

（研究代表者:細野 眞）

分担研究報告書

「放射線診療の発展に対応する放射線防護の基準策定のための研究」

放射線診療従事者等の被ばく防止に関する研究

研究分担者 山口 一郎 国立保健医療科学院 生活環境研究部

研究協力者 茂呂田 孝一 国立保健医療科学院 生活環境研究部

1. 研究目的

近年の放射線診療は、診断・治療における重要な手段となっており、とりわけ X 線透視下で行う治療（Interventional Radiology：IVR）は、外科手術に代わる低侵襲治療として急速に発展・普及している。IVR は患者の身体的負担が少なく、入院期間が短縮されるため、医療費抑制の観点からも大きな利点がある。一方、複雑な症例では手技時間が延長し、患者被ばく（医療被ばく）に加えて放射線診療従事者等の職業被ばくが問題となっている[1-6]。患者の被ばくが意図的に、かつ限られた期間に生じるのに対し、放射線診療従事者等は就業期間を通じて反復的に低線量被ばくにさらされる。1 回の手技における被ばくは散乱線であっても散乱体である患者の近くでは患者を透過した直接線に匹敵する線量であることがあり、業務に従事する限り被ばくは継続する。

近年でも、放射線診療との関連が疑われる白内障や慢性の手の炎症[7]、さらには皮膚がん[8]が報告されている。局所曝露であると考えられるが、二動原体染色体、染色体転座の増加も確認されている[9]。現状では、医師・歯科医師・看護師などにおける職業被ばくに関して、関心が持たれているものの対策が十分とはいえない。被ばくリスクが正しく認知されないまま、個人線量計を装着していない例もみられる[10]。また、個人線量計の装着位置・方法が不適切、あるいは未装着の場合、過去の被ばく線量の把握が困難になる。なお、放射線診療従事者等の個人線量測定は、Table 1 に示す関連法令に基づく法的要求事項である。

Table 1. 個人線量測定に関する法令

法令名	内容：条文番号
電離放射線障害防止規則	線量の測定：第八条 線量の測定結果の確認、記録等：第九条
医療法施行規則	放射線診療従事者等の被ばく防止：第三十条の十八 放射線診療従事者等の被ばく防止：第三十条の十八 2 一から三 線量限度：第三十条の二十七、第三十条の十八第一項
放射性同位元素等の規制に関する法律施行規則	測定：第二十条第一項、第二十条第二項

個人線量測定は線量測定会社で読み取る受動型の素子を用いる場合、概ね月単位の累積値ではあるものの、線量が一定以上を超えると想定される場合には線量計を装着するか作業環境をモニタリングすることで業務環境における被ばくリスクを把握できる。その結果に基づき、適切な防護対策を構築することも可能となる。さらに、適切な防護対策により組織反応（確定的影響）を回避するとともに、将来の放射線被ばくによる確率的影響（白血病や固形がんなどの発症）のリスクを、容認できるレベル以下に低減できる。個人線量計を正しく装着するなどして、職業被ばくの実態を把握することは、医療現場の放射線安全管理における重要な課題である。

過去の被ばく線量を可視化する手法として、電子常磁性共鳴（Electron Paramagnetic Resonance : EPR）が期待されている。EPR 線量測定法は、広島・長崎の原子爆弾被爆者[11]や、チヨルノービリ原子力発電所事故における住民の被ばく線量測定[12, 13]にも用いられてきた。私たちは、生体内の歯を用いた EPR 線量測定法に関する研究[14]を継続しており、事故の影響を受けた地域でも装置を持ち込むことで計測が可能であることを検証している[15]。また、福島原子力事故により被災した住民を対象とした測定や[13]、同じく原子力事故に被災した牛においても放射線被ばくの検出に成功している[16, 17]。さらに、透視下での内視鏡検査を介助していた看護師や透視下での骨折の整復術に従事していた整形外科医でも線量を検出した[18]。

このように EPR 線量測定法を用いることで、過去の個人線量記録がない放射線診療従事者等においても、被ばくの実態を明らかにできる可能性がある。本研究は、放射線安全管理の観点から、個人線量計を正しく装着するための行動変容につながるデータを提供することを目的とする。

2. 研究方法

2-1. 被験者の募集と同意及び問診

国立保健医療科学院（以下、科学院）にて研究倫理申請を行い、承認取得後に研究を開始した。現時点では、科学院内の医師を通して紹介を受けた関係者（現在放射線診療に従事している、または過去に従事していた者）を対象に、個別に被験者を募集した。

検査への同意取得後、被験者には科学院へ来院してもらい、職業被ばくに関連する職種、業務内容、勤務年数等について問診を実施した。加えて、測定値に影響を及ぼす可能性のある医療被ばくについて、受診した検査内容および回数を確認した。さらに、過去の職業被ばくの測定状況（個人線量測定の実施状況）や測定記録の有無、ならびに放射線防護具の使用状況についても聴取した。

2-2. 放射線診療従事者等を対象とした測定

同意を得た被験者に対し、科学院に来院してもらい EPR 線量測定を実施した。

2-3. 測定結果の解析

実施した EPR 線量測定結果について、基準試料（20 Gy を照射したヒトの歯）を用いた比較解析により、過去の線量を算出した。

3. 研究結果および考察

令和7年12月時点で、3名の測定を実施した。測定済み被験者の内訳は、診療放射線技師2名（A、B）および医師1名（C）であった。測定結果として、被験者Aでは923 mGyと1 Gy 近い線量が検出され、被験者Bでは38 mGyと低値であった（Fig. 1）。ただし、被験者Bでは図に示すように共鳴信号としては視認できておらず、意味を持つ推定値ではなく、検出限界未満である。また、被験者Cでは約1.6 Gyを超える線量が確認された（Fig. 2）。なお、被験者Cでは後述するように歯科治療（インプラント治療や医療被ばく）の影響を受けた測定となっており、職業被ばくによる歯の吸収線量は算出値（約1.6 Gy）を下回る可能性がある。

問診の結果、被験者AおよびCには、過去に頭部CTや頭部血管撮影などの受診歴が確認され、職業被ばくに加えて医療被ばくの影響が関与した可能性が考えられた。職業被ばくの評価を目的とする場合、このような事例を除外するために、適切な問診を組み合わせる必要がある。しかし、職業被ばくと医療被ばくの影響を明確に切り分けることは困難であった。

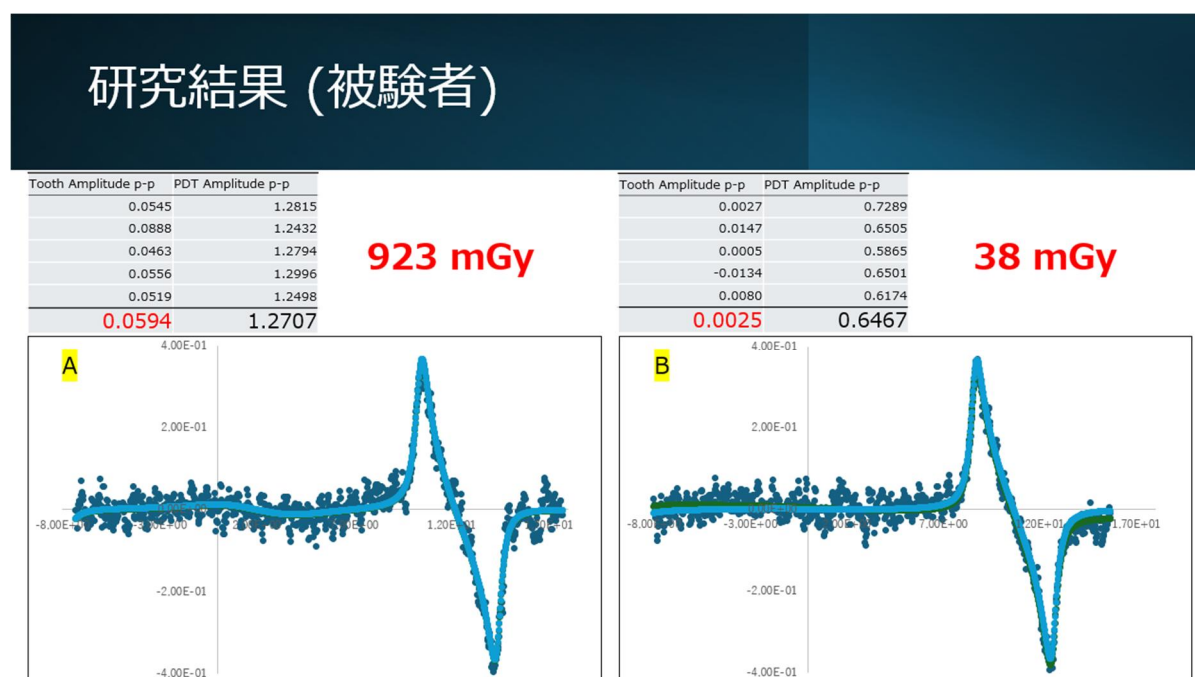


Fig. 1 診療放射線技師2名のEPR線量測定結果

横軸は磁場の大きさ（Gauss）を示す。ラジカルの種類に特有な共鳴した周波数と関係している。縦軸は照射した電磁波の吸収の微分を示す。12 Gauss 付近に標準のラジカル物質（ ^{15}N -PDT: Perdeuterated ^{15}N -Tempone）による信号が確認できる。注目しているのは、0 Gauss 付近の炭酸ラジカルによる吸収である。A では信号が確認できるが B では信号は確認できない。

今回、被験者Cの測定では、上顎歯がインプラント治療を受けているため、下顎歯を対象として測定を行った。対象歯が小さいことに加え、インプラント治療で使用された金属の影

響等により共鳴ピーク周波数のずれが生じた。また、陽性対照となる PDT のシグナルのフィッティングでズレが観測され、放射線誘発シグナルに対するフィッティングでもズレが確認できる。そのため不確かさは大きいと考えられるものの、信号は収集できており、EPR 線量測定結果が全面的に信頼できない値であるとは断定できない結果であった。問診の結果、頭部 CT 15 回、上・下顎 CT 2 回、その他撮影の施行歴が確認され、医療被ばくの影響が強く疑われた。職業被ばくの状況としては、1997～1999 年に小児科で CT 介助、1999～2006 年に救急救命医として勤務し、その後は整形外科医として勤務しており、いずれの時期も放射線診療に関与していた。EPR 線量測定で検出された累積線量には、医療被ばくに加えて職業被ばくも少なからず関与している可能性が示唆された。さらに、左第 1 指には爪の黒色線（爪甲色素線状）が確認された。ただし、過去の職業被ばくのデータを少なくとも本人は保持していなかった。

一方、被験者 B の測定では、測定中の体動により測定値のばらつきが生じたことから、体位保持と測定時間短縮の重要性が確認された。検討課題として、①頭部の固定方法、②ストレスが少ない姿勢となるよう測定台を調整すること、③測定開始までの時間短縮が挙げられた。①および②は現状でも速やかに調整可能であった。③については、円形ループ共振器を被験者の歯に近接させるなど、測定を開始するまでのセッティングに時間を要していた。安全性の観点からも、保持具の改良が必要と考えられた。

今回の結果により、問診票の整備および装置の改善点が明確となった。保持具の改良については、すでに開発に着手している。

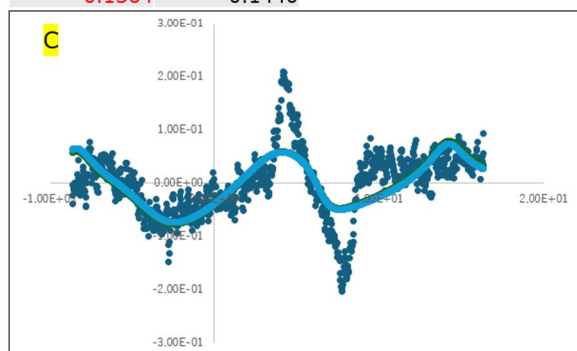
本研究の限界として、職業被ばく以外の被ばく（医療被ばく等）との明確な切り分けが困難であることが挙げられる。また、測定結果は頭部の累積線量を反映する指標であり、その本質は歯の吸収線量であるため、実効線量を直接示すものではない。さらに、医療従事者は放射線診療時に放射線防護具を使用するが、その使用状況には個人差がある。このため、EPR 線量測定結果を実効線量へ換算する場合、単一の校正定数を一律に適用できない可能性がある。

今後は、関連する職能団体や学会に依頼し、被験者の募集を行う予定である。また、同意が得られた施設へ測定装置を輸送し、当該施設で同意を得た複数の被験者に対して EPR 線量測定を実施することも検討している。

研究結果 (被験者)

Tooth Amplitude p-p	PDT Amplitude p-p
0.1364	0.1440
0.1364	0.1440

1,627 mGy



【医療被ばく】

頭部CT15回、上・下顎CT2回
歯科撮影（パントモグラフィ等）複数回

【職業被ばく】

1997年から1999年まで小児科でCT介助
1999年から2006年まで救急医
その後は整形外科医として勤務

- 今回の測定は、インプラント治療の影響など不確かさが大きいと思われるが、**EPR測定結果がまったく信用できない値とは言い切れない。**
- 医療被ばくより今回測定の累積線量が大きいことから**職業被ばくも少なからず関与している可能性**が示唆された。
- **左第1指には爪甲色素線状も確認された。**

Fig. 2 医師の EPR 線量測定結果

インプラント体により共鳴周波数が変化している。インプラントが磁性体で、その周辺で磁場の不均一性が強くなると考えられる。これに伴い、標準ラジカル物質のピークへの関数の適合が低下しているため、今後、信号解析の質を上げて、典型的な場合でなくても、対応できるようにする。

4. 結論

放射線診療に従事した被験者を対象とした EPR 線量測定により、1 Gy 前後の累積線量を捉えられることが確認された。測定人数は3名と少数ではあるものの、個人差は明確に認められた。個人の放射線被ばくにおけるリスク評価の観点から、EPR 線量測定は過去の放射線曝露を把握する有効な手段であることが示された。さらに、EPR 線量測定で線量が検出され、問診結果から職業被ばくが強く疑われる場合には、個人線量記録を有しない放射線診療従事者等に対しても、放射線安全管理に向けた行動変容に資するデータを提供できる可能性が示唆された。

5. 謝辞

貴重な時間を費やして研究に参加され、率直なご意見をくださった皆様に心から感謝申し上げます。

6. 参考文献

1. Shubayr N, Alkabkabi A, Aldosari A & Aldawood S (2025): Assessment of Occupational Radiation Exposure Among Various Medical Professions in Interventional Cardiology: A Five-Year Study (2018-2022). *Radioprotection*
2. Sharkey Amy R, Gambhir Parthivi, Saraskani Sepas, Walker Ross, Hajilou Ashcaan, Bassett Paul, Sandhu Navneet, Croasdale Peter, Honey Ian & Diamantopoulos Athanasios (2021): Occupational radiation exposure in doctors: an analysis of exposure rates over 25 years. *The British Journal of Radiology* 94: 20210602
3. Shubayr N, Alashban Y, Almalki M, Aldawood S & Aldosari A (2021): Occupational radiation exposure among diagnostic radiology workers in the Saudi ministry of health hospitals and medical centers: a five-year national retrospective study. *Journal of King Saud University-Science* 33: 101249
4. Veillette Jean-Benoit, Carrier Marc-Antoine, Rinfret Stephane, Mercier Julien, Arsenault Jean & Paradis Jean-Michel (2024): Occupational risks of radiation exposure to cardiologists. *Current cardiology reports* 26: 601-622
5. Tamam Nissren, Almuqrin Aljawhara H, Mansour Soad, Elnour Abdelrahman, Musa Mustafa, Omer Hiba, Sulieman Abdelmoneim & Bradley DA (2021): Occupational and patients effective radiation doses in dental imaging. *Applied Radiation and Isotopes* 177: 109899
6. Johnson Declan R, Kyriou John, Morton Edward J, Clifton Andrew, Fitzgerald Michael & Macsweeney Emer (2001): Radiation protection in interventional radiology. *Clinical radiology* 56: 99-106
7. Hijikata Yasukazu, Yamashita Kazuta, Hatsusaka Natsuko, Nagata Tatsuo, Kitamura Hiroko, Morota Koichi, Matsuzaki Satoru, Nakagami Koichi, Hitomi Go & Kuriyama Tomoko (2025): Prevalence of cataractous changes in the eyes and chronic inflammatory changes in the hands among spine surgeons. *JBJS* 107: e25
8. 二階堂琢也 (2023): 特集 STOP! 脊椎脊髄外科における放射線被曝 自分自身の経験から職業被曝について考える. *脊椎脊髄ジャーナル* 36(8): 575-580
9. 浅利享, 和田簡一郎, 熊谷玄太郎, 田中直 & 石橋恭之 (2020): 特集 整形外科の職業被曝 整形外科医師における放射線職業被曝に関する実態調査-自己記入式アンケート調査からの検討. *臨床整形外科* 55(2): 121-125
10. Donovan Anderson, Valerie Swee Ting Goh, Yohei Fujishima, Ryo Nakayama, Naoki

- Echigoya, Yasuyuki Ishibashi, Tomisato Miura, (2026): Occupational radiation exposure indicated by increased chromosomal damage in lymphocytes of orthopaedic surgeons in Japan. *Journal of Radiation Research* 67: 68–77
11. Ikeya Motoji (1989): Use of Electron Spin Resonance Spectrometry in Microscopy, Dating and Dosimetry A Review. *Analytical sciences* 5: 5-12
 12. Gualtieri G, Colacicchi S, Sgattoni R & Giannoni M (2001): The Chernobyl accident: EPR dosimetry on dental enamel of children. *Applied Radiation and isotopes* 55: 71-79
 13. Ivannikov A. I., Gaillard-Lecanu E., Trompier F., Stepanenko V. F., Skvortsov V. G., Borysheva N. B., Tikunov D. D. & Petin D. V. (2004): Dose reconstruction by EPR spectroscopy of tooth enamel: application to the population of Zaborie village exposed to high radioactive contamination after the Chernobyl accident. *Health Phys* 86: 121-134
 14. Miyake Minoru, Liu Ke J, Walczak Tadeusz M & Swartz Harold M (2000): In vivo EPR dosimetry of accidental exposures to radiation: experimental results indicating the feasibility of practical use in human subjects. *Applied Radiation and Isotopes* 52: 1031-1038
 15. Miyake Minoru, Nakai Yasuhiro, Yamaguchi Ichiro, Hirata Hiroshi, Kunugita Naoki, Williams Benjamin B & Swartz Harold M (2016): In-vivo radiation dosimetry using portable L band EPR: On-site measurement of volunteers in Fukushima Prefecture, Japan. *Radiation Protection Dosimetry* 172: 248-253
 16. Yamaguchi Ichiro, Sato Hitoshi, Kawamura Hiraku, Hamano Tsuyoshi, Yoshii Hiroshi, Suda Mitsuru, Miyake Minoru & Kunugita Naoki (2016): L band EPR tooth dosimetry for heavy ion irradiation. *Radiation Protection Dosimetry* 172: 81-86
 17. Yamaguchi Ichiro, Inoue Kazuhiko, Natsuhori Masahiro, Gonzales Chryzel Angelica B, Yasuda Hiroshi, Nakai Yasuhiro, Miyake Minoru & Swartz Harold M (2021): L-band electron paramagnetic resonance tooth dosimetry applied to affected cattle teeth in Fukushima. *Applied Sciences* 11: 1187
 18. Yamaguchi Ichiro, Nakai Yasuhiro, Miyake Minoru (2023) . Can non-destructive electron paramagnetic resonance tooth dosimetry be used for posterior assessment of radiation exposure in medicine and dentistry? *Radiation Protection and Environment* 46(5), S226–S227