原 著

論文受付
2019年5月30日

論文受理
2019年8月25日

Code No. 490

放射線治療におけるインシデント事例に対する VTAを用いたヒューマンファクタ研究

山本鋭二郎^{1,2} 岡 耕平²

¹ 大阪府済生会野江病院放射線治療科

² 滋慶医療科学大学院大学

緒 言

近年の放射線治療は産業技術の発展による恩恵を受け、高精度化が図られているが、高精度化と同時に安全性が高められているわけではない。実際に放射線治療は必ずしも安全に提供されているわけではなく、エラーによる患者の死亡や重篤な有害事象の発生をもたらしたことが報告されている¹⁻³⁾。また、放射線治療では多くのプロセスを経て治療が行われており⁴⁾、煩雑な作業が時間的な制約の中で進められるため、ヒューマンエラーが生じやすい環境にある。しかし、放射線治療に関連する安全や事故に関する研究はどのプロセスでエラーが生じていたか、こういった症例で

起きやすいかなどの分析に留まっており、根本的なエラーの原因をヒューマンファクタの観点から分析した研究が十分に進んでいないのが現状である。Huangらは1997年から6年間に治療を受けた28136名の患者のうち、1.9%になんらかのエラーが発生し、0.4%に重篤な障害が生じていたことを報告した¹⁾。また、Shafiqらは1976～2007年の間にWHOに報告された38件の放射線治療による死亡事例のうち、コミッショニングで6例、治療計画で17例、照射で13例、複数のプロセスにまたがって生じたエラーによるもので2例という内訳であったと報告した²⁾。比較的近年のデータを扱ったBissonnetteらの報告ではカナダのが

A Human Factors Study Using VTA for Incident Cases in Radiotherapy

Toshijiro Yamamoto^{1,2*} and Kohei Oka²

¹ Department of Radiation Oncology, Osaka Noe Saiseikai Hospital

² Graduate School of Health Care Sciences, Jikei Institute

Received May 30, 2019; Revision accepted August 25, 2019

Code No. 490

Summary

In recent years, workload has increased with higher precision of radiotherapy. Although both efficiency and thoroughness of treatment are crucial, in such conditions, human error is easy to occur. In this study, five incident cases that occurred in four facilities were studied and analyzed from the viewpoint of human factors that contribute to errors using variation tree analysis. We also analyzed resilience (the ability to return to one's original state even if the system deviates from a stable state), which has attracted attention in recent safety research. There were potential factors represented by patient factors in all cases. These factors caused deviations from standard operations, and incidents occurred due to unfamiliar situations and operations. Furthermore, in four of the five cases, the cause of the incident was a resilience action or judgment that was deemed to have required "some sort of ingenuity or adjustment." It was found that human error occurred due to multiple simultaneous occurrences of potential factors, i.e., patient and human factors such as high workload, impatience, and work interruptions. A reduction in human errors can be achieved by avoiding time pressure and multitasking, creating work environment and working conditions that make resilience work well, revising ambiguous rules and procedures, and promoting standardized working methods.

Key words: radiotherapy, human factors, incident, variation tree analysis (VTA), resilience

*Corresponding author

んセンターにおいて、2001～2007年までの7年間のニアミス・インシデントレポート1068例を解析した結果、治療計画と照射のプロセスでエラーが多かったと報告した⁵⁾。また、Novakらは2012年から2年間で1897例のニアミス・インシデントレポートについてプロセスごとの頻度と重症度について分析した結果、治療計画のプロセスでのエラーが33%、照射のプロセスでのエラーが30%生じており、これらのプロセスでのエラーは重症度も高かったと報告した⁴⁾。これらの報告から近年の放射線治療においてエラーが生じる頻度が多く、重症度の高い作業プロセスは治療計画と照射のプロセスであることが明らかになっている。

一方で放射線治療において生じているエラーの原因について米国原子力規制委員会は少なくとも70%以上がうっかりや思い込み、コミュニケーションエラーなどのヒューマンエラーが占めていると報告している⁶⁾。また、Terezakisらは米国の大規模な二つの施設でニアミス・インシデントレポートを収集し、レベル2(臓器または機能に重症な影響が生じる可能性があるレベル)の事例149例について分析した。その結果、エラー原因の94%がヒューマンエラーやコミュニケーションによるエラーでハードウェアなどが原因で生じたエラーはわずか6%に過ぎなかったと報告している³⁾。これらの報告から放射線治療においてヒューマンエラーの防止はエラー自体の発生や、エラーによって患者の死亡や重篤な有害事象をもたらすことの低減や回避につながると考えられる。また、Portaluriらは自施設で2001年1月～2006年6月までに生じた32件のインシデントの原因を米国海軍が開発したヒューマンファクタ分析や分類システムを用いて分析を行った結果、インシデントの原因はそれぞれのプロセスにおけるオペレータの不注意やうっかり、確認不足、思い込み、行為の誤り、疲労がそれぞれ関連していたことを報告した⁷⁾。しかし、これらの放射線治療のエラーに関する報告では、エラー原因の多くがヒューマンエラーであることは明らかになっているが、なぜヒューマンエラーが起きるのか、こういった環境や条件がヒューマンエラーを引き起こすのかは明らかにされていない。

近年の医療における安全対策において人間の行動特性の観点からエラーを分析するヒューマンファクタ研究が注目されており、ヒューマンファクタ研究を取り入れた医療安全対策が進んでいる。一般的なヒューマンファクタ研究においてヒューマンエラーは結果であり、それ自体は原因ではないと考えられている。そのためエラーが起きた環境や状況进行分析し、ヒューマン

エラーを引き起こす原因を突き止め、その根本原因を排除することが重要であるとされている⁸⁾。Perrowらは医療などではシステムを構成している要素が複雑で、患者やスタッフなどの人、たくさんの装置や情報、設備やルールなどがそれぞれ相互作用を絶えず起しており、これらは常に調整されながら作業が進んでいるとしている⁹⁾。この調整するという行為は近年の安全研究においてレジリエンスとして注目されている。ホルナゲル(Hollnagel)¹⁰⁾はレジリエンスとは「システムが安定した状態を維持し、ときにはその状態から逸脱しても速やかに原状に復帰する能力のこと」としているが、レジリエントなシステムでは、例えば患者状態や装置の不良などによる多少の摂動が生じたとしてもパフォーマンスを一定に保つことができる。

前述したとおり、未だ放射線治療におけるエラーの研究においてはヒューマンエラーが原因だと結論付けられているが、放射線治療においてもヒューマンエラーを結果と捉え、その原因を追求する研究が必要であると考え、そこで本研究ではシステムの異なる多施設で生じたインシデント事例について、ヒューマンファクタの観点から放射線治療においてエラーが起きた作業環境や作業条件について訪問調査を行った。そして、インシデントやアクシデントの背景にあるヒューマンファクタを検討するために用いられている分析手法である variation tree analysis (VTA)を用いてインシデントが起きた作業環境や作業条件を時系列にして図式化し、エラーの背景にある共通する構造を抽象化することを目的として分析を行った。本研究は放射線治療のヒューマンエラーが生じるメカニズムを明らかにするための質的研究である。

1. 方法

1-1 VTA

VTAはLeplatとRasmussen¹¹⁾によって認知科学の分野から提案された事故事例の事後分析手法で、時間軸に沿って事故に関与した複数の個人やシステムを構成するさまざまな要素が何をどのように捉えて何を実行したのかという観点でプロセスを整理し、ヒューマンファクタを分析するアプローチとして提案され、これを黒田らが航空分野や交通分野において実用化した分析手法である¹²⁾。現在、VTA分析手法は製造分野、医療分野などをはじめ、広く産業界全般にわたって利用されている事故分析手法となっている。この手法は通常からの変化や逸脱に注目して、どの時点からその傾向が現れたのか、どの行動や判断が関連してエラーが誘発されたのかを究明していく。VTAでは推

Fig. 1 Modified from basic form of VTA.

定的な要因は含めず、確定事実のみを分析対象とし、原則的な前提としてすべてが通常どおりに進めば事故は発生しないとしたうえで、通常から逸脱した行動や判断、その結果としての状態などが事故の発生に関連したと考える。通常から逸脱した行為などを総称して、変動要因と呼び、それらを時系列に整理して記述することによって、逸脱していく様子を詳細に検討する。その中で排除すべき変動要因や通常から逸脱させた背後要因、次々と連鎖していく変動要因の関連を断ち切ることができなかった環境要因などを明らかにしていく手法である。医療事故の事後分析手法ではroot cause analysis(RCA)が用いられることが多いが、本研究では通常作業からの逸脱や変化に着目したため、VTAを用いた。

本研究では標準的な作業からの逸脱がどの時点から生じて、ヒューマンエラーにつながりどのようにインシデントが生じるのかを把握するため、黒田らの考案したVTAに「何らかの工夫や調整」が行われた行動や判断という変動要因を新たに加え、「通常から逸脱した行動や判断」と、「何らかの工夫や調整」に分類して図式化することとした(Fig. 1)。このように独自の変動要因を追加して分類した理由はシステムのパフォーマンスが通常から逸脱しそうになった場合、人によるレジリエントな行動や判断(調整したり、修正

したりして元の通常の状態に戻そうとする行動や判断)がヒューマンエラーとどのように関連しているかを検討するためである。

1-2 倫理的配慮

本研究は滋慶医療科学大学院大学の研究倫理委員会で承認された計画書に基づき実施し、被験者情報は匿名化を行い、個人情報の保護に配慮した。

1-3 対象

研究対象施設は関西の放射線治療技術者を対象とした勉強会である「放射線治療かたろう会」に参加している放射線治療実施施設で研究協力依頼を行った10施設のうち、承認された6施設とした。対象事例は研究協力依頼を行った2017年5月以降に各施設で倫理審査承認を得てから2017年12月末までの調査期間中に生じたインシデント事例とした。なお、本研究におけるインシデントは厚生労働省のヒヤリ・ハット事例の定義である「日常診療の場で、誤った医療行為などが患者に実施される前に発見されたもの、あるいは、誤った医療行為などが実施されたが、結果として患者に影響を及ぼすに至らなかったもの」とし、その判断は事例提供施設の研究協力者に任せた。

Fig. 2 Summary of the psychological varieties of unsafe acts by James Reason¹³⁾.

1-4 調査方法

各施設でインシデントが生じた場合に研究協力者から連絡を受けて、第1著者が可及的速やかに現場に赴き、エラーに関連した従事者に対して、それぞれ口述聴取を行った。口述聴取する項目は発生日時・場所、インシデント事例の概要、インシデント事例患者のプロファイル(原疾患、治療の内容、performance status: PS)、当事者や関係者のプロファイル(経験年数、当時の状態)、当該事例における通常の作業プロセス、インシデント発生時の作業環境・作業条件、その他、インシデントに関連すると思われる事項とした。なお、記録は紙媒体とボイスレコーダを用いて行った。

1-5 分析方法

インシデントが生じた事例における作業プロセスをコンポーネント化し、それぞれのコンポーネントにおける関係者の行動や判断などをVTAの変動要因として図式化した。説明欄には通常の作業手順を記載し、うまくいっている通常の状態とエラーが生じた際のうまくいかなかった場合との比較を行った。更に本研究では各変動要因とヒューマンエラーとの関連を示すために通常からの逸脱が生じた原因をFig. 2に示す認知心理学的なReasonのエラー分類¹³⁾を用い、不安全な行動や判断をヒューマンファクタの観点からスリップ、ラプス、ミステイク、バイオレーションの四つに分類し図中に記した。VTAでは通常の作業から逸脱した場合やヒューマンエラーなど変動要因を加え、変動要因間の関係性を評価し、エラーにつながる要因の分析を行った。これらの分析作業は著者と第2著者である認知心理学者とともに行った。認知心理学者には放射線治療の作業内容を著者が説明したうえでヒュー

マンファクタについて評価した。なお、分析終了後に各事例で口述聴取を行った関係者、施設の管理者に対して記述内容や分析に間違いがないか確認した。

2. 結果

調査期間中に事例が提供されたのは4施設で5事例であった。以下に各事例について記す。

2-1 事例1：照射位置間違い

【患者A】肝臓がん。右大腿骨頸部の骨転移に対する照射。男性。疼痛なし。肥満体格。全15回の治療中で7回目の治療。

【関係者】技師B 放射線治療の経験2.5年、技師C 1年、技師D 2.5年、技師E 4年。

【概要】鼠径部に印していたアイソセンタを示すマークが薄くなっていた。初回治療時と同様に位置決めcomputed tomography(CT)時のリファレンスを示すラインから治療部位のアイソセンタまで移動して正しいマークを同定しようとしたが、定規の目測を誤ってしまい大腿中央部に描かれた下肢のローリングを合わせるための補助線がアイソセンタを示すマークだと判断してしまった結果、誤った位置で照射した。誤照射当日の誤照射発覚後に撮影した患者Aの皮膚マークをFig. 3に示す(当日照射後に書き足しているためマークは濃くなっている)。

【VTA】Fig. 4に示す。

2-2 事例2：治療装置の選択間違い

【患者A】髄芽腫。11歳。軽度の知的障害。

【治療内容】1st plan：全脳全脊髄照射23.4 Gy/13 fr (gap changeを行っているため実際は3rd plan)。全

Fig. 3 Case1 Skin mark.

Skin mark (On the day of occurrence of the event, the thinned lines were added from the top with a magic marker)

- ① Line of convolution of the thigh
- ② Mark of correct irradiation position
- ③ Reference line at CT imaging

※ ○ was added by mistake (Originally there is a circle at the intersection of ② vertical lines and horizontal lines)

Fig. 4 Case 1 VTA: incorrect setup position.

脳照射は volumetric modulated arc therapy (VMAT) 照射. 4th plan : wide local VMAT 照射 21.6 Gy/12 fr. 5th plan : local VMAT 照射 10.8 Gy/6 fr. Total 55.8 Gy/31 fr.

【補足説明】近年、化学療法の治療成績向上により全脳全脊髄照射を行う症例自体が減少しており、当該施設においても3年ぶり、医師Bにおいても過去に3例しか経験のない稀な症例であった。

Fig. 5 Case 2 VTA: treatment machine select mistakes in planning process.

【関係者】医師 B 治療経験 2.5 年, 技師 C 8 年, 技師 D 5 年(当該施設入職後 2 カ月), 技師 E 16 年.

【概要】医師 B が照射直前の休日に出勤して治療計画を行った 4th plan において治療装置の選択を, 予定されていたリニアック 1 ではなく, リニアック 2 にしてしまった. 翌日の 14 時に plan が承認され, その後の plan のチャートチェック, 実測検証でも装置選択の間違いを検出することができず, plan 変更当日の照射直前に気がつき, 1 日治療を休止し, 翌日からの plan 変更となった.

【VTA】Fig. 5 に示す.

2-3 事例 3: 寝台角度の間違い

【患者 A】脳腫瘍(髄膜腫). 糖尿病と全身性エリテマトーデスの合併症. 50.4 Gy/28 回照射予定.

【関係者】医師 B 放射線治療の経験 15 年, 技師 C 8 年, 技師 D 1 年.

【概要】髄膜腫の症例. VAMT 5arc(couch rotation 4position: 0°, 45°, 90°, 90°, 315°)の照射方法であっ

たが, 10 回目の治療で couch position 315° の照射する際, 誤って 90° のまま照射を開始してしまった.

【VTA】Fig. 6 に示す.

2-4 事例 4: 照射角度の誤り

【患者 A】食道がん. 女性. 同時化学放射線療法 60 Gy/30 回中 7 回目の治療.

【関係者】技師 B 放射線治療の経験 15 年, 技師 C 2 年.

【概要】kV イメージでの画像照合後, yawing が 1.2° 回転していたため, 寝台の couch rotation を 1.2° 回して位置修正を行った. 照射時に寝台のインターロックだけでなく, all を選択し, すべてのインターロックを外してしまったために, 0° の beam を誤ったガントリ角度で照射してしまった.

【VTA】Fig. 7 に示す.

2-5 事例 5: 画像照合位置の誤り

【患者】膀胱がん. 95 歳, 女性. 膀胱出血による止

Fig. 6 Case 3 VTA: incorrect couch angle.

血目的の対症的放射線療法. 25 Gy/5 回の治療予定. VMAT にて治療. 前処置として排尿. PS 0.

【関係者】技師 B 放射線治療の経験 10 年. 技師 C 15 年.

【概要】全 5 回の治療中, 2 回目の治療で cone beam computed tomography (CBCT) にて画像照合を行ったが, 翌日の症例カンファレンスで医師から planning target volume (PTV) 内に一部ターゲットが入っていないとの指摘を受けた. 見直してみると膀胱後壁の一部が PTV 外に出ており, 画像照合位置不良による誤照射が判明した.

【VTA】Fig. 8 に示す.

2-6 事例分析のまとめ

本研究ではインシデント事例が発生してから可及的速やかに現場に訪問して調査を行ったために, 関係した従事者の記憶が比較的鮮明で, インシデントが起きた作業環境や作業条件, 関係者らの行動や判断などのヒューマンファクタを調査し, インシデントに至った

経緯を分析することができた. また, VTA に新たに「何らかの工夫や調整」を加えたことで意図的に行われた逸脱, すなわちイレギュラーな事態において標準作業に戻そうとしたレジリエントな行動や判断の結果がヒューマンエラーにどのように関連するかを明示できた.

各事例の結果を Table にまとめる. 今回収集したすべての事例について, 「通常から逸脱した行動や判断」, もしくは「何らかの工夫や調整」が確認され, すべての事例でヒューマンエラーが生じていた. そのうち事例 1~4 で「何らかの工夫や調整」が上流の工程で発生し, その後にヒューマンエラーが生じることで, インシデントとして表面化していた(図中の点線の変動要因). また, 事例 1 ではマーキング消失時の対応ルールの曖昧さ, 事例 2 では稀な全脳全脊髄照射で軽度の知的障害による治療時間の延長を考慮した通常は高精度治療を行っていない装置への振替, 事例 3 では全身性エリテマトーデスと糖尿病の合併症を考慮した通常の arc 数からの逸脱, 事例 4 では yawing の患者

Fig. 7 Case 4 VTA: incorrect gantry angle.

Fig. 8 Case 5 VTA: image matching position error.

Table Summary of each case

	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5
Ingenuity and adjustment (Resilient)	2	1	3	1	0
Deviation of rule	4	6	2	2	1
Human error	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Potential cause	Patient	Patient	Patient	Procedure change	Patient

位置補正の作業手順の変更を提案中だったこと、事例5では非常に高齢で臓器のシフトが大きかったことや画像照合に不要なストラクチャを表示していたことなど、すべての事例で何らかの潜在的要因が存在していた。これらの潜在的要因が遠因となり、標準作業では対応できず、「何らかの工夫や調整」が行われ、この工夫や調整がレジリエントな行為として機能しなかった場合に「通常から逸脱した行動や判断」というレジリエントな行動や判断がヒューマンエラーにつながり、インシデントの原因となっていた。このことはすなわち、レジリエントな行動の成否が事故の防止・発生を左右することを示している。本研究における事例検討の結果、放射線治療は患者・スタッフ・装置などによる変動要因が多く存在するため標準化しにくい作業環境であり、これがレジリエントな行動をせざるを得ない背景になっていることが明らかになった。また、事例3～5では高精度な治療を提供するために生じているエラーで、計画どおりの完全性の高い治療を求められている結果、ヒューマンエラーが生じていた。

3. 考 察

今回の研究において新たに「何らかの工夫や調整」を加えたVTAを事故分析手法として用いたが、これにより通常のうまくいっている作業環境や作業条件、人の行動や判断に対して、うまくいかなかった場合の作業環境や作業条件、人の行動や判断を比較することが簡便にできた。また、VTAの特徴は前提として、すべてが通常どおりに進めば事故は発生しないという点にあり、通常のうまくいっている作業環境や作業条件とエラーが起きた作業環境や作業条件の差分に注目できることが特徴である。実際の臨床現場において、仮にワークフローに明確なルールや手順書がなかったとしても、多くの場合は人を含めたシステムは通常のうまくいっている状態にあるはずである。しかし、何らかの変動要因が生じたときに、通常のうまくいっている状態に戻すために調整する行為はシステムのもつレジリエンスである。事後分析手法として多く用いら

れるRCAではこれを問題と捉えて、改善する対象となってしまうが、これらの行為は本来システムのもつ調整する能力を失うことにもつながってしまう可能性があると考えられる。

本研究における事例分析の結果、インシデントに至った事例に共通する因子は患者・スタッフ・装置などによる変動要因が多く存在するため標準化しにくい作業環境であること、高精度化による完全性・効率性に対する高い要求が存在することであった。

患者要因に代表される変動要因は不慣れな状況や作業を招く。これらの変動要因はヒューマンエラーが起きた変動要因よりも上流の工程に存在していた。そのため通常の作業環境や作業条件から逸脱し、その結果標準作業を行うことができず、「何らかの工夫や調整」が必要となり、誤った行動や判断が誘発されていた。Changら¹⁴⁾は放射線治療における事故に関連する潜在的なリスク要因に関する検討を行い、稀な症例ではエラー発生率が高かったと報告しているが、これは患者による変動要因の発生や標準化された作業からの逸脱が多くなるためではないかと考えられる。本研究における事例においても同様で、患者要因により不慣れな作業環境や作業条件が生じることで、標準化されていない行動や判断が必要となるため必然的にヒューマンエラーが生じやすくなっていたと考えられる。また、本研究で用いたVTAでは新たに「何らかの工夫や調整」という人によってシステムのパフォーマンスを通常の正常な状態に戻そうとする行為について着目したが、多くの事例で「何らかの工夫や調整」が観察され、これらの変動要因の関連性は多くの事例で同じ傾向を示していた。通常行われている作業は標準化された作業で、一般的には標準化された作業ではスキルベースでの行為(意識的に行わなくとも進められる作業)の中で多くの作業が進んでおり、比較的エラーは生じにくい。しかし、本研究で分析したインシデント事例において、患者要因などにより通常とは異なる作業環境や作業条件を強いられることにより、標準化された作業から逸脱した場合にヒューマンエラーが生じ

やすくなったことが原因と考える。通常、このような標準化された作業からの逸脱が生じた場合、ルールベース(手順が定められていて、手順を確認しながら進めていく作業)での作業やナレッジベース(考えたり調べたりしながら進めていく作業)での作業を人は行っているといわれている¹⁵⁾。しかし、患者を前にした作業が行われている場合や事例2の技師Dのように従事者がタイムプレッシャーを感じている作業環境、作業条件においてはヒューマンエラーにつながっており、これらのヒューマンエラーを誘発するさまざまな要素が同時多発的に相発してヒューマンエラーが生じていることがわかった。このことから放射線治療においてもエラーが生じた作業環境や作業条件やヒューマンファクタの観点から分析する必要があると考える。

もう一つの共通したエラー因子は高精度化による完全性に対する高い要求であった。近年の高精度化された装置は計画どおりの照射が理論上は可能となっている。しかし、計画どおりという完全性への高い要求は許容される範囲が小さくなり、その結果、作業プロセスを煩雑にして作業負荷を高め、効率性を下げて安全性を低下させるというトレードオフが生じる。高い完全性の要求はシステム全体のパフォーマンスをいつも緊張状態にし、作業中断などの作業環境の悪化や思い込みやうっかりといったヒューマンエラーの影響を受けやすくすると考えられる。

ホルナゲル¹⁰⁾はレジリエンスとは「システムが安定した状態を維持し、ときにはその状態から逸脱しても速やかに原状に復帰する能力のこと」としているが、レジリエントなシステムでは、例えば患者状態や装置の不良などによる多少の摂動が生じたとしてもパフォーマンスを一定に保つことができると考えられる。本研究で着目した「何らかの工夫や調整」はレジリエンスによる行為であり、システムのパフォーマンスを正常な状態に戻そうとする行動や判断である。しかし、このレジリエンスがうまく働かなかったときにインシデントにつながる事例が多く観察されたことから、タイムプレッシャーやマルチタスクを回避し、レジリエンスをうまく働かせる作業環境や作業条件の整

備することと曖昧なルールや手順を改善し、標準化された作業を増やすことがヒューマンエラーの低減につながると考える。

本研究では事例が調査期間中に五つしか収集できなかったため、放射線治療のプロセス内に潜在するエラー要因のすべてを抽象化できたとはい切れず、放射線治療のプロセス全体のエラー要因の抽象化には至らなかった。しかし、最もエラーの頻度が高く、重症度の高いエラーが生じる治療計画から照射のプロセスにおいては共通したエラー原因を見出すことができた。本研究で調査できた事例は限られたものであるが、本研究で用いたVTAによる分析から、共通したエラー要因を見出すことができ、放射線治療におけるエラー分析において共通した因子を抽出できたと考える。

4. 結 語

本研究において多施設から得られたインシデント事例を分析した結果、放射線治療における共通したエラー因子は患者・スタッフ・装置などによる変動要因が多く存在するため標準化しにくい作業環境であること、高精度化による完全性・効率性に対する高い要求が存在することであった。タイムプレッシャーやマルチタスクを回避し、レジリエンスをうまく働かせる作業環境や作業条件を整備することと曖昧なルールや手順を改善し、標準化された作業を増やすことがヒューマンエラーの低減につながると考える。高精度化している現在の放射線治療において、従事する者はヒューマンファクタへの理解を深め、安全なシステムを構築していく必要がある。今後、更に放射線治療におけるヒューマンファクタ研究を進めていきたい。

謝 辞

本研究に際して、研究協力、ならびに事例提供していただいた施設の皆さま、ご指導いただきました滋慶医療科学大学院大学の先生方に深く感謝いたします。

利益相反

筆頭著者および共著者全員が利益相反はない。

参考文献

- 1) Huang G, Medlam G, Lee J, et al. Error in the delivery of radiation therapy: results of a quality assurance review. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2005; 61(5): 1590-1595.
- 2) Shafiq J, Barton M, Noble D, et al. An international review of patient safety measures in radiotherapy practice. *Radiother Oncol* 2009; 92(1): 15-21.
- 3) Terezakis SA, Harris KM, Ford E, et al. An evaluation of departmental radiation oncology incident reports: anticipating a national reporting system. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2013; 85(4): 919-923.

- 4) Novak A, Nyflot MJ, Ermoian RP, et al. Targeting safety improvements through identification of incident origination and detection in a near-miss incident learning system. *Med Phys* 2016; 43(5): 2053-2062.
- 5) Bissonnette JP, Medlam G. Trend analysis of radiation therapy incidents over seven years. *Radiother Oncol* 2010; 96(1): 139-144.
- 6) Wreathall J, Brown WS, Militello L, et al. A risk-informed approach to understanding human error in radiation therapy (NUREG-2170). Washington DC; United States Nuclear Regulatory Commission. 2017.
- 7) Portaluri M, Fucilli FI, Bambace S, et al. Incidents analysis in radiation therapy: application of the human factors analysis and classification system. *Ann Ist Super Sanita* 2009; 45(2): 128-133.
- 8) 河野龍太郎. 医療におけるヒューマンエラー 第2版: なぜ間違える どう防ぐ. 東京: 医学書院, 2014.
- 9) Perrow C. *Normal Accidents: Living With High-Risk Technologies*. Update ed. New Jersey: Princeton University Press. 1999.
- 10) エリック・ホルナゲル, 小松原明哲 監訳 ヒューマンファクターと事故防止 “当たり前”の重なりが事故を起こす. 東京: 海文堂出版, 2006.
- 11) Leplat J, Rasmussen J. Analysis of human errors in industrial incidents and accidents for improvement of work safety. *Accident Analysis & Prevention*. 1984; 16(2): 77-88.
- 12) 石橋 明. 事故はなぜ繰り返されるのか—ヒューマンファクターの分析. 東京: 中央労働災害防止協会, 2006.
- 13) Reason J. *Human error*. New York: Cambridge University Press. 1990.
- 14) Chang DW, Cheetham L, te Marvelde L, et al. Risk factors for radiotherapy incidents and impact of an online electronic reporting system. *Radiother Oncol* 112(2): 199-204.
- 15) Rasmussen J. Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics* 1983; SMC-13(3): 257-266.

問合せ先

〒536-0001 大阪市城東区古市 1-3-25
大阪府済生会野江病院放射線治療科 山本鋭二郎