刺入する．厚みが 3 mm 以内なら，モールドによる照射も可能である．

文献

1. 西村哲夫, 鈴木一徳, 今井美智子, 他: 頭頸部腫瘍の高線量率イリジウム線源治療. 小線源治療 (山下孝編), 東京, 篠原出版新社, 2002, pp49-62.
2. Inoue T, Inoue T, Yoshida K, et al: Phase III trial of high- vs. low-dose-rate interstitial radiotherapy for early mobile tongue cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 51: 171-175, 2001.
3. 池田恢, 井上俊彦, 山崎秀哉, 他: 高線量率組織内照射による舌可動部癌の治療－連結ダブルボタン法－. *臨床放射線* 37: 1121-1124, 1992.
4. Kakimoto N, Inoue T, Inoue T, et al: Results of low- and high-dose-rate interstitial brachytherapy for T3 mobile tongue cancer. *Radiother Oncol* 68: 123-128, 2003.
5. Inoue T, Inoue T, Yamazaki H, et al: High dose rate versus low dose rate interstitial radiotherapy for carcinoma of the floor of mouth. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 41: 53-58, 1998.
6. Nose T, Koizumi M and Nishiyama K: High-dose-rate interstitial brachytherapy for oropharyngeal carcinoma: results of 83 lesions in 82 patients. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 59: 983-991, 2004.
7. Mazeron JJ, Ardiet JM, Haie-Méder C, et al: GEC-ESTRO recommendations for brachytherapy for head and neck squamous cell carcinomas. *Radiother Oncol* 91: 150-156, 2009.
8. Nag S, Cano ER, Demanes DJ, et al: The American Brachytherapy Society Recommendations for high-dose-rate brachytherapy for head-and-neck carcinoma. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 50: 1190-1198, 2001.

子宮頸癌腔内照射ガイドライン

はじめに

子宮頸癌の腔内照射は歴史的に LDR から発展した。RALS による HDR 治療は本邦でいち早く実用化が進められ、RCT により LDR と同等の安全性と有効性が証明された。HDR による腔内照射は近年世界的にも急速に普及している¹⁻⁶⁾。

なお、画像誘導 3 次元腔内照射については日本の現状を鑑みて今回は章末に簡単に付記するにとどめる。今後の改訂を課題とする。

1 適応基準

- IA2-IVA 期における根治的治療
- 止血目的治療（緩和的、対症的治療）

2 除外基準

- 高度の狭腔
- 断端癌（腫瘍が大きい場合）
- 治療に対する同意が得られない患者

3 患者選択基準

3.1 単独治療

- IA2 期

3.2 外部照射併用

- IB 期以上

4 線源，線量計算

4.1 線源

- RALS 用 ^{192}Ir あるいは ^{60}Co 線源

4.2 線量計算

- 正面，側面 2 方向の単純 X 線写真を取得
- 治療計画コンピュータによる計算を治療ごとに行うことを推奨

5 治療計画（JASTRO 放射線治療計画ガイドライン 2012 年版参照）³⁾

5.1 治療前の腫瘍状態の把握

- 治療前の腫瘍状態（臨床病期，腫瘍径/体積，進展範囲/様式など）の内診，直腸診，MRI（T2 強調像）による把握
- IB2，IIA2 以上の進行症例では同時化学放射線療法³⁾の適用を考慮

5.2 外部照射との組み合わせ方法

- 原則として外部照射（中央遮蔽なし）を腔内照射に先行
- 子宮頸癌治療ガイドライン 2011 年版⁴⁾及び放射線治療計画ガイドライン 2012 年版に掲載された標準的治療スケジュールを参照

5.3 腔内照射開始時期

- 外部照射中の腫瘍の反応を勘案し症例ごとに検討
- 進行症例では 30-40 Gy 時点で画像評価（MRI を推奨）にて十分な腫瘍縮小を確認
- 腫瘍縮小不十分例では中央遮蔽なしの外部照射継続を検討

5.4 タンデムアプリーケータ挿入の可否

- タンデムアプリーケータ（子宮ゾンデ）挿入不可による腔内照射開始の遅延を回避
- 腫瘍縮小が十分かつ外子宮口確認可能になった段階で、エコーガイド、婦人科医の援助など、様々な方法を駆使して挿入を試みる（6.4 参照）。

5.5 腫瘍縮小不良例

- 上記 5.3 の方針で 40-50 Gy まで中央遮蔽なしの外部照射を追加後も、腫瘍縮小不十分例、タンデム挿入不能例、腫瘍偏在例、著しい子宮傍組織浸潤残存例には、外部照射によるブーストや組織内照射の適応を検討。

6 [アプリーケータ挿入手技](#)^{1,6)}

6.1 アプリーケータの種類と選択

- 原則としてタンデムアプリーケータとオボイドアプリーケータの組み合わせを選択
- 子宮体部の傾きに応じた適切な曲度のタンデムアプリーケータを選択
- オボイドキャップは腔円蓋の大きさに応じて選択（フランジ：タンデムリングの挟み込みが可能なのでできるだけ大径のキャップ）
- 小さいオボイドキャップは挿入が容易だが、腔粘膜面（円蓋部、側壁）の線量が高値となることに注意
- 狭腔例や腫瘍の腔進展が著明な症例ではシリンダアプリーケータを用いることを検討

6.2 前処置

6.2.1 鎮静, 鎮痛

- 治療中の苦痛緩和への十分な配慮
- 疼痛などによる緊張がなくスムーズなアプリケーションが可能だが、呼吸抑制や血圧低下などのリスクに注意が必要.
- 経静脈的鎮痛剤, 鎮静剤投与, 仙骨ブロック, 硬膜外麻酔など, 施設で実施可能な方法にて行う.
- 外来治療では行いにくい, 呼吸抑制や血圧低下などの欠点やリスクあり
- 患者ごとに得失を勘案し, 患者の希望や診療体制も加味したうえで適用の適否を判断

6.2.2 排便, 排尿

- 排便に関する処置は不要
- 膀胱カテーテルを留置 (バルーン内に希釈した造影剤 7 cc を注入)

6.3 患者体位

- アプリケーター留置は碎石位にて
- アプリケーター位置確認写真撮影及び治療は碎石位あるいは脚伸展位にて (施設, 装置の条件, 患者希望にて対応)
- 撮影から治療終了時まで同一体位保持が望ましい

6.4 アプリケーター留置の手順

- 術者に加えて最低 1 名の介助者が必要
 - 1) 外子宮口の拡張
 - ゾンデを子宮頸管から子宮内腔に挿入し, 子宮底部まで到達させ, 挿入される長さ (子宮底までの長さ) を計測
 - タンデムアプリケーターの径に応じた太さまでヘガール拡張器にて頸管と子宮内腔を拡張
 - 2) アプリケーターの挿入
 - ゾンデ挿入時に計測した長さに合わせてフランジ位置を調整
 - タンデムアプリケーターは子宮底部に届くまで挿入 (フランジが外子宮口に密着していることを確認)
 - オボイドキャップの先端は腔円蓋部にできる限り密着
 - 左右オボイド間隔は腫瘍径に応じて設定 (開き過ぎに注意)
 - 左右オボイド中点をタンデムが通過するように配置
 - オボイドキャップと腔壁 (前, 後) の間へのガーゼ / 綿花充填 (パッキング)
 - アプリケーター支持器や支持バンドを使用しアプリケーターのずれを予防

7 線量，照射計画

7.1 線量

7.1.1 線量処方点

- A点を用いる.
- A点設定の起点は原則外子宮口（外子宮口がオボイド先進部より尾側に位置する場合は腔円蓋部レベルを起点に）
- シリンダアプリケーション使用時もA点を使用する. ただし，腔浸潤例で腔内の線源移動距離が大きい場合にはA点指示線量の減量を検討する（直腸及び膀胱への線量が高くなるため）.

7.1.2 指示線量

- 1回6 Gy以下を推奨
- 直腸評価点線量が過大な場合は，線源停留点変更，線源停留時間調整，指示線量の減量（5 Gy程度まで）を検討
- 高齢の患者などで子宮が小さくかつ腫瘍径も小さい（MRIなどで確認される）などの場合も，同様の変更/調整，線量の減量を考慮
- 腔壁伸展良好かつ大腫瘍径例では，7 Gyを越えない程度までの増加を検討可能

7.1.3 リスク臓器の線量評価基準点（ICRU38）

- 直腸評価基準点の線量計算は治療ごとを推奨
- 膀胱評価基準点の線量計算はオプション

7.1.4 B点線量

- B点の線量計算はオプション

7.2 照射パラメータ設定

7.2.1 線源停留位置

- タンデム内線源の停留は，原則タンデムアプリケーション先端（子宮底部）からフランジまでの範囲とする.
- 治療開始前MRIで病変進展が頸部のみ（体部浸潤の可能性が低い）と判断される場合，タンデム先端（子宮底部）から数cmの停留の省略を検討可能である. ただし複数回の腔内照射すべてで省略することは危険である.
- オボイド内線源の停留位置は，原則オボイドアプリケーション先端から屈曲手前までの範囲に，5-10 mm程度の間隔で複数点を設定. MRIなどで腫瘍の前後方向の偏位が明らかでない場合は，停留位置に偏りをつくることを検討する.

7.2.2 線源停留時間

- 同一の指示線量（A 点）であっても線源停留時間（線源強度配分）の違いにより、線量分布の形状は大きく異なる。
- 多くの治療計画コンピュータでは均等時間配分はデフォルト設定である。
- 均等時間配分と Manchester 法配分では、オボイド周囲の線量の広がりの方が前者で小さい。同一の指示線量（A 点）であっても直腸/膀胱線量は前者が低くなる。一方、大腫瘍径例では前者では腫瘍辺縁の線量を確保できない可能性がある。

8 合併症と対処

8.1 子宮穿孔

- ゾンデ / ヘガールの挿入時に子宮腔とは異なる方向に迷入し子宮壁を貫通することがある。
- 子宮頸部の腫瘍から体部後方にかけて、若しくは脆弱な子宮底部を貫通することが多い。
- 予定の長さ以上にゾンデ / ヘガールが挿入されることで気づかれる。
- 疑われた場合には挿入を中止し直ちに抜去する。
- 特に治療を要しない場合が多いが、腹膜炎の理学所見などがあれば適切に対処する。
- 子宮壁を貫通したことに気づかずタンデムを留置し照射を行った場合、タンデム先端近傍の腸管などに著しい高線量投与の危険がある。
- あらかじめ MRI 矢状断像で子宮内腔の方向、長さを確認することを推奨する。
- 挿入難易度の高い患者では婦人科医の立ち会いのもと超音波ガイド下にゾンデ / ヘガール / タンデムアプリーケータの挿入を行うことを推奨する。あるいは、婦人科医の立ち会いが困難な場合は事前にラミセルの挿入を依頼する。

8.2 腔裂傷

- 高齢者で腔壁が硬いあるいは狭腔例で腔壁の進展が不良な場合に、過剰なガーゼパッキングを試みた場合に生じる。
- 側壁に生じることが多い。
- 多くは圧迫により止血するが、動脈性の出血を伴う場合は縫合処置を要する。腔壁縫合は非常に高度な技術を要し婦人科医の関与が必須である。

9 経過観察

9.1 経過観察間隔

- 1-2 年目は 1-3 か月ごと、3 年目は 3-6 か月ごと、4-5 年目は 6 か月ごと、6 年目以降は 1 年ごとを推奨

9.2 観察項目

- 問診，内診，直腸診（直腸出血を惹起しないように注意する）：毎回
- 子宮頸部 / 腔細胞診：最初の2年間は3-6か月ごと，3-5年目は6か月ごと，その後は1年ごと
- 腹部CT：6か月-1年ごと
- 胸部X線（CT）：1年ごと

9.3 有害事象

- 特に腸管系，尿路系について評価する。

*本ガイドラインは厚生労働省がん臨床研究事業「がん医療の均てん化に資する放射線治療の推進及び品質管理に係る研究」班（石倉班）で作成した「子宮頸癌腔内照射（高線量率）マニュアル」に追加修正を加えたものである。

文献

1. 加藤真吾: 臨床的 QA. 子宮（頸部・体部）. 密封小線源治療における Quality Assurance (QA) システムガイドライン (2002) . 日放線腫瘍会誌 14 Suppl 2: 63-68, 2002.
2. Nag S, Erickson B, Thomadsen B, et al: The American Brachytherapy Society recommendations for high-dose-rate brachytherapy for carcinoma of the cervix. Int J Radiat Oncol Biol Phys 48: 201-211, 2000.
3. 日本放射線腫瘍学会編: 放射線治療計画ガイドライン 2012 年版, 東京, 金原出版, 2012.
4. 日本婦人科腫瘍学会編: 子宮頸癌治療ガイドライン 2011 年版, 東京, 金原出版, 2011.
5. Viswanathan AN, Beriwal S, De Los Santos JF, et al: American Brachytherapy Society consensus guidelines for locally advanced carcinoma of the cervix. Part II: high-dose-rate brachytherapy. Brachytherapy 11: 47-52, 2012.
6. 特定非営利活動法人放射線治療支援センター: 子宮頸癌に対する腔内照射 - 手技の基本とコツ - . http://www.rtsupport.jp/GanRinsho_dvd.html.

附) 子宮頸癌に対する画像誘導 3 次元治療計画と腔内照射

MRI や CT などの画像を用いた 3 次元治療計画に基づき密封小線源治療を行うのが 3D-Image-based brachytherapy (3D-IBBT) 又は 3D-Image-guided brachytherapy (3D-IGBT) である¹⁾。近年、欧州を中心に多くの研究報告が行われてその重要性が認識された結果、3 次元治療計画を行う施設が国内外で増えつつある。GEC-ESTRO のグループではハイリスク CTV を定義し、その D_{90} 線量が局所制御と相関していたとの報告²⁾や、直腸及び膀胱の DVH パラメータが晩期有害事象と相関していたとの報告がある³⁾。しかし、本邦では欧米と異なる治療スケジュールを用いていることもあり、DVH パラメータに対する線量基準はまだ確立されていないことに注意する必要がある。

- 通常、アプリケータ挿入状態で CT 又は MRI を撮影する。
- 画像取得時の体位は治療時と同じとする。
- ハイリスク CTV 及び膀胱、直腸、その他のリスク臓器を輪郭描出する。
- 治療計画と線量分布の評価を行う。その際、GEC-ESTRO が推奨している DVH パラメータの線量基準が、本邦の治療計画ではそのまま適用できないことに注意する。
- DVH パラメータ (例えば、ハイリスク CTV の D_{90} 、リスク臓器の D_{2cc} など) を基準に治療を行う場合でも、従来から用いられている A 点線量や ICRU38 で規定される膀胱、直腸の評価点線量も記録する。

文献

1. Pötter R, Haie-Meder C, Van Limbergen E, et al: Recommendations from gynaecological (GYN) GEC ESTRO working group (II): Concepts and terms in 3D image-based treatment planning in cervix cancer brachytherapy-3D dose volume parameters and aspects of 3D image-based anatomy, radiation physics, radiobiology. *Radiother Oncol* 78: 67-77, 2006.
2. Pötter R, Georg P, Dimopoulos JC, et al: Clinical outcome of protocol based image (MRI) guided adaptive brachytherapy combined with 3D conformal radiotherapy with or without chemotherapy in patients with locally advanced cervical cancer. *Radiother Oncol* 100: 116-123, 2011.
3. Georg P, Pötter R, Georg D, et al: Dose effect relationship for late side effects of the rectum and urinary bladder in magnetic resonance image-guided adaptive cervix cancer brachytherapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 82: 653-657, 2012.

前立腺癌 LDR ガイドライン

はじめに

前立腺癌に対する ^{125}I シード線源永久挿入療法は、1970 年代にアメリカで開始された。1980 年代には TRUS が開発され、画像ガイド下に経会陰的にシード線源を埋め込む技術が確立した。1990 年代には技術革新を受け、アメリカでは早期前立腺癌の治療として手術や外部照射に匹敵するまでに普及した。日本では法的な整備に時間がかかり、2003 年 9 月ようやく治療が開始された。2013 年 3 月現在、国内では 100 を越える施設で年間 3000 例以上の治療が実施されている。

1 適応基準^{1,2)}

- 期待余命 10 年以上
- 臨床病期 T1-T3a
- Gleason スコア 2-10
- 主に PSA < 50 ng/mL
- cN0, cM0

2 除外基準³⁾

2.1 絶対的禁忌

- 期待余命 5 年未満と考えられる患者
- 骨盤内リンパ節転移を有する患者
- 遠隔転移を有する患者
- 治療に対する同意が得られない患者

2.2 相対的禁忌

2.2.1 副作用の発生の危険性が高い症例

- 大きな中葉症例
- 骨盤照射の既往
- IPSS が極めて高い場合
- 骨盤内手術の既往が多数回ある患者
- 創傷治癒に問題がある重度の糖尿病
- 炎症性腸疾患

2.2.2 技術的に難しい症例

- 経尿道的前立腺切除による前立腺欠損が大きい場合
- 恥骨弓干渉が著しい場合
- 前立腺体積 > 50 cc ; 恥骨弓干渉を避けるためには前立腺体積は 40 cc 以下が目安であり、それを大きく超える場合にはホルモン療法による体積縮小を推奨する。

3 患者選択基準

3.1 単独治療

- 低リスク：cT1-T2a かつ Gleason スコア 6 以下かつ PSA < 10 ng/mL
- 中リスクの一部（cT1-T2b, Gleason スコア 3 + 4, PSA < 10 ng/mL かつ生検陽性率 1/3 以下の場合を選択して単独治療の適応としている施設がある）
- 放射線治療後局所再発の救済照射

3.2 外部照射併用

- cT2c-T3a ないし Gleason スコア 7 以上ないし PSA \geq 10 ng/mL
- MRI で被膜外浸潤がある場合
- 生検陽性率が高い場合

4 線源, 線量計算

4.1 線源

- ^{125}I シード線源
- 日本では米国から輸入しており, 供給会社が 2 社ある.
- 分離型と連結型が現在利用可能である.
- 線源強度は 15.3 MBq, 13.1 MBq, 11.0 MBq の 3 種類が供給される. 前立腺体積や外部照射の有無により強度を決定する.

4.2 治療計画装置

- 受入, 線源入力, QA に関しては「 [\$^{125}\text{I}\$ 永久挿入治療の物理的品質保証に関するガイドライン](#)」⁴⁾及び「I-125 永久挿入治療物理 QA マニュアル (2011)」⁵⁾を参考とする.
- 画像誘導が必要である. 画像のスライス厚は術前, 術中計画では 5 mm 以下, 術後計画では 3 mm 以下が望ましい.
- 3 次元的計算と DVH 分析が可能である.
- 超音波装置及び治療計画装置の位置精度と両者の一致性を検証しておく.

4.3 線量計算, 線量評価

- 線量計算の原理は AAPM TG-43U1⁶⁾に従う.
- 一般に処方線量は PTV に対して行う.
- 尿道や直腸の臓器を評価する場合には処方線量を基準とする.
- 尿道や直腸の臓器の照射範囲は明確ではないため, これらに対する D_x (評価臓器の x% ないし x cc の体積が照射される線量) や V_x (評価線量の x% が照射される体積 cc) を用いる.

5 治療計画^{3,7)}

5.1 CTV と PTV

- 前立腺 (CTV-P)
- 前立腺 + マージン (一般に 3 mm, 直腸側は 0 mm) (CTV-PM)
- 精嚢基部 1/3 程度 (T3 では考慮する)
- CTV = PTV とする.

5.2 線源配置

- 修正均一型
- 修正辺縁型
- 治療計画装置のコンピュータによるインバースプランニングや最適化計画

5.3 治療計画

- 治療計画装置を用い, 術前ないし術中に行う. ノモグラムを参考としてもよい.
- 計画において処方線量が標的体積を包含するように努める.
- 前立腺に対する V_{100} , V_{150} , V_{200} , D_{90} を用いる.
- 尿道に対して UV_{150} , UV_{200} , UD_5 , UD_{10} , UD_{30} , UD_{50} , UD_{90} を用いる. UD_5 は最大に近く, UD_{90} は最小に近い. 一つだけで尿道線量を代表する場合には UD_{10} ないし UD_{30} とする.
- 直腸に対しては RV_{100} , RV_{150} , RD_{2cc} , RD_{1cc} , $RD_{0.1cc}$, RD_{10} を用いる. $RD_{0.1cc}$, RD_{10} は最大値に近い. 一つだけで直腸線量を代表する場合には RV_{100} ないし RD_{2cc} とする.

5.4 線量均一性

- 均一性の重要性は確立していないが, $V_{150} < 50\%$, $V_{200} < 20\%$ を目標とし, 処方線量の 2 倍を超える高い線量域は最小限とするように努める.

5.5 DVH

- 術前計画では CTV-PM に対して計画を行い, 術中計画時には CTV-P に対する処方が一般的である. その差を考慮し, 処方線量の値は術中計画では高めに設定する必要がある.
- 計画目標
- PTV : 計画では $V_{100} \geq 98\%$, $D_{90} \geq$ 処方線量, $V_{150} < 50\%$
- 尿道 : UD_{10} は処方線量の 150% 未満, UD_{30} は処方線量の 125% 未満を目標とする.
- 直腸 : V_{100} は 1 cc 未満でなるべく 0 cc に近づけ, $D_{0.1cc}$ は処方線量未満を目標とする.

6 術中手技

6.1 麻酔

- 全身麻酔ないし腰椎麻酔で行う.
- 体位は超碎石位とする.

6.2 アプリケータ挿入術

- 分離型線源は Mick アプリケータを用いる.
- TRUS を用い経会陰的にテンプレートを用いて画像誘導下にアプリケータ針を挿入する.
- TRUS は 2 方向性 (横断面と矢状断面) の切り替えが必要である.
- 術中にアプリケータ針やシード線源の位置を確認するために補助的に X 線透視を用いる.

6.3 アプリケータ抜去後

- 止血の確認. 止血圧迫は直接皮膚に手を接しないようにし, 線源との距離をつくるか遮蔽物を用いる.
- 骨盤 X 線写真の撮影を行う.
- 膀胱内に線源脱落が疑われる場合には膀胱鏡を用いる.

7 線源と処方線量

7.1 単独治療

- 処方線量は一般には PTV に 145 Gy とし, 術前計画法で PTV (CTV-PM) に 145 Gy が原則, 術中計画法では PTV (CTV-P) に 160 Gy が望ましい.
- ACR-ASTRO ガイドライン⁸⁾では, 140-160 Gy を推奨している.

7.2 外部照射併用

- PTV に 100-110 Gy. 外部照射は 40-50.4 Gy / 20-28 回 / 4-6 週を併用.

8 外部照射併用

8.1 標的体積

- 前立腺と精嚢ないし精嚢基部
- 潜在的骨盤リンパ節転移の可能性を考慮して骨盤リンパ節まで標的体積と設定することも許容される.

8.2 外部照射技術

- 3次元照射ないし IMRT
- 45 Gy / 25 回 / 5 週の外部照射併用では直腸の D_{30-D40} Gy をなるべく低くする.

8.3 時期

- 密封小線源治療の前でも後でもよい。
- 外部照射先行では治療終了後 2 週以内に密封小線源治療を行い，密封小線源治療先行では 4-8 週後に外部照射を開始する。

9 内分泌療法併用

9.1 薬剤

- LHRH アゴニスト単剤ないし LHRH アゴニストと抗アンドロゲン剤の併用。

9.2 適応

- 前立腺体積縮小目的。前立腺が 40 cc を大きく超える場合や恥骨弓干渉が明らかな場合，術前内分泌療法を 2-3 か月先行する。
- 術後内分泌療法の適応については未解決。本邦の臨床試験である SHIP study⁹⁾，TRIP study¹⁰⁾ の結果待ち。

10 術後線量評価

10.1 画像

- CT ないし MRI ないし CT，MRI，TRUS の融合画像。
- 線源同定については CT が標準。

10.2 評価時期

- CT の撮影時期は day 0，1，30 が一般的である。本邦では 1 か月後が多い。
- day 0，1 の術後評価は前立腺の浮腫のため線量が過小評価されることを念頭に置く。
- 各施設で一定にすべきである。

10.3 輪郭

- CTV-P：画像上認められる前立腺体積
- CTV-PM：前立腺に直腸側（及び頭側）を除く 3 mm のマージンを含む体積
- 尿道：術直後では尿道カテーテルにより同定する。1 か月後では尿道カテーテルが挿入されていない場合には，術直後の CT，術中 TRUS，又は MRI を参考とするか重ね合わせて描出するか，前立腺中心で代用する。一辺 7 mm の正三角形ないし直径 7 mm 程度の円を用いる。術後線量評価のためだけに尿道カテーテルを挿入することは行われていない。
- 直腸：直腸外側の輪郭を用いる。

10.4 推奨される術後線量パラメータ（括弧内はオプション）

- CTV-P : D_{90} , V_{100} , V_{150} (D_{100} , V_{200})
- 尿道 : UD_{10} , UV_{150} (UD_5 , UD_{10} , UD_{30} , UD_{50} , UD_{90})
- 直腸 : RV_{100} , RD_{2cc} ($RD_{0.1cc}$, RD_{1cc})
- 尿道球部, 神経血管束 : 有用な指標は確立されていない

10.5 達成すべき術後線量評価

- CTV-P : $D_{90} \geq$ 処方線量, $V_{100} \geq 95\%$, $V_{150} < 60\%$
- 尿道 : $UV_{150} < 0.1$ cc, $UD_{10} <$ 処方線量の 150%
- 直腸 : $RV_{100} < 1$ cc, $RD_{0.1cc} <$ 処方線量

11 経過観察

11.1 生化学的再発

- 1年目は3か月おき. 1年以後は6か月ごとに PSA を測定. 良性の一過性の上昇 (PSA バウンス現象) は3年以内に多くみられ, 再発と区別する必要がある.
- 生化学的再発の定義は, Phoenix の定義 (最低の PSA 値から 2.0 ng/ml 以上上昇した場合) を用いることが推奨される.
- それ以外に ASTRO の定義 (PSA 値が3回連続して上昇した場合) 若しくは PSA が最低値になった以降 PSA > 0.40 ng/mL となった場合を生化学的再発の定義として用いる報告もある.
- 「生化学的再発 = 救済療法が必要」というわけではない. どのような症例に対してどの時期に救済療法を行うことが最終的な予後を最も長く保障できるかについては結論が出ていない.

11.2 有害事象及び QOL

- 尿路系, 消化管系, 性的機能について評価する.
- 急性尿閉は術後 1 週以内に生じることが多い. 予防として α_1 ブロッカーの投与が有用である. 尿閉の場合には尿道カテーテル留置を数日間行い, 繰り返すようなら自己導尿を指導する.
- 1年以上続く重症な尿閉に対しては慎重に経尿道的前立腺切除を検討する. 安易な切除後には尿失禁が生じやすい.
- 中等度-重度の直腸出血に対しては, 下部内視鏡による確認が望ましい. その際, 照射部位の生検は禁忌. 出血量, 期間によって, ステロイド注腸, アルゴンプラズマ凝固, 高圧酸素療法などを検討する.

11.3 治療後の生検

- ルーチンには行わない。臨床試験のプロトコルの場合は例外である。
- 治療後局所再発の救済術が適応となる場合には、必須である。
- 術後2年以内の病理組織学的評価は困難である。

12 放射線治療後局所再発の救済照射

- 熟練した施設での実施が望まれる。
- 生検による局所再発の確認が必須である。
- 他部位への転移がないことを画像で確認する。
- 一般的な適応として、救済術前 PSA 値が低い (5.0 ng/ml 以下)、PSA 倍加時間が 6 か月以上、初回放射線治療の晩期毒性が低いことがあげられる。
- 適切な標的体積や処方線量については確立されていない。

13 退出基準及び放射線安全管理

- 「[シード線源による前立腺永久挿入密封小線源治療の安全管理に関するガイドライン](#)」¹¹⁾を参考とする。
- 公衆及び介護者、患者を訪問する子供について抑制すべき線量の基準を遵守するように担当医らが注意、指導を行う。
- 線源脱落の危険に備え術後 1 日は管理区域に入院させる。
- 適用量又は体内残存放射能が 1300 MBq 以下ないし患者対表面から 1 m 離れた地点における 1 cm 線量当量率が 1.8 μ Sv/h 以下とする。
- 放射線科医、泌尿器科医、看護師、診療放射線技師、医学物理士、安全管理者らの共同作業が必要である。

14 施設基準

- JASTRO と JRS が共同認定する放射線治療専門医及び JUA 認定の泌尿器科専門医が常勤の施設である。
- 放射線源安全取扱いに関する国内の教育、講習を受講する必要がある。

文献

1. Davis BJ, Horwitz EM, Lee WR, et al: American Brachytherapy Society consensus guidelines for transrectal ultrasound-guided permanent prostate brachytherapy. *Brachytherapy* 11: 6-19, 2012.
2. NCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology: Prostate Cancer Version 2.2013. http://www.nccn.org/professionals/physician_gls/pdf/prostate.pdf.
3. 日本放射線腫瘍学会編: 放射線治療計画ガイドライン 2012 年版, 東京, 金原出版, 2012.
4. ¹²⁵I 永久挿入治療物理 QA ガイドライン検討専門小委員会, 日本放射線腫瘍学会 QA 委員会: [¹²⁵I 永久挿入治療の物理的品質保証に関するガイドライン](#). 2010.
5. HDR 組織内照射等の標準化の研究班: I-125 永久挿入治療物理 QA マニュアル (2011) . 厚生労働省がん研究開発費 (指定研究 21 分指 8②) (小口正彦主任研究者) , 2011.
6. Rivard MJ, Coursey BM, DeWerd LA, et al: Update of AAPM Task Group No. 43 Report: A revised AAPM protocol for brachytherapy dose calculations. *Med Phys* 31: 633-674, 2004.
7. Nath R, Bice WS, Butler WM, et al: AAPM recommendations on dose prescription and reporting methods for permanent interstitial brachytherapy for prostate cancer: Report of Task Group 137. *Med Phys* 36: 5310-5322, 2009.
8. Rosenthal SA, Bittner NH, Beyer DC, et al: American Society for Radiation Oncology (ASTRO) and American College of Radiology (ACR) practice guideline for the transperineal permanent brachytherapy of prostate cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 79: 335-341, 2011.
9. Miki K, Kiba T, Sasaki H, et al: Transperineal prostate brachytherapy, using I-125 seed with or without adjuvant androgen deprivation, in patients with intermediate-risk prostate cancer: study protocol for a phase III, multicenter, randomized, controlled trial. *BMC Cancer* 10: 572, 2010.
10. Konaka H, Egawa S, Saito S, et al: Tri-Modality Therapy with I-125 brachytherapy, external beam radiation therapy, and short- or long-term hormone therapy for high-risk localized prostate cancer (TRIP): study protocol for a phase III, multicenter, randomized, controlled trial. *BMC Cancer* 12: 110, 2012.
11. 日本放射線腫瘍学会, 日本泌尿器科学会, 日本医学放射線学会: [シード線源による前立腺永久挿入密封小線源治療の安全管理に関するガイドライン \(第五版\)](#) . 2011.

前立腺癌 HDR ガイドライン

はじめに

前立腺癌に対する HDR 組織内照射は、経会陰的に前立腺へアプリータを刺入し、RALS で ^{192}Ir をアプリータ内に停溜させることにより、 γ 線を組織内から照射する方法である。前立腺癌の α/β 値が主な危険臓器である直腸よりも低く見積もられていることから放射線生物学的に有利な方法と考えられている。

1 適応基準

- 臨床病期 T1-T3b, 一部の T4
- Gleason スコア 5-10
- PSA 制限なし
- cN0, cM0

2 除外基準

2.1 絶対的禁忌

- 麻酔不可能
- 臥位不可能
- 治療に対する同意が得られない患者

2.2 相対的禁忌

2.2.1 副作用の発生の危険性が高い症例

- 大きな中葉症例
- 骨盤照射の既往
- IPSS が極めて高い場合
- 骨盤内手術の既往が多数回ある患者
- 創傷治癒に問題がある重度の糖尿病
- 炎症性腸疾患

2.2.2 技術的に難しい症例

- 経尿道的前立腺切除による前立腺欠損が大きい場合
- 恥骨弓干渉が著しい場合

3 患者選択基準

3.1 単独治療

- 適応患者すべてに単独治療を行う施設がある。
- 放射線治療後局所再発の救済照射

3.2 外部照射併用

- 適応患者すべて

4 線源, 線量計算

4.1 線源

- RALS 用 ^{192}Ir 線源

4.2 治療計画装置

- 画像のスライス厚は 3 mm 以下が望ましい.
- 3次元線量分布計算と DVH 分析が可能な装置とする.

4.3 線量計算, 線量評価

- 一般に処方線量は計画標的体積 (PTV) に対して行う. PTV の 90%以上 に処方線量が投与されるのが望ましい.
- 尿道や直腸の照射範囲は明確ではないため, これらに対する D_x (評価臓器の $x\%$ ないし x cc の体積が照射される線量) や V_x (評価線量の $x\%$ が照射される体積 cc) を用いる (例: D_{90} , V_{100} , V_{150} など).

5 手術手技

5.1 麻酔

- 硬膜外, 脊椎, あるいは全身麻酔下にアプリータを刺入する.
- 周術期は硬膜外麻酔, PCA を使用する.

5.2 アプリータ刺入

- アプリータの材質は CT, MRI 対応のものとする.
- TRUS ガイド下に施行する.
- 尿道を貫通しないよう注意する.
- 精嚢浸潤の可能性が高い症例はカテーテルを精嚢まで刺入してもよい.

5.3 基準マーカー

- 前立腺底部と尖部に基準マーカーを挿入し, 標的の位置確認を容易にするのが望ましい.

6 治療計画

6.1 画像取得

- アプリケータ刺入後に画像を取得する。
- (基準マーカー), フォーリーカテーテルが入っていることを確認する。
- アーチファクトを発生させる人工物は外しておく。
- できるだけ治療時と同じ体位を取る。
- スライス厚は 3 mm 以下とする。
- アプリケータ全体 (頭側はアプリケータ先端まで, 尾側は会陰部まで) が十分に入る範囲を撮像する。
- 前立腺は少なくとも 1 cm 頭尾側に余裕をもって撮像されるよう調節する。
- FOV に体輪郭全部を入れる必要はない。適切な大きさに設定し画像の質を保つ。

6.2 停溜位置及び停溜時間

- 最適化アルゴリズム (幾何学的最適化法あるいはインバースプラン法) を使用する。マニュアルによる最適化も使用する。

6.3 標的体積

- GTV : 画像上識別できる腫瘍の範囲
- CTV : T1c-T2c, 前立腺 ; T3a-T3b, 前立腺 + GTV ± 精囊
- PTV : CTV = PTV とする。

6.4 危険臓器

- 膀胱 : (参考例) 外輪郭を囲む。
- 尿道 : (参考例) 上下縁は CTV が描出されるスライスより 1 cm 頭尾側のスライスまで。フォーリーカテーテルの外輪郭を囲む。
- 直腸 : (参考例) 下縁は肛門入口から 3 cm 上あるいは坐骨結節下縁, 上縁は直腸-S 状結腸移行部まで。筋層を含めた外輪郭を囲む。

6.5 DVH パラメータ

- PTV の 90% に処方線量を投与することを目標とする ($V_{100} \geq 90\%$, $D_{90} \geq$ 処方線量).
- 直腸線量: 十分な根拠をもった上限値は確立されていない.
(参考例)
 - 1) 通常分割外部照射の域値 ($V_{50} < 55\%$, $V_{60} < 40\%$, $V_{70} < 25\%$, $V_{75} < 5\%$ など)¹⁾ を参考に使用する分割スケジュールに換算する.
 - 2) 処方線量の 100% が投与される体積を 1 cc 未満にする ($RV_{100} < 1$ cc).
- 尿道線量: 十分な根拠をもった上限値は確立されていない.
(参考例) 処方線量の 125% が投与される体積を 1 cc 未満にする ($UV_{125} < 1$ cc).
- 膀胱線量: 十分な根拠をもった上限値は確立されていない.
(参考例) 処方線量の 75% が投与される体積を 1 cc 未満にする.
- 目標とする DVH パラメータが達成できない場合は再度最適化を実施する. あるいはカテーテル位置の調節, 再刺入を考慮する.

6.6 線量分布図

- 少なくとも処方線量の 50%, 100%, 150% を表す等線量曲線を PTV 及び CTV と合わせて表示させる.

7 治療

7.1 照射

- 1 回目の照射はアプリケータ刺入と同日に行う.
- 2 回目以降の照射は, 前回の照射から 6 時間以上経過し, かつ 24 時間以内の時点で行う.

7.2 アプリケータ位置照合

- 治療計画時と毎回の照射時で前立腺とアプリケータの位置関係に変動がないか確認する.
- 肉眼的確認とともに,
 - 1) X 線透視装置でマーカーとアプリケータの位置関係を確認する.
 - 2) CT でアプリケータと前立腺の位置関係を確認する (マーカーがない場合でも可能).1), 2) のどちらかは必ず行う.
- アプリケータの移動が修正不能であった場合, その時点における位置で再度最適化を試みる. あるいは治療を延期し再刺入を考慮する.

8 処方線量

- $\alpha/\beta = 2$ として BED が 140-220 Gy₂ 程度となるように分割スケジュールを組み立てる.
- 複数回カテーテルを刺入して一回ずつ照射する方法 (multiple implants with a single fraction) と, 一回のカテーテル刺入で複数回照射する方法 (a single implant with multiple fractions) があるが, 本邦では後者が多い.

8.1 HDR 単独（例）

- 24-27 Gy / 2 回 / 1 日 ²⁾
- 31.5 Gy / 3 回 / 2 日 ³⁾
- 34-36 Gy / 4 回 / 3 日 ³⁾
- 48-54 Gy / 8-9 回 / 5 日 ⁴⁾

8.2 外部照射併用（例）

- 10 Gy / 1 回 / 1 日 + 外部照射 50 Gy / 20 回 / 5 週 ⁵⁾
- 15 Gy / 2 回 / 1 日 + 外部照射 50 Gy / 25 回 / 5 週 ⁶⁾
- 18 Gy / 2 回 / 1 - 2 日 + 外照射 39 Gy / 13 回 / 3 週 ⁷⁾
- 16.5-19.5 Gy / 3 回 / 3 週 + (同時) 外部照射 46 Gy / 23 回 / 5 週 ⁸⁾
- 22 Gy / 4 回 / 2 日 + 外部照射 41.8 Gy / 19 回 / 4 週 ⁹⁾
- 30-37.5 Gy / 5 回 / 3 日 + 外部照射 30 Gy / 10 回 / 2 週 ¹⁰⁾

9 外部照射併用

9.1 標的体積

- 前立腺と精嚢ないし精嚢基部
- 潜在的骨盤リンパ節転移の可能性を考慮して、骨盤リンパ節まで標的体積と設定することも許容される。

9.2 併用時期

- HDR と外部照射を合わせ 7 週間以内の終了を目標とする。
- HDR 前, HDR 後, あるいは HDR 前後

10 内分泌療法併用

10.1 薬剤

- LHRH アゴニスト単剤ないし LHRH アゴニストと抗アンドロゲン剤の併用。

10.2 適応

- 再発リスクに応じて適宜使用する。

11 経過観察

11.1 生化学的再発

- 1年目は3か月おき、1年以後は6か月ごとにPSAを測定。良性の一過性の上昇（PSAバウンス現象）は3年以内に多くみられ、再発と区別する必要がある。
- 生化学的再発の定義は、Phoenixの定義（最低のPSA値から2.0 ng/ml以上上昇した場合）を用いることが推奨される。
- それ以外にASTROの定義（PSA値が3回連続して上昇した場合）若しくはPSAが最低値になった以降PSA > 0.40 ng/mLとなった場合を生化学的再発の定義として用いる報告もある。
- 「生化学的再発 = 救済療法が必要」というわけではない。どのような症例に対してどの時期に救済療法を行うことが最終的な予後を最も長く保障できるかについては結論が出ていない。

11.2 有害事象及びQOL

- 尿路系、消化管系、性的機能について評価する。
- 尿閉の場合には尿道カテーテル留置を数日間行い、繰り返すようなら自己導尿を指導する。
- 1年以上続く重症な尿閉に対しては慎重に経尿道的前立腺切除を検討する。安易な切除後には尿失禁が生じやすい。
- 中等度 - 重度の直腸出血に対しては、下部内視鏡による確認が望ましい。その際、照射部位の生検は禁忌。出血量、期間、貧血の有無によって、ステロイド注腸、アルゴンプラズマ凝固、高圧酸素療法などを検討する。

11.3 治療後の生検

- ルーチンには行わない。臨床試験のプロトコルの場合は例外である。
- 救済術が適応となる場合には考慮する。
- 術後2年以内の病理組織学的評価は困難である。

12 放射線治療後局所再発の救済照射

- 熟練した施設での実施が望まれる。
- 生検による局所再発の確認が必須である。
- 適切な標的体積や処方線量については確立されていない。

文献

1. Fiorino C, Fellin G, Rancati T, et al: Clinical and dosimetric predictors of late rectal syndrome after 3D-CRT for localized prostate cancer: preliminary results of a multicenter prospective study. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 70: 1130-1137, 2008.
2. Ghilezan M, Martinez A, Gustason G, et al: High-dose-rate brachytherapy as monotherapy delivered in two fractions within one day for favorable/intermediate-risk prostate cancer: preliminary toxicity data. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 83: 927-932, 2012.
3. Corner C, Rojas AM, Bryant L, et al: A Phase II study of high-dose-rate afterloading brachytherapy as monotherapy for the treatment of localized prostate cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 72: 441-446, 2008.
4. Yoshioka Y, Konishi K, Oh RJ, et al: High-dose-rate brachytherapy without external beam irradiation for locally advanced prostate cancer. *Radiother Oncol* 80: 62-68, 2006.
5. Cury FL, Duclos M, Aprikian A, et al: Single-fraction high-dose-rate brachytherapy and hypofractionated external beam radiation therapy in the treatment of intermediate-risk prostate cancer - long term results. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 82: 1417-1423, 2012.
6. Sato M, Mori T, Shirai S, et al: High-dose-rate brachytherapy of a single implant with two fractions combined with external beam radiotherapy for hormone-naïve prostate cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 72: 1002-1009, 2008.
7. 築山巖, 小林伶子, 平塚純一, 他: 中リスク前立腺癌に対する外部照射併用高線量率イリジウム組織内照射の臨床第II相試験の多施設共同研究報告. *臨床放射線* 57: 577-583, 2012.
8. Martinez AA, Kestin LL, Stromberg JS, et al: Interim report of image-guided conformal high-dose-rate brachytherapy for patients with unfavorable prostate cancer: the William Beaumont phase II dose-escalating trial. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 47: 343-352, 2000.
9. Hiratsuka J, Jo Y, Yoshida K, et al: 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.
10. Ishiyama H, Kitano M, Satoh T, et al: Genitourinary toxicity after high-dose-rate (HDR) brachytherapy combined with hypofractionated external beam radiotherapy for localized prostate cancer: an analysis to determine the correlation between dose-volume histogram parameters in HDR brachytherapy and severity of toxicity. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 75: 23-28, 2009.

食道癌腔内照射ガイドライン

はじめに

本邦における人口の高齢化に加え、内視鏡による検診とその技術の向上により、手術が困難な食道表在癌症例が増加している。食道癌に対する腔内照射はHDR照射装置や治療用アプリケータの開発により安全な線量増加による治療成績の向上を期待して、本邦では主に表在癌症例に対する根治治療として、1990年代から外部照射後の追加照射として行われてきた¹⁾。JASTRO研究グループでは食道表在癌に対する標準的な治療法について提案しており²⁾、これに準じた方法での良好な治療成績が報告されている³⁻⁶⁾。一方、進行癌で生じる食道狭窄に対して短期間での嚥下障害改善を目的に緩和的な治療として行われる場合もある。

A 根治治療

1 適応基準

- 胸部食道癌（頸部や腹部も技術的には可能であるが、アプリケータの固定に注意が必要）
- 臨床病期 T1N0M0

2 除外基準

2.1 絶対的禁忌

- 妊娠中の患者
- 腫瘍長が長くてアプリケータでカバーできない場合
- アプリケータ留置、安静保持が困難である患者
- 治療についての理解及び同意が得られない患者
- クリップングができない患者
- 治療部位に対する照射歴のある患者

2.2 相対的禁忌

- コントロール不良の糖尿病を有する患者
- 同時化学療法の併用を予定している患者^{7,8)}
- 出血のリスクが高い食道静脈瘤を合併している患者
- 生命予後に影響する重篤な合併症を有している患者
- 下部食道癌で高度な逆流性食道炎を合併している患者
- 活動性の膠原病、特に強皮症を有する患者

3 患者選択基準

- 画像上リンパ節転移がなく、食道超音波内視鏡で深達度が粘膜下層までの病変

4 線源，線量計算

4.1 線源

- RALS 用 ^{192}Ir 線源ないし ^{60}Co 線源（以前は ^{137}Cs による LDR 照射も施行されていたが，治療時間が長いため，不向きである）

4.2 治療計画装置，線量計算

- 苦痛やアプリケータのずれを最小限にするために，短時間で行う．
- 治療機器専用の線量計算プログラムを使用する．
- 一本線源による照射なので，基本的には正面及び側面の単純 X 線写真で線量計算が可能である．
- CT での治療計画あるいは線量分布を確認する場合にはスライス厚は 3 mm 以下が望ましい．
- アプリケータの内部，外部バルーン内に適量の液体（生理食塩水と造影剤）が注入されていることとバルーンが拡張していることを確認する．
- 処方線量は標準的には食道粘膜下 5 mm を基準とする（アプリケータの径に注意）

5 治療計画

5.1 臨床的標的体積と計画標的体積（一本線源での照射のため，標的長を説明する）

- クリッピングされた部位：GTV
- GTV + マージン（頭尾 1 cm 程度）：CTV
- CTV = PTV であるが，治療計画での過線量を避けるため，線源配置は CTV に 0.5-1.0 cm 上下に拡大する．

5.2 線源配置，線量均一性，線量評価

- 最適化は幾何学的最適化法をベースとし，線量分布で処方線量が線源にほぼ平行となるように確認しながらマニュアルで調整する．調整しないと中央付近や線源端で食道粘膜面に過線量となることがあるので注意する．
- アプリケータの彎曲がある場合には，処方点を彎曲の内側におくと過線量を生じにくい．
- CT 画像の取得は，X 線での治療計画をした場合でも DVH 計算が可能であり，心臓，気管，脊髄などの照射線量を評価できる利点がある．

6 挿入手技

6.1 前処置

- 病変部を照射時に透視下で確認するために，治療前にクリッピングを施行する．
- 照射前は禁飲食とし，急変時の対応に対する準備が必要である．

6.2 アプリケータ挿入術

- 土器屋式の 2 重バルーンアプリケータを使用する。この際、可能であれば、内径の大きい直径 20 mm のアプリケータを使用する。
- 内視鏡施行時同様に局所麻酔の施行と硫酸アトロピンを筋注する。
- 左側臥位で挿入し、治療計画からは仰臥位で行うとよい。
- 透視で確認しながら位置を補正できたら、適量の液体を注入しバルーンを拡張する。

6.3 照射

- 治療直前にアプリケータの位置及びバルーンの拡張程度を透視で確認し、必要があれば補正する。

6.4 アプリケータ抜去

- バルーンアプリケータは注入された液体を完全に抜いてから抜去する。
- 抜去後は内視鏡施行後と同様に数時間の禁飲食が必要である。

7 照射，線量分割，時期

- JASTRO 研究グループのガイドラインに準じる²⁾。
- 外照射併用の場合は外照射 50-60 Gy / 25-30 回 / 5-6 週の終了後に行う。
- 密封小線源治療の 1 回線量は 4 Gy を越えると食道合併症が高くなるため、総線量 8-12 Gy / 3-4 回 / 2-3 週で施行する。

8 経過観察

8.1 診察法

- 通常の食道癌放射線治療後と同様である。
- 食道造影は治療効果を判断できないため、局所の評価については 3-6 か月間隔の定期的な内視鏡検査が必要である。
- 治療後は潰瘍、穿孔の危険性があるため、再発が疑われなければむやみに生検を施行しない。
- リンパ節転移や遠隔転移については 1-2 回 / 年の CT 検査を施行する。

8.2 有害事象

- 食道炎：治療終了後、2-3 週を経過して軽快することが多い。外部照射ですでに食道炎が生じている場合が多く、炎症の増悪による食事摂取障害に注意する。また、刺激物の摂取を控えるよう日常生活の指導も重要である。
- 食道潰瘍：難治性になることがあるため、照射後は常にその発生に注意した診療を行う。

9 再発後の救済術

- 熟練した施設での実施が望まれる。
- 同じ部位への再照射は困難であるため、内視鏡的治療及び外科治療を検討する。特に表在性の局所再発の症例も多く、この場合では内視鏡的治療でも救済の可能性が高く、かつ合併症も少ないため、根治放射線治療後は定期的な内視鏡検査が重要である。

B 緩和治療

1 適応基準

- 胸部食道癌（頸部や腹部も技術的には可能であるが、アプリータの固定には注意が必要である。）
- 根治治療が望めない症例で、臨床的に本治療による嚥下困難の一時的改善が期待でき、患者のQOL向上に有効であると判断された進行食道癌

2 除外基準（多くの場合は臨床的判断による）

- アプリータ留置、安静保持が困難である症例
- 治療についての理解及び同意が得られない症例
- 食道内にステントが挿入されている症例
- 嚥下に関する症状のない症例

3 患者選択基準

- 根治治療を施行できる可能性がある症例には施行しない。

4 線源挿入手技

- 食道用アプリータを用いることができる場合は、根治目的の手法と同様にアプリータの留置を行う。
- 食道狭窄が高度で食道用アプリータの挿入が困難な場合は細径のアプリータを用いるが、線源と食道粘膜の距離が近い場合、過線量に注意が必要である。

5 治療計画

- 患者の苦痛やアプリータのずれを最小限にするために、可能な限り短時間で行えるよう心がける。食道アプリータを使用し、かつクリップが装着できている場合には根治治療と同様に施行する。
- また、以下の点に注意して行う。
 - ✓ CT上でも病変部が特定しやすいため、CTベースでの治療計画が望ましい。
 - ✓ 線量評価点は原則粘膜下5mmとするが、病変部の厚みに応じて線量評価点を変更することもある（5-10mm程度）
 - ✓ 処方線量は、単回施行のことが多いので6-12Gy/回など1回線量を高くする方がむしろ有用である⁸⁾。腫瘍辺縁や正常粘膜の線量に関する記載は行っておく。

文献

1. Okawa T, Dokiya T, Nishio M, et al: Multi-institutional randomized trial of external radiotherapy with and without intraluminal brachytherapy for esophageal cancer in Japan. Japanese Society of Therapeutic Radiology and Oncology (JASTRO) Study Group. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 45: 623-628, 1999.
2. Nemoto K, Yamada S, Nishio M, et al: Results of radiation therapy for superficial esophageal cancer using the standard radiotherapy method recommended by the Japanese Society of Therapeutic Radiology and Oncology (JASTRO) Study Group. *Anticancer Res* 26: 1507-1512, 2006.
3. Nishimura Y, Okuno Y, Ono K, et al: External beam radiation therapy with or without high-dose-rate intraluminal brachytherapy for patients with superficial esophageal carcinoma. *Cancer* 86: 220-228, 1999.
4. Sai H, Mitsumori M, Araki N, et al: Long-term results of definitive radiotherapy for stage I esophageal cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 62: 1339-1344, 2005.
5. Ishikawa H, Nonaka T, Sakurai H, et al: Usefulness of intraluminal brachytherapy combined with external beam radiation therapy for submucosal esophageal cancer: long-term follow-up results. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 76: 452-459, 2010.
6. Ishikawa H, Sakurai H, Yamakawa M, et al: Clinical outcomes and prognostic factors for patients with early esophageal squamous cell carcinoma treated with definitive radiation therapy alone. *J Clin Gastroenterol* 39: 495-500, 2005.
7. Gaspar LE, Winter K, Kocha WI, et al: A phase I/II study of external beam radiation, brachytherapy, and concurrent chemotherapy for patients with localized carcinoma of the esophagus (Radiation Therapy Oncology Group Study 9207): final report. *Cancer* 88: 988-995, 2000.
8. Yorozu A, Dokiya T, Oki Y, et al: High-dose-rate brachytherapy boost following concurrent chemoradiotherapy for esophageal carcinoma. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 45: 271-5, 1999.

LDR 物理 QA ガイドライン

はじめに

本邦では、LDR 密封小線源治療用の線源として ^{90}Sr , ^{106}Ru , ^{125}I , ^{137}Cs , ^{192}Ir , ^{198}Au の線源が使用可能である。しかし ^{125}I 線源以外の治療実施施設数の大幅な減少、更に ^{137}Cs 線源の製造中止により、国内の LDR 密封小線源治療は ^{125}I の永久挿入治療が大部分を占める。上記より、物理 QA の内容を ^{125}I 永久挿入治療中心に述べるが、それ以外の線源に関しても根本的な考え方は同じである。

^{125}I 永久挿入治療では、TRUS、ステッパー、アプリケーター、治療計画装置など多くの機器が使用され、それら全てが物理 QA の対象となる。安全かつ高精度な治療の実施と臨床データのエビデンスを担保することを目的に、幅広く ^{125}I 永久挿入治療の物理 QA 項目に関する検討が行なわれた。その成果として、2009 年に厚生労働省がん研究助成金土器屋班（17-10：主任研究者 土器屋卓志）より「I-125 永久挿入治療物理 QA ガイドライン（Ver.1）」¹⁾、2011 年には改訂版にあたる厚生労働省がん研究開発費小口班（指定研究 21 分指 8②：主任研究者 小口正彦）より「I-125 永久挿入治療物理 QA マニュアル（2011）」²⁾と詳細な報告書が提出された。加えて JASTRO QA 委員会では、土器屋班の報告をもとに臨床上特に重要となる項目を精査し、再編成した「 [\$^{125}\text{I}\$ 永久挿入治療の物理的品質保証に関するガイドライン](#)」³⁾が 2010 年に策定されている。そのため、本ガイドラインでは LDR 物理 QA の詳細を述べず、線量計算方法の注意点を簡潔に記すことにした。LDR 物理 QA の詳細は、上記のガイドラインなどを参照されたい¹⁻⁴⁾。

1 吸収線量（率）計算方法の注意点⁵⁻⁸⁾

- AAPM TG-43U1⁷⁾が推奨する計算式を採用すべきである。ただし、TG-43U1 計算式以上の計算精度を担保しているアルゴリズム（モデルベースなど）を採用している場合は、この限りではない。
- 計算に使用するパラメータ値（線源形状、計算次元、非等方性補正など）を患者ごとに変更すべきでない。使用するパラメータ値によって線量分布や DVH などが変化するため、一貫性のない臨床データになる。
- 計算で使用される物理量の定義、パラメータ値などの詳細については、TG-43U1 及び AAPM TG-43U1S1⁸⁾を参照する。
- 使用する線源に対して、適切なパラメータ値が正しく使用されている必要がある。
- パラメータ値などが修正、更新、追加されている場合は、最新の情報を取得するよう努める。

2 物理 QA の項目と放射線防護

- 受入試験、コミッショニング、定期的、治療ごとの物理 QA 項目と放射線防護については、既出の「 [\$^{125}\text{I}\$ 永久挿入治療の物理的品質保証に関するガイドライン](#)」³⁾及び「I-125 永久挿入物理 QA マニュアル（2011）」²⁾を参考とする。

文献

1. がんの小線源放射線治療の評価と品質管理に関する研究班, 日本放射線腫瘍学会 QA 委員会: I-125 永久挿入治療物理 QA ガイドライン (Ver.1) . 厚生労働省がん研究助成金 (17-10) (土器屋卓志主任研究者) , 2009.
2. HDR 組織内照射等の標準化の研究班: I-125 永久挿入治療物理 QA マニュアル (2011) . 厚生労働省がん研究開発費 (指定研究 21 分指 8②) (小口正彦主任研究者) , 2011.
3. ¹²⁵I 永久挿入治療物理 QA ガイドライン検討専門小委員会, 日本放射線腫瘍学会 QA 委員会: [¹²⁵I 永久挿入治療の物理的品質保証に関するガイドライン](#). 2010.
4. 日本放射線腫瘍学会 QA 委員会: 密封小線源治療における Quality Assurance (QA) システムガイドライン (2002) . 日放線腫瘍会誌 14 Suppl 2: 63-68, 2002.
5. 日本医学物理学会編: 放射線治療における小線源の吸収線量の標準測定法, 東京, 通商産業研究社, 2000.
6. Nath R, Anderson LL, Luxton G, et al: Dosimetry of interstitial brachytherapy sources: recommendations of the AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No. 43. Med Phys 22: 209-30, 1995.
7. Rivard MJ, Coursey BM, DeWerd LA, et al: Update of AAPM Task Group No. 43 Report: A revised AAPM protocol for brachytherapy dose calculations. Med Phys 31: 633-74, 2004.
8. Rivard MJ, Butler WM, DeWerd LA, et al: Supplement to the 2004 update of the AAPM Task Group No. 43 Report. Med Phys 34: 2187-205, 2007.

HDR 物理 QA ガイドライン

はじめに

本邦では 1970 年代から ^{60}Co が、1990 年代から線源をより小型化できる ^{192}Ir が装備された HDR 装置が使用されている。複数のメーカーから多様な HDR 装置や治療計画装置が提供され、様々な特長を有している。本ガイドラインは、各装置に共通の項目や一般的な精度管理の許容値などを採用した。よって、装置固有の特性は考慮していないため、各施設の判断で、適応とならない項目を修正する必要がある。一方、いわゆる旧型 ^{60}Co HDR 装置は、安全機構に問題があるため、本ガイドラインの適応とならない可能性がある。よって、可能な限り速やかに新型装置に更新することを推奨する。また、IGBT は発展途上の分野であり、詳細に記載できないため、別途 IGBT に特化したガイドラインの策定を待つこととした。

各 QA 項目は、その重要度の高い順に A と B の 2 段階のランクを設けた。コミッショニングと品質管理の項では、許容レベルと介入レベルを設定した。それぞれ英文の Tolerance Level と Action Level の訳語である。測定結果は、①許容レベルの範囲内、②許容レベルと介入レベルの範囲内、③介入レベルの範囲外、に区分し評価する。具体的な対応は、以下を推奨する。

- ① 精度や正確度が担保されているため、是正の必要がない。
- ② 乖離の原因を追及するための対策が必要であるが、使用の可否は QA 担当者の判断に委ねられる。
- ③ 許容される精度や正確度を担保できないため、QA 担当者は乖離の程度及び予想される原因と対策を、治療医に報告しなければならない。対策を施しても、介入レベルの範囲外となった場合の患者照射の可否は、臨床的判断を基に治療医が決定する。

いずれにせよ、許容レベルの範囲内となるように、品質管理に努めることが重要である。

本ガイドラインは、既出の JSMP¹⁾や JASTRO ガイドライン²⁾を参考に、ESTRO³⁾や AAPM⁴⁻⁷⁾などの報告⁸⁻¹¹⁾を取り入れ、本邦の現状を無視しないよう作成した。また、ユーザの利便性を考慮して、 ^{125}I に関する既出のガイドライン^{12, 13)}の記載方法と可能な限り統一させた。

QA 項目の先頭の略語の意味と関連する表番号は、下記のとおりである。

AT : 受入試験	Acceptance Test	表 1. 治療装置, 治療計画装置の受入試験
C : コミッショニング	Commissioning	表 2. 治療計画装置のコミッショニング
QC : 定期的な品質管理	Quality Control	表 3. 治療計画装置の定期的品質管理 表 4. 治療装置の日常点検 表 5. 治療装置の定期的品質管理
Pt : 患者治療ごとの品質保証	Patient Quality Assurance	表 6. 患者治療ごとの品質保証

1 吸収線量（率）計算方法の注意点

- HDR の吸収線量（率）計算方法の注意点は、LDR と同様であるため、詳細は LDR の「1 線量計算方式」を参照する。
- 2004 AAPM TG-43U1 に基づいた ^{60}Co , ^{192}Ir 及び ^{137}Cs の線量計算法が、AAPM と ESTRO から共同で報告¹⁴⁾されており、そちらも参考にすると良い。

2 治療装置、治療計画装置の受入試験

- 受入試験の項目を表 1 に示す
- 受入試験では装置の仕様書に沿った性能の有無や動作の確認を行い、精度や性能の評価はコミッションングで行う。

表 1. 治療計画装置、治療装置の受入試験

項目	重要度
AT 1. 治療計画装置（線源と線量計算）	
AT 1.1. 線源情報の確認	A
AT 1.2. 線源の減衰	A
AT 1.3. 線源情報の登録	A
AT 1.4. 線量計算法（式）の理解	A
AT 1.5. 計算グリッドサイズによる線量分布への影響	A
AT 1.6. アプリケータの再構成法	A
AT 1.7. 最適化計算法	A
AT 1.8. DVH の計算方法と線量指標	A
AT 2. 治療計画装置（データベース）	
AT 2.1. 患者情報の登録と削除	A
AT 2.1.1. 2人以上の同姓、同名又は同 ID 番号の登録	
AT 2.1.2. 同一患者の2度以上の登録	
AT 2.1.3. 患者データの削除	
AT 2.2. バックアップとリストア	A
AT 3. 治療計画装置（画像入力とその利用）	
AT 3.1. 計画画像の登録	A
AT 3.1.1. 最大登録枚数	
AT 3.1.2. 不均一なスライス厚の画像登録の可否	
AT 3.2. 輪郭描出	A
AT 3.3. 自動マージン付加機能	A
AT 3.4. レジストレーション（画像のフュージョン）	A

AT 4. 治療計画装置（ハードウェア，ネットワーク，その他）		
AT 4.1. ハードウェアの動作		A
AT 4.2. ネットワークや計画データの転送		A
AT 4.3. ハードコピー（プリントアウト）		A
AT 4.4. 計画装置のコンピュータの強制終了と復帰方法		A
AT 4.5. 操作説明書や解説書		A
AT 5. 治療装置（HDR 装置本体及びその制御装置）		
AT 5.1. 線源停止時間を決定するタイマの確認		A
AT 5.2. 線源情報の確認		A
AT 5.3. 線源停止位置精度		A
AT 5.4. 漏洩線量試験		A
AT 5.5. インターロックの作動条件と動作確認		A
AT 5.6. 停電，地震，火災などの緊急時の対応方法		A
AT 6. 付属機器		
AT 6.1. アプリケーター取扱		A
AT 6.2. 移送チューブの取扱		A
AT 6.3. その他の付属機器の取扱		A

3 治療計画装置のコミッショニング

- 治療計画装置のコミッショニングの項目を表 2 に示す。
- 表中で，介入レベルの列に示した“←”は，許容レベルと同値を指す。

表 2. 治療計画装置のコミッショニング

項目	許容レベル	介入レベル	重要度
C 1. 治療計画装置の試験（線量計算に関する項目）			
C 1.1. 点線量の計算精度	≤ 2%	> 5%	A
C 1.2. 等線量曲線の表示精度	性能評価	←	A
C 1.3. 計算グリッドサイズによる線量計算への影響	性能評価	←	A
C 1.4. 最適化計算の適応と特性	性能評価	←	A
C 1.5. アプリケーターに付属する遮蔽器具の計算精度	性能評価	←	B
C 2. アプリケーターリコンストラクションの方法と精度			
C 2.1. アプリケーターの再構成方法	性能評価	←	A
C 2.2. アプリケーター内の線源停止位置	≤ 1 mm	> 2 mm	A

C 3. 治療計画画像の幾何学的精度			
C 3.1. 元画像と再構成画像の位置の整合性	性能評価	←	A
C 3.2. 治療計画画像の幾何学的精度 (画像の縮小と拡大や歪み, など)	性能評価	←	A
C 4. 輪郭描出			
C 4.1. 体積の計算精度	性能評価	←	B
C 4.2. 輪郭描出方向による体積変化	性能評価	←	B
C 4.3. 自動マージン付加機能の動作	性能評価	←	B
C 4.4. 3次元構造への拡張精度	性能評価	←	B
C 4.5. 領域が重複する輪郭の取扱	性能評価	←	B
C 4.6. 画像のレジストレーション	性能評価	←	B
C 5. DVH の算出法			
C 5.1. DVH と線量指標の計算精度	性能評価	←	B
C 5.2. DVH 計算における輪郭の合算と減算	性能評価	←	B
C 5.3. 不均一なスライス厚を有する画像による体積の算出	性能評価	←	B
C 6. リハーサル			
C 6.1. End-to-end テスト	正常動作	←	A

4 治療計画装置の定期的品質管理

- 治療計画装置の定期的品質管理の項目を表 3 に示す。
- バージョンアップ時は、QC 5. に加えて、「3 治療計画装置」の表 2 に示すコミッショニングの項目も併せて行うことを推奨する。

表 3. 治療計画装置の定期的品質管理

試験内容	許容レベル	介入レベル	重要度
QC 1. 使用前			
QC 1.1. ハードウェアの不具合やデータベースの簡便な確認	正常動作	←	A
QC 1.2. 単純な線量分布計算の不変性	≤3%	←	A
QC 1.3. 治療計画データの操作卓への転送	正常動作	←	A
QC 2. 1 か月ごと			
QC 2.1. 計画に関連するハードウェアの詳細な動作確認	正常動作	←	A
QC 2.2. 線源停止位置読取装置 (デジタイザなど) の動作確認	正常動作	←	A

QC 3. 3か月ごと			
QC 3.1. 複雑な治療計画（複数線源，多チャンネル，最適化計算を使用）での不変性	≤3%	←	B
QC 3.2. イメージガイドに関する項目	各装置の	←	A
3.2.1 CTやMRなど撮影装置の品質管理	QC項目を		
3.2.2 その他付属機器の品質管理	参照		
QC 3.3. バックアップとリストア	正常動作	←	A
QC 3.4. プリンタや入力装置などの付属機器	正常動作	←	A
QC 4. 線源交換後			
QC 4.1. 登録した線源強度や校正日時などの線源情報	確認	←	A
QC 5. バージョンアップごと			
QC 5.1. 線源情報	確認	←	A
QC 5.2. DVH から算出した線量指標の不変性	≤3%	>5%	B
QC 5.3. 治療計画の再現性（End-to-end テスト）	≤5%	←	A

5 治療装置の定期的品質管理

- 治療装置の日常点検の項目を表4に，定期的品質管理の項目を表5に示す．（注）のマークのある項目は，機器の故障や重大な事故に繋がることがあるため，実施の可否や方法について，あらかじめメーカーと協議を必要とする．

表4. 治療装置の日常点検

試験内容	許容レベル	介入レベル	重要度
QC 1. 電源投入時			
QC 1.1. セルフテストの正常終了	正常動作	←	A
QC 1.2. 時刻や線源強度などの表示項目	正常動作	←	A
QC 1.3. 電子カルテやRISなどのネットワーク関連機器との接続	正常動作	←	A
QC 1.4. 患者監視カメラと通話装置の動作	正常動作	←	A
QC 1.5. 工具などの緊急用備品の有無とサーベイメータの動作	正常動作	←	A
QC 1.6. 照射室の使用ランプの点灯	正常動作	←	A
QC 2. テスト照射設定時			
QC 2.1. HDR装置の破損有無	異常なし	←	A
QC 2.2. 移送チューブの捻れ，破損有無	異常なし	←	A

QC 3. テスト照射時			
QC 3.1. ドアインターロック	正常動作	←	A
QC 3.2. エリアモニタの動作	正常動作	←	A
QC 3.3. 簡易的な線源停止位置精度	≤ 1 mm	> 2 mm	A
QC 3.4. 照射室と操作卓の照射中ランプの点灯	正常動作	←	A
QC 3.5. タイマによる照射終了	正常動作	←	A
QC 4. テスト照射終了後			
QC 4.1. 照射室と操作卓の照射中ランプの消灯, 線源収納	正常動作	←	A
QC 4.2. 治療システムの異常有無	正常動作	←	A

表 5. 治療装置の定期的品質管理

項目	許容レベル	介入レベル	重要度
QC 5. 3 か月ごと			
QC 5.1. 非常用バッテリーの動作	正常動作	←	A
QC 5.2. HDR 装置と移送チューブ間の接続インターロックの動作	正常動作	←	A
QC 5.3. 治療中断ボタンの作動と再開	正常動作	←	A
QC 5.4. 緊急停止ボタンの作動と再開 (注)	正常動作	←	A
QC 5.5. アプリケータの閉塞による線源引き戻し試験 (注)	正常動作	←	A
QC 5.6. 水没試験によるアプリケータの気密性	異常なし	←	B
QC 6. 線源交換ごと又は6か月ごと (いずれか短い期間)			
QC 6.1. 電離箱による線源強度測定 (線源仕様書との相違)	≤ 3.0%	> 5.0%	A
QC 6.2. 簡易的な HDR 装置からの漏れ線量測定	異常なし	←	A
QC 6.3. 線源停止位置精度の詳細な評価	≤ 1 mm	> 2 mm	A
QC 6.4. 手動線源引き戻し機構の動作	正常動作	←	A
QC 6.5. 線源位置移動時間の不変性 (タイマの端効果)	≤ 10%	≥ 20%	A
QC 6.6. タイマの時間精度	≤ 1%	←	A
QC 7. 6 か月ごと			
QC 7.1. 直腸, 膀胱用線量計の校正と記録	-	-	B
QC 8. 1 年ごと			
QC 8.1. 緊急時対応のスタッフトレーニング	-	-	A
QC 8.2. 詳細な HDR 装置からの漏れ線量測定	異常なし	-	A
QC 8.3. 移送チューブの寸法測定	≤ 1 mm	> 1 mm	A
QC 8.4. チェックケーブルやアプリケータなどの放射能汚染検査	汚染なし	←	A
QC 8.5. 線源駆動部やセンサなどの異常の有無 (注)	異常なし	←	A
QC 8.6. システムの配線, コネクタの緩みや亀裂などの異常の有無	異常なし	←	A
QC 8.7. コンピュータウイルスのチェック (注)	異常なし	←	A
QC 8.8. エラーのログ解析	異常なし	←	A

6 患者治療ごとの品質保証

- 患者治療ごとの品質保証は、正当性の評価、動作確認及び異常の有無などの確認を行うため、性能評価を行わない。よって、許容レベルや介入レベルを設定しない。
- 患者治療ごとの品質保証は、計画担当者だけでなく、担当者以外の第三者により行われることが望ましい。

表 6. 患者治療ごとの品質保証

Pt 1. 治療計画装置で行う確認事項	重要度
<p>Pt 1.1. 患者の同定</p> <p>1.1.1. 患者名や ID 番号などによる治療患者と計画患者の同定</p> <p>1.1.2. 使用しているアプリケーションの種類や本数</p> <p>Pt 1.2. 治療計画手順</p> <p>1.2.1. 治療計画装置に登録する画像データが、対象患者、対象撮影日である</p> <p>1.2.2. 選択した線源データファイルの正当性(線源交換日,半減期による線源強度の減衰)</p> <p>1.2.3. 再構成したアプリケーションの整合性と模擬線源の位置</p> <p>1.2.4. ステップサイズ, カテーテルの長さ, オフセット値, 及び線源停止位置</p> <p>1.2.5. マンチェスター法やパリ法などに基づいた線量評価点の選択</p> <p>1.2.6. 線源遮蔽器具 (Shielding) や他の補正係数の正当性</p> <p>1.2.7. 表示される単位の正当性</p> <p>1.2.8. 医師の指示又はアプリケーションの幾何学的配置を考慮した, 線量処方の定義や最適化方法の選択</p> <p>1.2.9. 処方線量と分割回数</p> <p>Pt 1.3. 線量分布</p> <p>1.3.1. ターゲットへの線量集中性や均一性</p> <p>1.3.2. リスク臓器の線量, ホットスポットの有無と場所, 線量制約の達成</p> <p>1.3.3. 線量基準点や線量評価点の位置や正当性</p> <p>1.3.4. 基準となる治療計画や対象患者の前回照射データとの比較と再現性</p>	<p>A</p> <p>A</p> <p>A</p>
Pt 2. 照射前の確認事項	
<p>Pt 2.1. ID 番号や氏名の確認による治療患者の同定</p> <p>Pt 2.2. 使用アプリケーションの種類 (シリンダー直径, タンデムの角度など)</p> <p>Pt 2.3. 線量評価点 (A 点, 基底線量点など) の位置</p> <p>Pt 2.4. 計画装置から転送されたファイル名</p> <p>Pt 2.5. 処方線量と分割回数</p> <p>Pt 2.6. 第三者による治療計画の確認と独立検証</p> <p>Pt 2.7. 計画装置で算出した照射時間とコンソールの照射時間の一致</p> <p>Pt 2.8. HDR 装置,移送チューブ,アプリケーションを治療計画で設定したインデクサ番号に接続</p> <p>Pt 2.9. チェックケーブルによるテストランの正常終了の確認</p>	<p>A</p> <p>A</p> <p>A</p> <p>A</p> <p>A</p> <p>A</p> <p>A</p> <p>A</p>

Pt 3. 照射時の確認事項	
Pt 3.1. エリアモニタの指示値	A
Pt 3.2. 監視モニタによる患者の状態観察や装置の監視	A
Pt 3.3. 目視による線源の正常駆動	A
Pt 4. 治療終了後の処理, 記帳, 記録	
Pt 4.1. エリアモニタ及び目視による線源の格納確認	A
Pt 4.2. 照射記録と治療計画で, 乖離がないことを確認	A
Pt 4.3. 抜去したアプリケータや移送チューブの目視確認	A
Pt 4.4. 患者の入退出記録	A
Pt 4.5. 装置の異常, 異音やその他気づいたことの記録	A

7 放射線防護

- 放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律（以下，障害防止法）の放射性同位元素等使用許可証に記載された最大使用時間を超えて，HDR 装置を使用してはならない。
- その他，医療法や障害防止法など関連する法令に従い，安全管理に努める。

文献

1. 日本医学物理学会編: 放射線治療における小線源の吸収線量の標準測定法, 東京, 通商産業研究社, 2000.
2. 日本放射線腫瘍学会 QA 委員会: 密封小線源治療における Quality Assurance (QA) システムガイドライン (2002) . 日放線腫瘍会誌 14 Suppl 2: 63-68, 2002.
3. Venselaar J and Pe´res-Catalyud J, editors: European guidelines for quality assurance in Radiotherapy Booklet No 8: a practical guide to quality control of brachytherapy equipment, ESTRO, Brussels, 2004.
4. Kubo HD, Glasgow GP, Pethel TD, et al: High dose-rate brachytherapy treatment delivery: report of the AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No. 59. Med Phys 25: 375-403, 1998.
5. Holt JG: AAPM Report No. 41: remote afterloading technology. Med Phys 20: 1761, 1993.
6. Fraass B, Doppke K, Hunt M, et al: American Association of Physicists in Medicine Radiation Therapy Committee Task Group 53: quality assurance for clinical radiotherapy treatment planning. Med Phys 25: 1773-1829, 1998.
7. Nath R, Anderson LL, Meli JA, et al: Code of practice for brachytherapy physics: report of the AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No. 56. Med Phys 24: 1557-1598, 1997.
8. Jamema SV, Upreti RR, Sharma S, et al: Commissioning and comprehensive quality assurance of commercial 3D treatment planning system using IAEA Technical Report Series-430. Australas Phys Eng Sc. Med 31: 207-215, 2008.
9. Bownes P: Quality Assurance. In: Hoskin P and Coyle C eds. Radiotherapy in Practice Brachytherapy second edition. New York, Oxford University Press, 2011, pp171-196.
10. Elfrink RJ, Kolkman-Deurloo IK, van Kleffens HJ, et al: Quality control of brachytherapy equipment in the Netherlands and Belgium: current practice and minimum requirements. Radiother Oncol 62: 95-102, 2002.
11. Elfrink RJM, Van Kleffens HJ, Kolkman-Deurloo IK, et al: Quality Control in Brachytherapy: current practice and minimum requirements, Report 13 of the Netherlands Commission on Radiation Dosimetry, 2000.
12. ¹²⁵I 永久挿入治療物理 QA ガイドライン検討専門小委員会, 日本放射線腫瘍学会 QA 委員会: [¹²⁵I 永久挿入治療の物理的品質保証に関するガイドライン](#). 2010.
13. HDR 組織内照射等の標準化の研究班: I-125 永久挿入治療物理 QA マニュアル (2011) . 厚生労働省がん研究開発費 (指定研究 21 分指 8②) (小口正彦主任研究者) , 2011.
14. Perez-Calatayud J, Ballester F, Das RK, et al: Dose calculation for photon-emitting brachytherapy sources with average energy higher than 50 keV: report of the AAPM and ESTRO. Med Phys 39: 2904-2929, 2012.

執筆協力者

日本放射線腫瘍学会小線源治療部会ワーキンググループ

委員長：中野隆史 群馬大学

副委員長：伊丹 純 (独) 国立がん研究センター中央病院

オブザーバー：土器屋卓志 埼玉医科大学国際医療センター

協力者（五十音順）：

青木 学

東京慈恵会医科大学

秋元哲夫

(独) 国立がん研究センター東病院

石川 仁

筑波大学

石川正純

北海道大学

石山博條

北里大学

宇野 隆

千葉大学

小澤修一

広島大学

大谷侑輝

大阪大学

大野達也

群馬大学

大橋俊夫

慶應義塾大学

小口正彦

がん研有明病院

加藤真吾

埼玉医科大学国際医療センター

兼安祐子

広島大学

栗林茂彦

日本医科大学

小泉雅彦

大阪大学

小島 徹

千葉県がんセンター

櫻井英幸

筑波大学

高橋 豊

ミネソタ大学

武中 正

(独) 国立病院機構大阪医療センター

鶴岡伊知郎

(独) 放射線医学総合研究所

重粒子医科学センター病院

戸板孝文

琉球大学

西村哲夫

静岡がんセンター

能勢隆之

日本医科大学多摩永山病院

橋本光康

国際医療福祉大学

花田剛士

慶應義塾大学

平田秀紀
九州大学
平塚純一
川崎医科大学
村上直也
(独) 国立がん研究センター中央病院
村上龍次
熊本大学

吉岡靖生
大阪大学
吉田 謙
大阪医科大学
吉村亮一
東京医科歯科大学
萬 篤憲
(独) 国立病院機構東京医療センター

外部評価

日本放射線腫瘍学会ガイドライン委員会

(五十音順)

伊藤善之	名古屋大学
大西 洋	山梨大学
大屋夏生	熊本大学
淡河恵津世	久留米大学
加賀美芳和	昭和大学
小宮山貴史	山梨大学
茶谷正史	(独) 大阪労災病院
徳丸直郎	佐賀大学
永倉久泰	KKR 札幌医療センター