

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 4 月 21 日現在

機関番号：33902

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21592405

研究課題名（和文） 放射線治療における歯科インプラント周囲の線量シミュレーション

研究課題名（英文） Dose simulation surrounding dental implants in radiotherapy

研究代表者

内藤 宗孝（NAITOH MUNETAKA）

愛知学院大学・歯学部・准教授

研究者番号：20167539

研究成果の概要（和文）：

放射線治療において、歯科インプラント周囲での線量分布の変化を明らかにすることは重要である。

舌癌における放射線治療を想定してモンテカルロ法による線量シミュレーションを行った。また、 $^{137}\text{Cs}$  線源と TLD を用いた実測も行った。

シミュレーションにおいて、インプラントが存在し無い場合と比較して、インプラントが存在する場合の吸収線量は 0.412MeV- $\gamma$  線では最大で約 20%、6MV-X 線では最大で約 40%増加していた。

実測において、インプラントがある場合の吸収線量は頬側で 47.9%となった。

研究成果の概要（英文）：

It is important that distribution of radiation doses surrounding dental implants were clarified in radiotherapy. Dose simulation in radiotherapy to tongue was performed using Monte Carlo technique. Also, doses surrounding dental implants were measured using  $^{137}\text{Cs}$  radiation source and thermoluminescence dosimeter (TLD).

In dose simulation, absorbed doses with dental implants in source side were larger in comparison with those without dental implants. Maximum increase of absorbed dose with dental implants was approximately 40% in 6MV-X-ray and 20% in 0.412MeV-gamma ray, respectively.

In measurement using TLD, absorbed dose with dental implants decreased 47.9% in buccal side.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2010 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011 年度	500,000	150,000	650,000
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：医歯薬学 歯学

科研費の分科・細目：病態科学系歯学・歯科放射線学

キーワード：線量，シミュレーション，歯科インプラント，下顎モデル

### 1. 研究開始当初の背景

歯科インプラントは歯の欠損した顎骨にチタン製の人工歯根を埋入し、その上に人工の歯を取り付ける治療方法である。歯科インプラント治療は適確な診断のもと、適切な外科的処置および適切な補綴処置、さらにはその後の定期的なメンテナンスにより、長期にわたる安定した予後経過を確保できるようになり、歯冠補綴、義歯補綴と並ぶ補綴処置におけるひとつの選択肢として確立してきている。その適応範囲は広く、若年者から高齢者に至るまでの幅広い年齢層に施行されており、歯科インプラント治療を受ける患者は年々増大している。

歯科インプラント患者において、今後口腔に悪性腫瘍が発症しないとは限らず、場合によっては放射線治療が施行される可能性がある。その場合、埋入されたチタン製インプラントからの散乱線により、周囲骨の線量が増大することが考えられる。その結果として骨壊死や歯科インプラント脱落の危険性が増す恐れが考えられる。そのようなことから、放射線治療において歯科インプラント周囲の線量分布がどのように変化するかを把握することは重要であると考えた。

### 2. 研究の目的

国内では、放射線治療における歯科インプラント周囲の線量分布の計測はほとんど行われていない。また、国外ではこの線量分布は、ファントムを用いて実験的に計測されている (Dosemetric evaluation of the effect of dental implants in head and neck radiotherapy. Ozen J, et al. Oral Med Oral Pathol Oral radiol Endod 99:743-747,2005., Evaluation of scatter dose of dental

titanium implants exposed to photon beams of different energies and irradiation angles in head and neck radiotherapy. Beyzadeoglu M, et al. Dentomaxillofac Radiol 35:14-17,2006.)。これらの論文では熱ルミネセンス線量計 (TLD) を用いて実測を行なっているが、TLD 素子の感度に対する方向依存性やエネルギー依存性があることや、TLD 素子自体にある程度の体積があることなどのため、インプラント周囲の正確な線量分布を測定することは難しい。そこで、モンテカルロ法により、放射線治療における歯科インプラント周囲の線量分布をシミュレーションすることを目的とする。

### 3. 研究の方法

舌癌における放射線治療を想定して線量シミュレーションを行った。シミュレーションには医学物理分野において広く利用されているモンテカルロ法を用いた。計算コードは、EGS5 (Electron Gamma Shower Ver.5) を使用した。

また、乾燥下顎骨と TLD による実測も行い比較した。

(1) 簡略化した体系でのシミュレーション  
インプラント埋入部を簡略化した、図1のような平板を積み重ねた体系を作成した。入射ビームは、 $^{198}\text{Au}$ を想定した0.412MeVの $\gamma$ 線、 $^{137}\text{Cs}$ を想定した0.611MeVの $\gamma$ 線、6MVのX線 (Varian Linac のエネルギースペクトル [Daryoush Sheikh-Bagheria and D. W. O. Rogers]) とした。チタン前後の海綿骨部分の付与エネルギーを取得した。また、チタンがない場合のシミュレーションも行い比較した。光子のカットオフエネルギーは10keV、電子

のカットオフエネルギーは521keV (静止質量エネルギー含む) とした。計算の統計誤差が0.5%未満となるように入射光子数は $10^9$ とした。

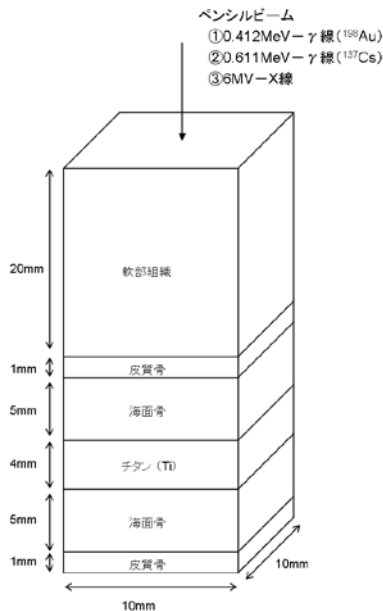
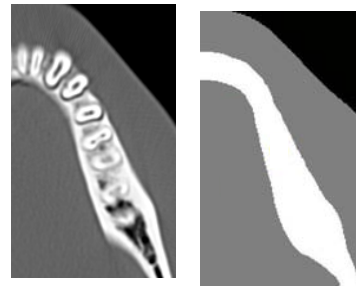


図1 ジオメトリ

(2) ボクセルファントムを用いたシミュレーション

頭部ファントムをマルチスライス CT で撮影し、得られた画像データより、シミュレーション上に多数の直方体で構成されるボクセルファントムを作成した(図2)。ボクセルファントムは左側下顎部のみとし、ボクセルサイズは  $0.3\text{mm} \times 0.3\text{mm} \times 3\text{mm}$  (ボクセル数  $150 \times 250 \times 9$  個) とした。画像の CT 値を元に組織を割り当て、 $-100\text{H.U.}$  未満を空気、 $-100\text{H.U.}$  以上  $400\text{H.U.}$  未満を軟部組織、 $400\text{H.U.}$  以上を骨組織とした。

シミュレーション上のインプラントは直径  $3.9\text{mm}$ 、長さ  $12\text{mm}$  の純チタン (Ti) とし、第一大臼歯部に配置した。(図3)



(a) (b)

図2 頭部ファントムの CT 画像(a)と構築したボクセルファントム(b)

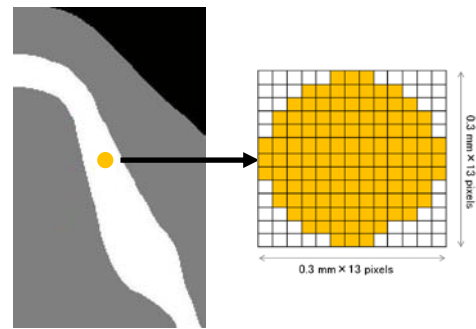


図3 インプラント部の形状

舌癌における放射線治療を想定し、 $^{198}\text{Au}$  グレインによる組織内照射と、 $6\text{MV-X}$  線による外照射をシミュレーションした。(1)と同様、光子のカットオフエネルギーは  $10\text{keV}$ 、電子のカットオフエネルギーは  $521\text{keV}$  (静止質量エネルギー含む) とした。計算の統計誤差は1%以内とした。

①  $^{198}\text{Au}$  グレイン

インプラント体から  $1\text{cm}$  の位置に  $3 \times 3$  ボクセルの Au を 3 個、 $1\text{cm}$  間隔で配置した。(図4) 入射光子エネルギーは最も放出割合の高い (95.6%)  $0.412\text{MeV}$  とし、光子が等方に放出されるようにした。インプラントがある場合とない場合で計算を行い、インプラ

ント周囲の散乱線による影響を検討した。

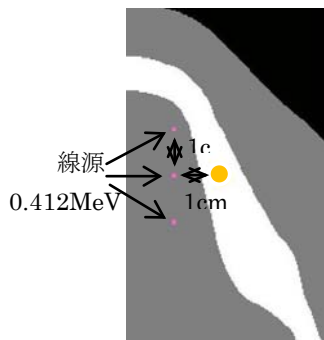


図4 線源のジオメトリ

## ②外照射

(1)と同様の6MVのX線(Varian Linacのエネルギースペクトル)を使用し、側方一門、照射野は $5 \times 5\text{cm}$ 、SAD(source axis distance)は100cmとした。(図5)インプラントがある場合とない場合で計算を行い、インプラント周囲の散乱線による影響を検討した。

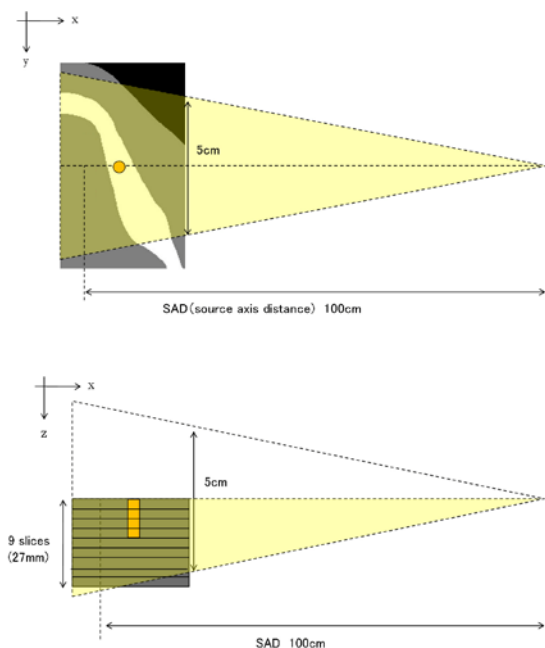


図5 外照射のジオメトリ

## (3)実測

乾燥下顎骨の左側第一大臼歯部周囲4点(近心側、遠心側、頬側、舌側)にTLD素子(MBO)を配置した。(図6)第一大臼歯部から1cm舌側の位置に $^{137}\text{Cs}$ 線源(ペレット状)を配置し、線量を測定した。(乾燥下顎骨は直径16cmの円筒形の水槽に入れた。インプラント体のある場合とない場合で24時間ずつ照射を行い比較した。測定は3回ずつを行い平均した。



図6 TLD素子

## 4. 研究成果

### (1)簡略化した体系でのシミュレーション

チタンがない場合に対する、チタンがある場合の吸収線量の相対値を図7に示す。照射側で吸収線量の増加がみられ、6MV-X線では最大25.7%、0.611MeV- $\gamma$ 線では最大20.5%、0.412MeV- $\gamma$ 線では最大17.4%の増加がみられた。エネルギーの高い6MV-X線の方がより遠方まで吸収線量の増加がみられた。透過側では吸収線量は減少し、6MV-X線では最大25.5%、0.611MeV- $\gamma$ 線では最大25.3%、0.412MeV- $\gamma$ 線では最大22.3%の減少であった。

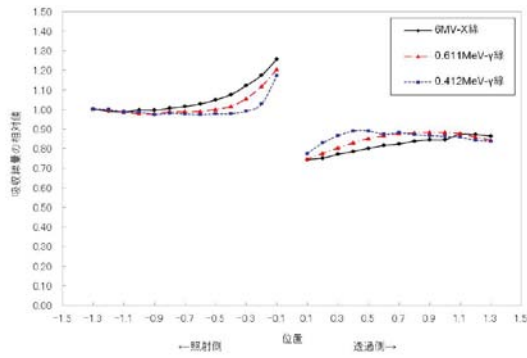


図7 チタン前後での吸収線量の相対値

(2)ボクセルファントムによるシミュレーション

インプラント近傍の線量分布を図に示す。照射側で吸収線量の増加、透過側で減少がみられた。0.412MeV- $\gamma$ 線では最大で約20% (図8)、6MV-X線では最大で約40% (図9) 増加しているポイントもみられた。(1)での結果と同様、エネルギーの高い6MV-X線の方がインプラントの遠方まで吸収線量の増加がみられた。吸収線量の増加はインプラントから2mm程度までであった。

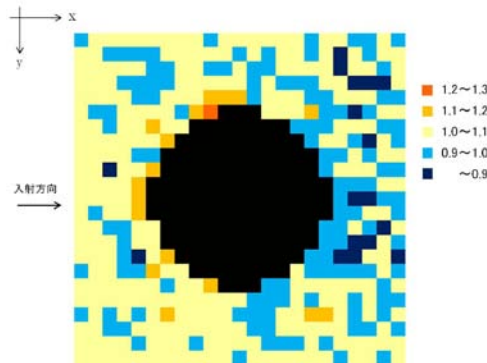


図8 インプラント近傍の線量分布 (0.412MeV- $\gamma$ 線)

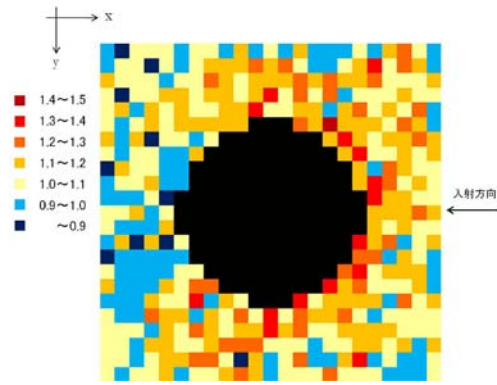


図9 インプラント近傍の線量分布 (6MV-X線)

6MV-X線に関しては、1ピクセル(0.3mm×0.3mm)をさらに5×5に分割して詳細な付与エネルギーを取得した。(図10)インプラントに近い位置の方が吸収線量の増加が多かった。

ピクセルの角の部分で吸収線量の増加が多くなっていた。インプラントのスレッド部分での吸収線量が多くなることが示唆された。

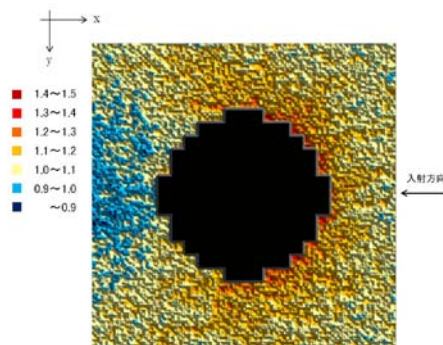


図10 インプラント近傍の線量分布 (6MV-X線)

(3)実測

実測された吸収線量を図11に示す。インプラントがある場合の吸収線量をインプラントがない場合と比較すると、近心側で-5.5%、遠心側で+12.1%、舌側で+0.6%、頬側で-47.9%となった。TLD素子のバラツキと測定誤差を考慮すると、頬側の測定点以外はインプラントの有無で吸収線量ほぼ変化しないと考えられる。

シミュレーションの結果からは吸収線量の増加はインプラントから 1mm 以内で生じているといえる。そのため TLD 素子でこの部分の吸収線量を正確に測定するのは困難と考える。

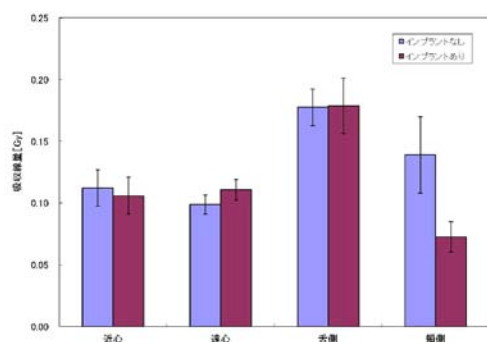


図 11 実測における吸収線量

モンテカルロシミュレーションにより、照射側のインプラント近傍で吸収線量が増加することがわかった。増加量は照射エネルギーが高いほど多くなり、外照射の場合最大で 40% 増加することも考えられる。この吸収線量の増加が骨壊死のリスクを増加させるかどうかは、今後実際の症例での検討が必要である。

インプラントの透過側では吸収線量は減少するため、外照射の場合は腫瘍線量の不足が生じる可能性がある。インプラントの位置によっては治療計画時の考慮が必要であると考える。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 1 件)

- ① 後藤賢一、小山修司、森下祐樹、内藤宗孝、松尾綾江、蛭川亜紀子、横井みどり、奥村信次、有地榮一郎：放射線治療におけるインプラントからの散乱線シミュレーション。NPO法人日本歯科放射線学会第 209 回関東地方会 (鶴見大学, 横浜), 2009 年 7 月 11 日。

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

内藤 宗孝 (NAITOH MUNETAKA)  
愛知学院大学・歯学部・准教授  
研究者番号：20167539

### (2) 研究分担者

有地榮一郎 (ARIJI EIICHIRO)  
愛知学院大学・歯学部・教授  
研究者番号：00150459

### (3) 連携研究者

小山修司 (KOYAMA SHUJI)  
名古屋大学・医学部・講師  
研究者番号：20242878

### (3) 研究協力者

奥村信次 (OKUMURA SHINJI)  
愛知学院大学・歯学部附属病院・診療放射線技師  
研究者番号：20424913

蛭川亜紀子 (HIRUKAWA AKIKO)  
愛知学院大学・歯学部附属病院・診療放射線技師  
研究者番号：00424911

後藤賢一 (GOTO KENICHI)  
愛知学院大学・歯学部附属病院・診療放射線技師  
研究者番号：50526267