

ミニレビュー

トロン²²⁰Rnの生体作用とラドン²²²Rnとの比較に関する研究山岡聖典[†], 片岡隆浩

岡山大学学術研究院保健学域

[†]yamaoka@md.okayama-u.ac.jp

2024年10月12日 受付

2024年12月6日 受理

トロンおよび子孫核種の生体作用に関しては科学的解明が不十分なままであるが、ICRPからラドンのそれより強いことが示され関心が高まっている。このため、関連研究成果の一部を概説した。その結果、ラドン摂取と同様、トロン摂取も微量の活性酸素の発生に伴う生理的刺激作用により抗酸化機能などを亢進させ、酸化ストレス関連疾患の症状を緩和することが示唆できた。また、この作用の至適濃度は放射能特性の差異によりトロン摂取の方が低い領域で現れることもわかった。

Key Words: thoron, radon, biological effects, therapeutic indications, antioxidant function, optimal concentration

1. 緒 論

ラドン (²²²Rn) は土壌や建物の壁などから放出される放射性貴ガスであり、長期過剰摂取だと肺がんを引き起こす因子の一つとして知られている。他方、三朝 (鳥取県) やバドガシュタイン (オーストリア) などの地域では、リウマチや気管支喘息などの疾患に対する吸入治療法として伝統的に用いられてきた¹⁾。ラドン元素にはトリウムの子孫核種のトロン (²²⁰Rn) と呼ばれる放射性同位体も含まれる。ラドン療法と同様に、トロンの医療応用に向けた検討が進められているが、その効果に関する科学的根拠は国際的にも不十分なままである。トロン曝露が肺がんリスクを引き起こすという疫学的証拠も皆無に近い。これは、トロンの物理的半減期が非常に短い (55.6 秒) などにより、環境中での挙動はラドン (同 3.8 日) とは異なるためでもある²⁾。

他方、国際放射線防護委員会 (ICRP) から、ラドンとトロンの子孫核種の新しい線量換算係数はこの順に 16.8 および 107 nSv (Bq m⁻³ h)⁻¹ と報告されている³⁾。これはトロン子孫核種がラドン子孫核種に比べて強い放射線生体作用を示すことを意味し関心が高まっている⁴⁾。

このため、本稿では筆者らが今までに報告してきたトロンによる生体作用とラドンとの比較に関する研究成果の一部を概説する。ここで、トロン・ラドンは気体であるため摂取しても直ぐ呼気と共に排出され易いのに対し、両者の子孫核種は固体状であるため肺胞や気管支壁面に付着し体外に排出されにくい。これより、内部被ばくの寄与は子孫核種の方が大きくなるが、本稿ではトロン・ラドンおよび両者の子孫核種を便宜的にトロン・ラドンと記述する。

2. トロン温泉療法の適応症とそのメカニズムに関する臨床医学研究例^{5,6)}

トロン温泉 (概ね 4900 Bq/m³, 室温 40°C, 湿度 90%) において、高血圧症・糖尿病・リウマチ各患者と健常者を被験者として、1日1回

30–40 分の温熱吸入浴を週3–5 回の頻度で3 週間実施した。入浴前(対照), 入浴開始1, 2, 3 週間目各々の入浴後に採血・測定した。その結果, ①高血圧症患者では血圧が降圧し, これは酸化ストレスの指標である過酸化脂質量の減少と体液バランスや血圧調節の指標である h-atrial natriuretic peptides (ANP) 量の増加などが一因であることが示唆できた。②糖尿病患者ではインスリンの作用不足の指標となる総ケトン体量やインスリンの働きを阻害する遊離脂肪酸の量が共に減少する傾向があることなどから, 糖尿病性ケトアシドーシスを抑制することが示唆できた。③リウマチ患者では抗酸化酵素である superoxide dismutase (SOD) の活性が有意に増加したことなどから抗酸化機能を亢進させ酸化障害を緩和させること, 免疫試験において自己免疫疾患の緩和を示唆する有意な変化があったことから免疫調節機能を亢進させることなどが示唆できた。④健常者では h-ANP 量が有意に増加したことなどから, 組織循環を促進する作用のあることなどが示唆できた。これらの所見などにより, トロン温泉浴が適応症とされる当該疾患の症状を緩和させるメカニズムの一端が明らかにできた。

3. トロン吸入と抗酸化ビタミン投与による併用効果に関する基礎医学研究例⁷⁾

トロン吸入と抗酸化ビタミンであるアスコルビン酸(AA: 300mg/kg 体重)投与によるアルコール(50%エタノール)誘導マウス肝障害に対する併用効果を検討した。その結果, ①アルコール投与は肝臓中の抗酸化物質である t-glutathione (GSH) の量を有意に減少させ血清中の肝機能の指標である glutamic oxaloacetic transaminase (GOT) と glutamic pyruvic transaminase (GPT) の両量を増加させた。これに対して, トロン吸入24 時間(以下, 同)のみや AA 投与のみでもアルコール投与6 時間後の肝機能障害に抑制傾向がみられたが, 500Bq/m³ トロン吸入と AA 投与の併用はアルコール投与24 時間後の肝機能障害を効

果的に抑制することがわかった。特に, AA の投与はトロンの吸入前の方が吸入後に比べ効果が高かった。②アルコール投与による酸化ストレスの程度は, 投与6 時間後の方が24 時間後に比べ大きかった。他方, トロン吸入後にアルコールと AA を投与した6 時間後の肝臓中の抗酸化機能の結果から, 抗酸化酵素であるカタラーゼの活性は500Bq/m³ トロン吸入と AA 投与を併用した場合にアルコール投与のみに比べ有意に増加したが, 2000Bq/m³ の場合では増加しないことがわかった。また, t-GSH 量はトロン吸入と AA 投与との併用の場合, 2000Bq/m³ の方が500Bq/m³ に比べ減少量が大きく, より強い酸化ストレスを受けていることもわかった。これらの所見などにより, 500Bq/m³ のトロン吸入は AA 投与との併用により2000Bq/m³ の場合に比べ, アルコール誘導肝障害からの早期回復を促進することが示唆できた。

4. トロンとラドンの吸入による抗酸化効果比較に関する基礎医学研究例⁸⁾

ラドンとトロンの吸入によるマウス諸臓器中の抗酸化機能の亢進効果について, 濃度(500, 2000Bq/m³)に着目して比較検討した。その結果, ①SOD 活性はトロン吸入により脳・脾臓・腎臓中において有意に増加した。②t-GSH 量はラドン・トロン共に肝臓中において1 日間吸入により有意に増加したが, 2 日間以上の吸入では有意に減少した。③過酸化脂質量はトロン吸入により肝・脾・腎臓中において有意に減少しラドン吸入も同様の傾向であったが, トロン2000Bq/m³・1 日間吸入のみ肝臓で有意に増加した。これらの所見などにより, トロン吸入により抗酸化機能はラドン吸入とほぼ同様, 概ね1–2 日後に増加し, その後数日間かけて漸減して正常な状態に戻ることがわかった。他方, 効率的な抗酸化効果を示す至適濃度はトロン吸入が500Bq/m³ であり, ラドン吸入の2000Bq/m³ より低いこともわかった。これは, トロンはラドンに比べ壊変定数や α 線放出エネ

ルギーが大きく, またトロンの子孫核種である²⁰⁸Tlがγ線放出するなどの放射能特性の差異によるものと考察できた。

5. 結 論

以上の所見などにより, ラドン摂取と同様⁹⁾, トロン摂取によっても微量の活性酸素の発生に伴う生理的的刺激作用により抗酸化機能などが亢進し, これにより酸化ストレス関連疾患の症状が緩和することが示唆できた。また, この効果は, トロンがラドンに比べ放射能特性の差異により至適吸入濃度が低い領域で現れることもわかった。この筆者らの基礎医学的所見は, 前述のICRPによるトロン子孫核種がラドン子孫核種に比べて強い放射線生体作用を示す報告内容の証左でもある。

最後に, トロンの健康作用に関する研究の今後の一層の発展を期待したい。

著者情報

著者貢献内容

山岡聖典: 論文の構想・作成・推敲

片岡隆浩: 論文の作成

ORCID 番号

山岡聖典: 0000-0002-0518-9186

片岡隆浩: 0000-0003-0686-0741

利益相反の開示

本論文に関連し, 著者全員について開示すべき利益相反 (conflict of interest; COI) 関係にある企業などはない。

文 献

- 山岡聖典, 展望 ラドン療法の適応症とその機構解明の現状, *Isotope News*, **588**, 2–8 (2003)
- 迫田晃弘, 片岡隆浩, 花元克巳, 山岡聖典, 人工トロン温泉由来の放射能と負イオンの諸特性, *RADIOISOTOPES*, **54**, 375–383 (2005)
- ICRP Pub. **137**, Occupational intakes of radionuclides: Part 3 (2017)
- Tokonami, S., Characteristics of thoron (²²⁰Rn) and its progeny in the indoor environment, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, **17**, 8769 (2020)
- Kataoka, T., Aoyama, Y., Sakoda, A., Nakagawa, S., et al., Basic study on biological mechanism of thoron and thermal therapy on its clinical indications, *Physiol. Chem. Phys. Med. NMR*, **38**, 85–92 (2006)
- Aoyama, Y., Kataoka, T., Nakagawa, S., Sakoda, A., et al., Study on effects of thoron and thermal treatment for aging-related diseases in humans, *Iran. J. Radiat. Res.*, **9**, 221–229 (2012)
- Kataoka, T., Ishida, T., Naoe, S., Kanzaki, N., et al., Potential inhibitory effects of low-dose thoron inhalation and ascorbic acid administration on alcohol-induced hepatopathy in mice, *J. Radiat. Res.*, **63**, 719–729 (2022)
- Kobashi, Y., Kataoka, T., Kanzaki, N., Ishida, T., et al., Comparison of antioxidative effects between radon and thoron inhalation in mouse organs, *Radiat. Environ. Biophys.*, **59**, 473–482 (2020)
- Yamaoka, K. and Kataoka, T., Confirmation of efficacy, elucidation of mechanism and new search for indications of radon therapy, *J. Clin. Biochem. Nutr.*, **70**, 87–92 (2022)

Abstract

Study on the Biological Effects of Thoron and Comparison with Those of Radon

Kiyonori YAMAOKA[†] and Takahiro KATAOKA: Faculty of Health Sciences, Okayama University, [†]yamaoka@md.okayama-u.ac.jp

The scientific evidence for the medical application of thoron, an isotope of radon, remains to be insufficient internationally. In addition, the ICRP reported that thoron progeny nuclides show higher radiobiological effects than radon progeny nuclides. For this reason, we outlined some of the research results that we have so far reported the biological effects of thoron and comparison with those of radon. As a result, we were able to suggest that, like radon ingestion, thoron ingestion enhances antioxidant function through physiological stimulation caused by the generation of trace amounts of active oxygen, thereby alleviating the symptoms of oxidative stress-related diseases. In addition, we found that thoron appears in a range with a lower optimal inhalation concentration than radon due to the difference in radioactivity characteristics, which is consistent with the ICRP report.

(Received October 12, 2024)

(Accepted December 6, 2024)