

ゴールデンビームデータを用いた新規リニアック臨床導入の経験

高松赤十字病院 放射線科部

山花 大典, 藤原 直人, 峯瀬 正高, 安部 淳子, 安部 一成, 竹治 励

要 旨

放射線療法に用いる直線加速器（以下、リニアック）を臨床導入するためには、リニアックの受け渡し後 3～4ヶ月のコミッショニング期間が必要である。コミッショニングを安全かつ効率的に行う方法の一つに、ベンダーから提供されるゴールデンビームデータ（Golden Beam Data：以下、GBD）を用いる方法がある。我々は、当院に新規導入されたリニアック（TrueBeam）のビームデータとして GBD を用いてコミッショニングを行った。GBD と当院のビームデータ（以下、実測データ）の一致性を確認するために行った簡易比較において、GBD と実測データの誤差は 1% 以内と良好に一致していた。

GBD を使用することによって、ビームデータ測定時間を大幅に短縮することができ、コミッショニングにおける人為的ミス避け、安全にかつ短期間でリニアックの立ち上げを行うことができた。

キーワード

放射線療法, 直線加速器, コンピュータ支援放射線治療計画

1. はじめに

当院では、直線加速器（以下、リニアック）である Varian Medical Systems 社製 TrueBeam（以下、TrueBeam）を新規導入し、2020 年 4 月より臨床使用を開始している。リニアックを臨床導入するためには、リニアックの受け渡し後 3～4ヶ月の日数が必要である¹⁾。リニアックを臨床導入するためのこの作業期間をコミッショニングという。一般的なコミッショニングの流れを Fig. 1 に示す。

コミッショニングの具体的な項目は、治療計画装置用ビームデータ測定（1～2ヶ月）、ビームモデリング（1ヶ月）、ビームデータ登録作業・入力値確認（2日）、治療計画装置の動作確認・各検証作業（1～2ヶ月）などである。その作業内容は煩雑で膨大であり、さらに導入したばかりの不慣れなりニアックや測定機器を用いての作業となるため、ミス避けるためにも慎重に十分な時間を掛けて行う必要がある。しかし、臨床ニーズや病院の経営的側面から、できるだけ短期間で

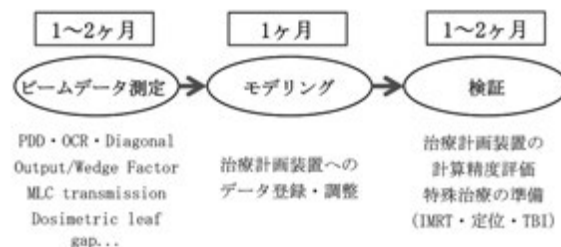


Fig. 1 コミッショニングの流れ（従来）

かつ安全にリニアックを立ち上げることが望まれる。

コミッショニングを短期間で行う方法の一つに、ゴールデンビームデータ（Golden Beam Data：以下、GBD）を用いる方法がある。GBD は、ベンダーが提供しているどのユーザーでも臨床使用できるビームデータであり、GBD をリニアックにビームデータとして登録することで、ビームデータ測定時間を大幅に短縮することができる。結果として、コミッショニング期間の短縮も期待できる。

当院では、GBD を用いてリニアックの新規導

目数	A M	P M	備考
1	取説、水槽セットアップ		
2	X線 PDD (open&FFF)	X線 PDD (open&FFF)	
3	X線 PDD (wedge)	X線 PDD (wedge)	
4	X線 OCR (open)	X線 OCR (open)	
5	X線 OCR (FFF)	X線 OCR (FFF)	
6	X線 OCR (wedge)	X線 OCR (wedge)	
7	X線 OCR (wedge)	X線 OCR (wedge)	
8	X線 OCR 大照射野	X線 OCR 大照射野	水槽移動
9	X線 OCR 大照射野	X線 OCR 大照射野・対角線	
10	SSD0-120 Wedge PDD	SSD0-120 Wedge PDD	水槽移動
11	X線 Output (open)	X線 Output (open)	
12	X線 Output (open)	X線 Output (open)	
13	X線 Output (FFF)	X線 Output (FFF)	
14	X線 Output (FFF)	X線 Output (FFF)	
15	X線 Output (wedge1S)	X線 Output (wedge1S)	
16	X線 Output (wedge1S)	X線 Output (wedge1S)	
17	X線 Output (wedge3S)	X線 Output (wedge3S)	
18	X線 Output (wedge3S)	X線 Output (wedge3S)	
19	X線 Output (wedge4S)	X線 Output (wedge4S)	
20	X線 Output (wedge4S)	X線 Output (wedge4S)	
21	X線 Output (wedge6S)	X線 Output (wedge6S)	
22	X線 Output (wedge6S)	X線 Output (wedge6S)	
23	MU 校正 (open&FFF&Wedge)	MU 校正 (open&FFF&Wedge)	
24	SSD0-120 X線(各wedge)	SSD0-120 X線(各wedge)	
25	SSD0-120 X線(各wedge)	SSD0-120 X線(各wedge)	
26	X線 MLC 係数など (open&FFF)	X線 MLC 係数など (open&FFF)	
27	電子線 PDD	電子線 OCR	
28	電子線 OCR	電子線 絶対線量	

Fig. 2 ビームデータ測定項目 (推奨)

入を行った。当院で実際に測定したビームデータ (Measured Beam Data: 以下, MBD) と比較し, GBD の正確性や有用性について検討したので報告する。

2. 方法

2-1 GBD と MBD の比較検証

GBD を使用するにあたって, GBD が実際に MBD と一致していることが確認できなければ使用することはできない。文献より, GBD と TrueBeam のビームデータは 1% 以内の誤差で一致することが報告されている^{2) 4)}。当院でもこれらの報告を参考に, GBD と MBD の検証を行うこととした。ベンダーが推奨している, 測定すべきビームデータ項目を Fig. 2 に示す。

測定すべきビームデータは多岐に渡り, 大きくスキャンデータとノンスキャンデータに分けられる。スキャンデータとして深部線量百分率 (Percent Depth Dose: 以下, PDD) や軸外線量比 (Off Center Ratio: 以下, OCR), 対角軸外線量比 (Off Center Diagonal Ratio: OCD) などが, ノンスキャンデータとして出力係数 (Output factor: 以下, OPF) やウェッジ係数 (Wedge factor) などがある。これらのデータから GBD として公開されている PDD と OCR, OPF の一部の項目を抜粋して, GBD と MBD の比較を行

Table 1 TrueBeam における GBD の測定条件

X線	
エネルギー (MV)	4, 6, 10, 6FFF, 10FFF
照射野 (cm ²)	3x3, 4x4, 6x6, 8x8, 10x10, 20x20, 30x30, 40x40
PDD	SSD = 100cm
OCR	SSD = 100cm Depth = dmax, 5, 10, 20, 30cm
OCD	SSD = 100cm, 40x40cm ² Depth = dmax, 5, 10, 20, 30cm
OPF	SSD = 95cm, Depth = 5 cm

うための, 簡易測定を行った。

2-2 使用機器

リニアックは TrueBeam, 治療計画装置は Varian Medical Systems 社 製 Eclipse ver.15.6 (以下, Eclipse) を用いた。GBD との比較には X線を用いた。使用エネルギーは平坦ビーム (Flattening Filtered beam: 以下, FF) が 4, 6, 10 メガボルト (以下, MV), 非平坦ビーム (Flattening Filter Free beam: 以下, FFF) が 6, 10MV である。ビームデータ測定には 3D 水ファントムとして SMARTSCAN (IBA Dosimetry 社製) を使用し, 電離箱線量計は CC13 線量計 (IBA Dosimetry 社製) を用いた。測定条件は GBD の測定条件に準じた³⁾ (Table 1)。Eclipse の線量計算アルゴリズムは AcurosXB ver.15.6 を用いた。

2-3 スキャンデータ (PDD と OCR) の検証

測定項目は, PDD 及び OCR で X線全エネルギー (5種類) を使用, 照射野サイズは 4x4, 10x10, 20x20, 30x30cm² の 4種類, OCR における測定深 (以下, Depth) は最大線量深 (以下, dmax) と 5cm, 10cm, 20cm の 4種類とした。誤差の算出範囲は, PDD は dmax より深い位置で, OCR は平坦領域である照射野サイズの 80% 領域内で算出した。PDD, OCR とともに測定間隔は 1mm 間隔とした。誤差の計算には, 以下の Local Dose Difference (%) の計算式 (1) を用いた。

$$(D_m - D_r) / D_r \times 100 (\%) \dots \dots \dots (1)$$

D_m: MBD の線量
D_r: D_m と同一位置にある GBD の線量

Table 2 GBD と MBD の PDD の誤差

照射野／エネルギー	4MV	6MV	10MV	6MV-FFF	10MV-FFF	誤差平均
4x4cm ²	0.38%	0.34%	0.11%	0.47%	0.28%	0.32%
10x10cm ²	0.25%	0.13%	0.15%	0.73%	0.43%	0.34%
20x20cm ²	0.31%	0.14%	0.40%	0.45%	0.09%	0.28%
30x30cm ²	0.55%	0.61%	0.17%	0.70%	0.23%	0.45%
誤差平均	0.37%	0.31%	0.21%	0.59%	0.26%	0.35%

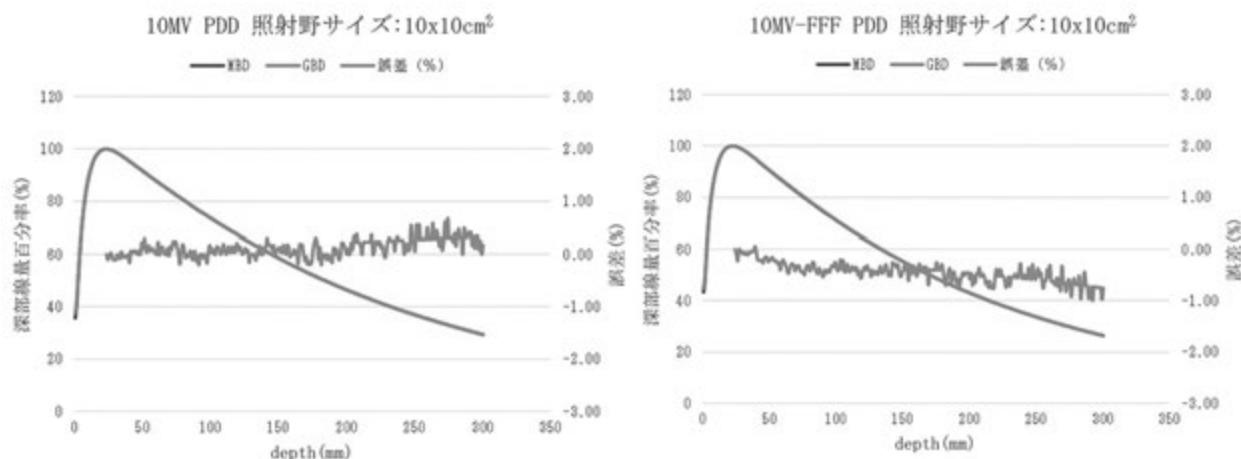


Fig. 3 GBD と MBD の PDD の比較 (例：10MV と 10MV-FFF)

2-4 ノンスキャンデータ (OPF) の検証

GBD の OPF を Eclipse に入力し、ビームモデリングを行った。GBD における OPF のデータは、線源表面間距離 (Source Surface Distance : SSD) が 95cm, Depth が 5 cm の値である。GBD の OPF と、Eclipse によって計算された線量より算出した OPF (以下、Eclipse 計算値) を比較した。OPF の計算式を計算式 (2) に示す。照射野サイズは 5 x 5, 10x10, 20x20, 30x30cm² の 4 種類とした。

$$\text{OPF} = \frac{\text{各照射野サイズにおける吸収線量}}{\text{10x10cm}^2 \text{の照射野サイズにおける吸収線量}} \dots \dots \dots (2)$$

3. 結果

3-1 スキャンデータの比較

GBD と MBD の PDD の比較結果を、Table 2 と、Fig. 3 に示す。PDD は各エネルギーでそれぞれ平均誤差が、4 MV : 0.37%, 6 MV : 0.31%, 10MV : 0.21%, 6 MV-FFF : 0.59%, 10MV-FFF : 0.26% であり、最大誤差は 6 MV-FFF の照射野サイズ 10X10cm² における 0.73% であった。全ての検証条件 (X 線エネルギー 5 種類, 照射野サイズ 4 種類) の平均誤差は 0.35% であった。

GBD と MBD の OCR の比較結果を、Table 3 と、Fig. 4 に示す。OCR は、各 Depth でそれぞれ平均誤差が、Depth = dmax : 0.16%, Depth = 5 cm : 0.17%, Depth = 10cm : 0.16%, Depth = 20cm : 0.16% であり、最大誤差は 10MV-FFF の照射野サイズ 30X30cm², Depth = 20cm における 0.38% であった (Table 3 (d))。全ての検証条件 (X 線エネルギー 5 種類, 照射野サイズ 4 種類, Depth 4 種類) の平均誤差は 0.16% であった。

3-2 ノンスキャンデータの比較

OPF の比較結果を Table 4, Fig. 5 に示す。GBD と Eclipse 計算値の誤差は、平均が 0.00% と良好に一致していた。

4. 考察

我々は、当院に新規導入されたリニアック (TrueBeam) のコミッショニングにおいて、ビームデータ測定を行う代わりに GBD をビームデータとして用いてコミッショニングを試みた。GBD と MBD の比較において、測定誤差は PDD が平均 0.35% (最大 0.73%), OCR は 0.16% (最大 0.38%) であった。同様に、OPF も平均が

Table 3 GBD と MBD の OCR の誤差

(a) (Depth = dmax)

照射野／エネルギー	4MV	6MV	10MV	6MV-FFF	10MV-FFF	誤差平均
4x4cm ²	0.23%	0.10%	0.17%	0.10%	0.26%	0.17%
10x10cm ²	0.22%	0.14%	0.11%	0.09%	0.09%	0.13%
20x20cm ²	0.19%	0.07%	0.14%	0.15%	0.14%	0.14%
30x30cm ²	0.17%	0.11%	0.20%	0.16%	0.28%	0.18%
誤差平均	0.20%	0.11%	0.16%	0.13%	0.19%	0.16%

(b) (Depth = 5 cm)

照射野／エネルギー	4MV	6MV	10MV	6MV-FFF	10MV-FFF	誤差平均
4x4cm ²	0.21%	0.10%	0.26%	0.11%	0.22%	0.18%
10x10cm ²	0.18%	0.08%	0.10%	0.06%	0.17%	0.12%
20x20cm ²	0.17%	0.14%	0.14%	0.11%	0.14%	0.14%
30x30cm ²	0.14%	0.11%	0.26%	0.26%	0.32%	0.22%
誤差平均	0.18%	0.11%	0.19%	0.14%	0.21%	0.17%

(c) (Depth = 10cm)

照射野／エネルギー	4MV	6MV	10MV	6MV-FFF	10MV-FFF	誤差平均
4x4cm ²	0.12%	0.13%	0.18%	0.06%	0.18%	0.13%
10x10cm ²	0.21%	0.12%	0.19%	0.13%	0.07%	0.14%
20x20cm ²	0.12%	0.10%	0.14%	0.10%	0.24%	0.14%
30x30cm ²	0.31%	0.16%	0.17%	0.28%	0.23%	0.23%
誤差平均	0.19%	0.13%	0.17%	0.14%	0.18%	0.16%

(d) (Depth = 20cm)

照射野／エネルギー	4MV	6MV	10MV	6MV-FFF	10MV-FFF	誤差平均
4x4cm ²	0.05%	0.09%	0.11%	0.07%	0.12%	0.09%
10x10cm ²	0.28%	0.12%	0.12%	0.08%	0.07%	0.13%
20x20cm ²	0.25%	0.14%	0.19%	0.28%	0.14%	0.20%
30x30cm ²	0.17%	0.24%	0.19%	0.14%	0.38%	0.22%
誤差平均	0.19%	0.15%	0.15%	0.14%	0.18%	0.16%

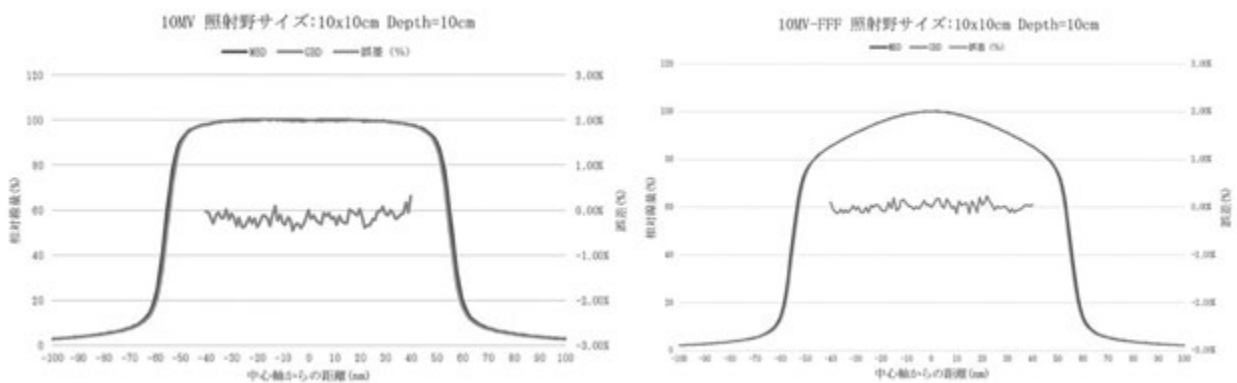


Fig.4 GBD と MBD の OCR の比較 (例: 10MV と 10MV-FFF)

Table 4 GBD と Eclipse 計算値の OPF の誤差

(a) (4 MV)

照射野	GBD	Eclipse	誤差
5x5cm ²	0.92	0.92	0.00%
10x10cm ²	1.00	1.00	0.00%
20x20cm ²	1.08	1.08	0.00%
30x30cm ²	1.12	1.12	0.00%

(c) (10MV)

照射野	GBD	Eclipse	誤差
5x5cm ²	0.94	0.94	0.00%
10x10cm ²	1.00	1.00	0.00%
20x20cm ²	1.06	1.06	0.00%
30x30cm ²	1.09	1.09	0.00%

(e) (10MV-FFF)

照射野	GBD	Eclipse	誤差
5x5cm ²	0.96	0.96	0.00%
10x10cm ²	1.00	1.00	0.00%
20x20cm ²	1.03	1.03	0.00%
30x30cm ²	1.04	1.04	0.00%

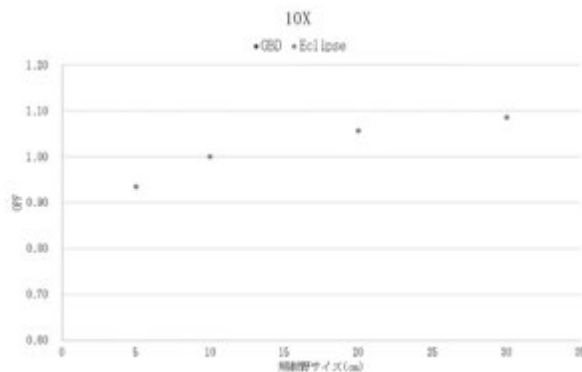


Fig. 5 GBD と Eclipse 計算値の OPF の比較 (例: 10MV)

0.00% (最大 0.09%) と良好に一致していた。先行研究の報告において、広木らは X 線の GBD と MBD の誤差が PDD, OCR とともに 1% 以内であったと報告している²⁾。また田中らは、国内で使用されている 17 施設 21 台分の TrueBeam を対象とした多施設調査において、3 x 3 cm² の小照射野を除き、PDD や OCR (平坦領域)、OPF のばらつきが 1.0% 未満であり、その平均データと GBD の誤差も 1% 未満であったと報告している⁴⁾。本研究の結果も同様に、GBD と MBD の測定誤差は PDD, OCR, OPF 全て 1% 未満であっ

(b) (6 MV)

照射野	GBD	Eclipse	誤差
5x5cm ²	0.93	0.93	0.00%
10x10cm ²	1.00	1.00	0.00%
20x20cm ²	1.07	1.07	0.00%
30x30cm ²	1.10	1.10	0.00%

(d) (6 MV-FFF)

照射野	GBD	Eclipse	誤差
5x5cm ²	0.94	0.94	0.00%
10x10cm ²	1.00	1.00	0.00%
20x20cm ²	1.05	1.05	0.00%
30x30cm ²	1.07	1.07	0.00%

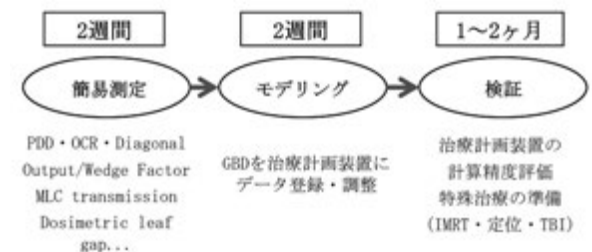


Fig. 6 コミッショニングの流れ (当院)

た。以上の結果より、我々は当院のリニアックのビームデータとして GBD を使用することは問題ないと判断した。

簡易測定的项目以外にも、GBD として公開されていない、測定が必須のビームデータ項目の測定や、確認目的で測定を行った項目も存在するが、それらを含めても、通常であれば 1~2 ヶ月程度必要なビームデータ測定が、GBD を使用することで 2 週間ほどで完了することができた。当院で行ったコミッショニングの流れ・期間を Fig. 6 に示す。ビームデータ測定の時間を大幅に短縮することができ、短縮した時間でスタッフの研修を行ったり、IMRT (Intensity Modulated Radiation Therapy: 強度変調放射線治療)、TBI (Total Body Irradiation: 全身照射) などの特殊治療の検証に時間を掛けることができた。

全く簡易測定や検証を行わずに GBD を用いてリニアックのコミッショニングを行うことは、自施設のリニアックの特性を知る上でも避けるべきであるが、GBD と自施設の MBD が一致していることを確認した上で GBD を使用することに

よって、ビームデータ測定における人為的ミスを避け、安全かつ短期間でリニアックの立ち上げを行うことができると言える。

5. おわりに

新規リニアック (TrueBeam) の更新において、GBD を使用してコミッショニングを行った。GBD と当院の MBD を比較検討するために簡易測定を行った結果は、PDD, OCR, OPF で測定誤差は 1 % 以内であった。GBD を使用することでコミッショニングにおけるビームデータ測定期間の短縮ができ、安全かつ短期間でリニアックを更新・臨床導入することができた。

●文献

- 1) 放射線治療品質管理機構：放射線治療装置導入に関するコミッショニング必要期間について
http://www.qcrt.org/document/comisshoning_proposal.pdf, 2008.
- 2) 広木智之, 藤田幸男, 前平祥太, 他. : ゴールデンビームデータを用いた効率的な治療計画装置コミッショニング. 日本放射線技術学会誌 Vol.75 (8) : 725-735, 2019.
- 3) Varian Medical Syetems. TrueBeam Representative Beam Data for Eclipse. 2015.
- 4) Tanaka Y, Mizuno H, Akino Y, et al.: Do the representative beam data for TrueBeamTM linear accelerators represent average data? J Appl Clin Med Phys 20 (2) : 51-62, 2019.