Hàm lượng nguyên tố trong móng tay nam giới hút thuốc và không hút thuốc: Phân tích bằng kỹ thuật huỳnh quang tia X phản xạ toàn phần

Nguyễn Văn Hạnh[1, 2, 3], Nguyễn Thị Minh Sang[4], Trương Thị Hồng Loan[1, 2, 5], Nguyễn Thị Trúc Linh[1, 2, 5], Trần Thị Thu Hương[4, 6], Nguyễn Văn Đông[2, 7], Huỳnh Trúc Phương[1, 2*]

[1]Khoa Vật lý - Vật lý kỹ thuật, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, 227 Nguyễn Văn Cừ, phường Chợ Quán, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam
[2]Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, phường Linh Xuân, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam
[3]Khoa Vận hành máy xạ, Bệnh viện Ung bướu TP. Hồ Chí Minh, 12 đường 400, phường Tăng Nhơn Phú, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam
[4]Khoa Vật lý và Kỹ thuật hạt nhân, Trường Đại học Đà Lạt, 1 Phù Đổng Thiên Vương, phường Lâm Viên - Đà Lạt, tỉnh Lâm Đồng, Việt Nam
[5]Phòng Thí nghiệm Kỹ thuật hạt nhân, Trường Đại học Khoa học tự nhiên, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, phường Đông Hòa, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam
[6]Khoa Y học hạt nhân, Bệnh viện Đa khoa tỉnh Lâm Đồng, 1 Phạm Ngọc Thạch, phường Cam Ly - Đà Lạt, tỉnh Lâm Đồng, Việt Nam
[7]Khoa Hóa học, Trường Đại học Khoa học tự nhiên, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, 227 Nguyễn Văn Cừ, phường Chợ Quán, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

Ngày nhận bài 26/7/2025; ngày chuyển phản biện 27/7/2025; ngày nhận phản biện 19/8/2025; ngày chấp nhận đăng 25/8/2025

Tóm tắt:

Hút thuốc lá là nguồn phơi nhiễm chính của nhiều kim loại vi lượng độc hại. Trong số các nguồn phơi nhiễm phổ biến, thuốc lá là một trong những nguyên nhân hàng đầu dẫn đến sự tích lũy các kim loại như cadimi (Cd), chì (Pb), niken (Ni), arsen (As) và crom (Cr) trong cơ thể. Nghiên cứu này sử dụng móng tay làm chỉ thị sinh học để đánh giá tích lũy kim loại ở nam giới hút thuốc và không hút thuốc. Mẫu móng tay được phân tích bằng kỹ thuật huỳnh quang tia X phản xạ toàn phần (TXRF). So với nhóm không hút, nhóm hút thuốc có hàm lượng Cr, Ni, As, Cd và Pb cao hơn đáng kể (p<0,05), trong khi Zn và Se giảm rõ rệt. Ở nhóm hút thuốc, tuổi tương quan thuận với các nguyên tố độc hại (Cr, Ni, As, Cd và Pb) và tương quan nghịch với các nguyên tố thiết yếu (Cu, Zn và Se). Phân tích Spearman cho thấy mối tương tác đối kháng giữa kim loại nặng và nguyên tố thiết yếu. Kết quả khẳng định móng tay là công cụ hiệu quả để theo dõi phơi nhiễm kim loại lâu dài, đồng thời cung cấp bằng chứng sinh học rõ ràng về tác động tiêu cực của hút thuốc lá đến cân bằng vi lượng.

Từ khóa: **hút thuốc lá, kim loại nặng, móng tay, nguyên tố vi lượng, kỹ thuật huỳnh quang tia X phản xạ toàn phần.**

Chỉ số phân loại: **1.4, 3.1, 3.3**

Metal concentrations in fingernails of male smokers and non-smokers: Analysis using total reflection X-ray fluorescence

Van Hanh Nguyen[1, 2, 3], Thi Minh Sang Nguyen[4], Thi Hong Loan Truong[1, 2, 5], Thi Truc Linh Nguyen[1, 2, 5], Thi Thu Huong Tran[4, 6], Van Dong Nguyen[2, 7], Truc Phuong Huynh[1, 2*]

[1]Department of Physics - Engineering Physics, University of Science, Vietnam National University-Ho Chi Minh City, 227 Nguyen Van Cu Street, Cho Quan Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam
[2]Vietnam National University-Ho Chi Minh City, Vo Truong Toan Street, 33 Quarter, Linh Xuan Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam
[3]Department of Radiotherapy Machine Operation, Ho Chi Minh City Oncology Hospital, 12 Street 400, Tang Nhon Phu Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam
[4]Department of Nuclear Physics and Engineering, Dalat University, 1 Phu Dong Thien Vuong Street, Lam Vien - Da Lat Ward, Lam Dong Province, Vietnam
[5]Nuclear Engineering Laboratory, University of Science, Vietnam National University-Ho Chi Minh City, Dong Hoa Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam
[6]Department of Nuclear Medicine, Lam Dong General Hospital, 1 Pham Ngoc Thach Street, Cam Ly - Da Lat Ward, Lam Dong Province, Vietnam
[7]Faculty of Chemistry, University of Science, Vietnam National University, Ho Chi Minh City, 227 Nguyen Van Cu Street, Cho Quan Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam

Received 26 July 2025; revised 19 August 2025; accepted 25 August 2025

Abstract:

Cigarette smoking is a major source of exposure to toxic trace elements. Among common sources of exposure, cigarette smoking is one of the leading causes of the accumulation of metals such as cadmium (Cd), lead (Pb), nickel (Ni), arsenic (As), and chromium (Cr) in the human body. In this study, fingernails were used as a biomarker to assess metal accumulation in male smokers and non-smokers. The fingernail samples were analysed using total reflection X-ray fluorescence (TXRF). Compared with non-smokers, smokers had significantly higher levels of Cr, Ni, As, Cd, and Pb (p<0.05), while Zn and Se levels were substantially lower. In smokers, age was positively associated with toxic elements (Cr, Ni, As, Cd, and Pb) and negatively correlated to essential elements (Cu, Zn, and Se). Spearman correlation analysis showed antagonistic interactions between heavy metals and essential elements. These findings confirm that fingernails are an effective tool for monitoring long-term metal exposure and provide clear biological evidence of the adverse effects of cigarette smoking on trace element balance.

Keywords: **fingernails, heavy metals, smoking, total reflection X-ray fluorescence, trace elements.**

Classification numbers: **1.4, 3.1, 3.3**

[*]Tác giả liên hệ: Email: htphuong@hcmus.edu.vn

1. Đặt vấn đề

Phơi nhiễm với các nguyên tố vi lượng, đặc biệt là các kim loại nặng độc hại, đang ngày càng được quan tâm do ảnh hưởng trực tiếp đến sức khỏe con người. Trong số các nguồn phơi nhiễm phổ biến, thuốc lá là một trong những nguyên nhân hàng đầu dẫn đến sự tích lũy các kim loại như cadimi (Cd), chì (Pb), niken (Ni), arsen (As) và crom (Cr) trong cơ thể [1-4].

Nhiều nghiên cứu đã ghi nhận rằng hàm lượng các kim loại độc hại như Cd, Pb, As, Cr, Ni và Tl (thali) trong máu toàn phần, huyết thanh, tóc và mô của người hút thuốc cao hơn rõ rệt so với người không hút thuốc [4-7]. Việc hút thuốc không chỉ làm tăng phơi nhiễm với các nguyên tố độc mà còn làm rối loạn cân bằng của các nguyên tố thiết yếu như kẽm (Zn), đồng (Cu) và selenium (Se) - những chất có vai trò quan trọng trong hệ thống chống oxy hóa và chức năng miễn dịch [4, 6, 7]. Các yếu tố như số lượng thuốc lá hút mỗi ngày và thời gian hút cũng có mối liên quan chặt chẽ với mức tích lũy kim loại trong cơ thể [5, 6].

Móng tay là mô sinh học có tốc độ phát triển chậm và ít chịu ảnh hưởng bởi dao động sinh lý tức thời, vì vậy được xem là chỉ thị sinh học đáng tin cậy để đánh giá mức độ phơi nhiễm nguyên tố vi lượng kéo dài [8-10]. So với các mẫu sinh học khác trong cơ thể con người, mẫu móng tay dễ thu thập, thuận tiện bảo quản, không xâm lấn và phản ánh tình trạng phơi nhiễm tích lũy trong khoảng thời gian vài tuần đến vài tháng [11-13].

Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng phương pháp phản xạ toàn phần huỳnh quang tia X (TXRF - Total Reflection X-ray Fluorescence), một kỹ thuật phân tích đa nguyên tố nhạy, chính xác và không phá hủy, để xác định hàm lượng mười nguyên tố (Cr, Mn, Fe (sắt), Ni, Cu, Zn, As, Se, Cd, Pb) trong móng tay của nam giới có và không có thói quen hút thuốc. Mục tiêu của nghiên cứu nhằm: (i) So sánh sự khác biệt về hàm lượng nguyên tố giữa hai nhóm; (ii) Phân tích xu hướng tích lũy theo tuổi; và (iii) Đánh giá khả năng sử dụng móng tay như chỉ thị phơi nhiễm kim loại trong cộng đồng. Kết quả thu được không chỉ giúp làm rõ tác động sinh học của thuốc lá mà còn có thể hỗ trợ cho các chiến lược giám sát phơi nhiễm và phòng ngừa nguy cơ bệnh lý liên quan đến kim loại nặng.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Thu thập và làm sạch mẫu móng tay

Mẫu móng tay được thu thập từ hai nhóm đối tượng nghiên cứu (nam giới): (i) nhóm hút thuốc lá (n=36, tuổi 22-70, trung bình 42,9±14,0) gồm những người hút trên 10 điếu/ngày trong ít nhất một năm, không có tiền sử bệnh nghiêm trọng; (ii) nhóm không hút thuốc lá (n=50, tuổi 18-63; trung bình 41,5±12,0) hoàn toàn không có tiền sử hút thuốc và cũng không mắc bệnh nghiêm trọng trước đây. Thành phần nghề nghiệp của nhóm hút thuốc lần lượt là: công nhân 33,3%, lao động tự do 41,7%, trí thức 25,0%; nhóm không hút thuốc: công nhân 24,0%, lao động tự do 26,0%, trí thức 50,0%. Các mẫu được thu thập từ thân nhân của các bệnh nhân đang điều trị tại các bệnh viện ở TP. Hồ Chí Minh và những người đang sinh sống và làm việc tại TP. Hồ Chí Minh.

Trước khi lấy mẫu, người tham gia được rửa sạch hai bàn tay bằng cồn 70% nhằm loại bỏ bụi bẩn, dầu và tạp chất trên bề mặt. Toàn bộ 10 móng tay được cắt bằng kìm thép không gỉ đã được vệ sinh và tiệt trùng, sau đó cho vào túi polyethylene sạch, dán nhãn mã số và bảo quản ở điều kiện khô ráo cho đến khi phân tích. Tất cả người tham gia đều được tư vấn đầy đủ và đồng ý tham gia nghiên cứu trên nguyên tắc tự nguyện, với cam kết bảo mật thông tin cá nhân.

Tại Phòng thí nghiệm Bộ môn Vật lý hạt nhân, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, quy trình làm sạch mẫu được áp dụng theo các nghiên cứu trước đây của nhóm [14-17], tóm tắt như sau: 1) Ngâm mẫu trong nước cất 10 phút, sau đó ngâm 5 phút trong cồn 90% và khuấy nhẹ để giảm nhiễm khuẩn do nấm, vi khuẩn; 2) Ngâm trong Acetone (Merck, Đức) và đánh siêu âm 5 phút, lặp lại 3 lần với acetone mới nhằm loại bỏ các chất hữu cơ bám dính; 3) Ngâm trong dung dịch Triton X-100 2% (Merck, Đức) và đánh siêu âm 5 phút, lặp lại 3 lần để tẩy sạch vết bẩn bám trên bề mặt; 4) Rửa ba lần bằng nước cất (mỗi lần 1 phút) dưới tác động siêu âm để loại bỏ hoàn toàn chất tẩy rửa còn sót; 5) Sấy khô mẫu trên giấy lọc ở nhiệt độ phòng trong 12 giờ.

Các mẫu có nồng độ Ti, Cr, Mn hoặc Fe cao bất thường sẽ bị loại bỏ, vì điều này cho thấy khả năng mẫu chưa được làm sạch hoàn toàn.

2.2. Chuẩn bị mẫu để phân tích TXRF

Tại Phòng Thí nghiệm Khoa Vật lý và Kỹ thuật hạt nhân, Trường Đại học Đà Lạt, các mẫu móng tay được làm sạch lại bằng Acetone và nước tinh khiết, sau đó sấy khô ở 40^{0}C trong 10 phút. Để phân tích bằng phương pháp TXRF, mẫu được phá hủy hoàn toàn thành dung dịch đồng nhất theo quy trình đã mô tả trong các nghiên cứu trước [16, 17], tóm tắt như sau:

Khối lượng khô của mỗi mẫu (30-180 mg) được cân chính xác và cho vào bình Teflon riêng, chứa 1,0 ml HCl (37%, Merck, Đức) và 2,0 ml HNO_3 (65%, Merck, Đức). Mẫu được lắc nhẹ trong 30 giây để hòa trộn với axit, sau đó tiến hành phá mẫu bằng hệ thống vi sóng MARS 6 (CEM Corporation, Mỹ) ở 200°C trong 15 phút, tiếp tục gia nhiệt thêm 15-20 phút. Sau khi kết thúc, các bình được làm nguội đến nhiệt độ phòng.

Dung dịch thu được được pha loãng đến thể tích cuối 1,5 ml trong bình định mức đã hiệu chuẩn, bao gồm 1,35 ml dung dịch mẫu và 0,15 ml dung dịch chuẩn nội Ga 10 ppm (1000 mg/l Ga trong axit nitric 5% và axit clohydric, Merck, Đức), đảm bảo nồng độ Ga cuối cùng là 1,0 ppm. Mẫu được lắc tự động trong 3 phút để đồng nhất hoàn toàn chuẩn nội và chất phân tích.

Từ dung dịch đồng nhất, hút chính xác 10 µl và nhỏ lên đĩa mang mẫu bằng thạch anh sạch, sau đó sấy ở 35°C trong 10-15 phút. Các đĩa mang mẫu sau khi chuẩn bị được đưa trực tiếp vào máy phổ kế TXRF để phân tích.

Để kiểm soát và loại trừ ảnh hưởng nhiễu từ các hóa chất sử dụng trong phân tích, một mẫu trắng (blank) được chuẩn bị theo quy trình sau: Pha hỗn hợp gồm 1,0 ml HCl và 2,0 ml HNO_3 vào bình định mức, sau đó bổ sung thêm 2,0 ml nước siêu sạch. Dung dịch được đặt trên máy lắc tự động trong 3 phút để đảm bảo trộn đều. Tiếp theo, hút 10 µl dung dịch và nhỏ lên đĩa mang mẫu bằng thạch anh, sau đó sấy khô ở 35°C trong 10 phút trước khi tiến hành đo.

2.3. Hệ phổ kế TXRF

Phân tích các nguyên tố vi lượng trong mẫu móng tay được thực hiện trên hệ phổ kế TXRF S2 PICOFOX (Bruker, Đức) tại Phòng Thí nghiệm Khoa Vật lý và Kỹ thuật hạt nhân, Trường Đại học Đà Lạt. Đây là hệ thống bán tự động, cho phép phân tích định tính và định lượng đa nguyên tố từ Al đến U với giới hạn phát hiện tốt ở mức ppm, thậm chí ppb trong một số trường hợp. Hệ thống sử dụng ống phát tia X với anot molypden (Mo-K_α=17,5 keV), hoạt động ở điện áp 50 kV và dòng 202 µA, kết hợp với đầu dò trôi silicon (SDD) có độ phân giải năng lượng FWHM là 135,94 eV tại đỉnh Mn-K_α.

Thu thập và xử lý dữ liệu được thực hiện bằng phần mềm Spectra 7 tích hợp với hệ điều khiển của S2 PICOFOX. Trong mỗi lần phân tích, năm mẫu được đo liên tiếp, mỗi mẫu được chiếu và đo trong 600 giây. Mỗi mẫu móng tay được đo lặp lại ba lần để đảm bảo độ chính xác. Các thông số hiệu năng của hệ thống, bao gồm độ lặp lại, độ chính xác và giới hạn phát hiện khi phân tích mẫu móng tay đã được xác nhận trong nghiên cứu của H.T. Phuong và cs (2021) [16].

2.4. Phân tích thống kê

Các phép phân tích thống kê được thực hiện bằng phần mềm OriginPro version 2012b (Origin Lab Corporation, Mỹ). Sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa hai nhóm được kiểm định bằng U-test (Mann-Whitney), với mức ý nghĩa $p<0,05$. Mối tương quan giữa các biến được đánh giá bằng hệ số tương quan Spearman. Tất cả biểu đồ và xử lý số liệu được trình bày dưới dạng trung vị hoặc giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn, tùy theo phân bố dữ liệu.

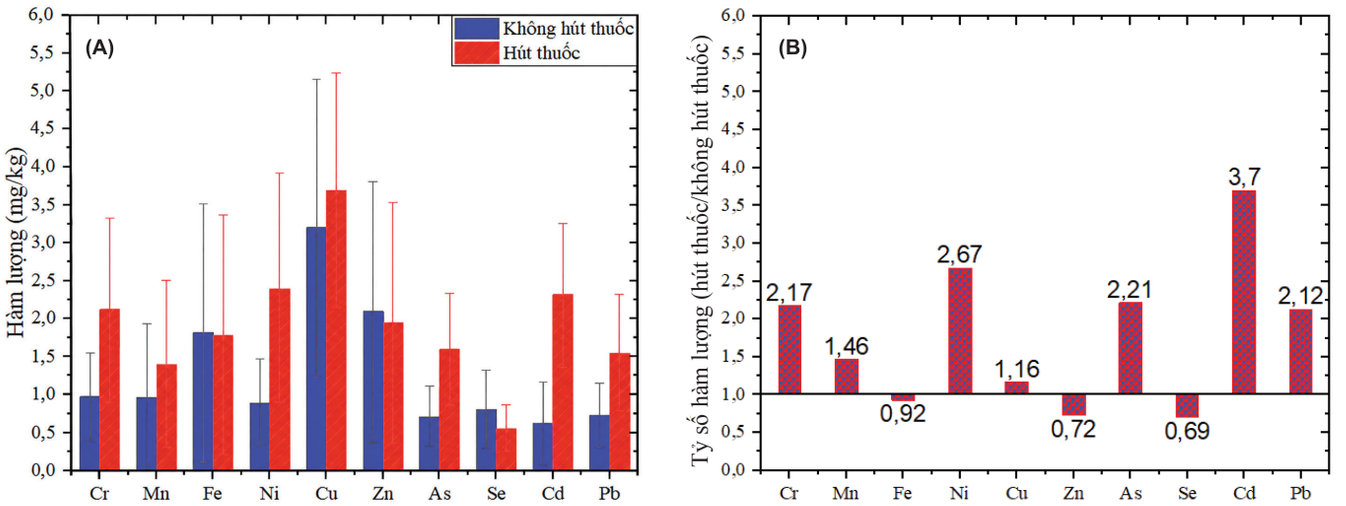
3. Kết quả

3.1. Hàm lượng các nguyên tố quan tâm trong móng tay

Sau khi hiệu chỉnh mẫu trắng (blank), kết quả phân tích hàm lượng của 10 nguyên tố quan tâm (Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Se, Cd và Pb) trong móng tay của người đàn ông hút thuốc và không hút thuốc, và các phép phân tích thống kê mô tả thu được như thể hiện trong bảng 1. Trong đó có chỉ ra các giá trị trung bình (mean), trung vị (median), độ lệch chuẩn (standard deviation), nhỏ nhất (min) và lớn nhất (max). Ở cả hai nhóm, hàm lượng của các nguyên tố thu được ở mức vết, từ ~0,60 đến ~140 mg/kg. Đối với nhóm không hút thuốc, thứ tự tăng dần về hàm lượng trung bình như sau: Cd<As<Pb<Se <Ni<Cr<Mn<Cu<Fe<Zn. Trong khi đó, đối với nhóm hút thuốc thứ tự tăng dần có sự thay đổi nhỏ, cụ thể: Se<Mn<Pb<As<Cd<Cr<Ni<Cu<Fe<Zn.

Bảng 1. Các tham số thống kê về hàm lượng (mg/kg) các nguyên tố quan tâm.

Nguyên tố	Nhóm	Trung bình	Độ lệch chuẩn	Trung vị	Nhỏ nhất	Lớn nhất
Cr	Không hút thuốc	1,04	0,58	0,98	0,20	2,24
	Hút thuốc	2,30	1,21	2,12	0,91	6,23
Mn	Không hút thuốc	1,25	0,97	0,96	0,11	3,83
	Hút thuốc	1,42	1,09	1,40	0,11	5,45
Fe	Không hút thuốc	78,5	50,1	66,2	23,9	291,6
	Hút thuốc	68,4	38,3	61,2	22,0	202,4
Ni	Không hút thuốc	1,03	0,57	0,90	0,14	2,29
	Hút thuốc	2,58	1,50	2,41	0,66	7,80
Cu	Không hút thuốc	3,53	1,96	3,20	0,87	8,62
	Hút thuốc	3,34	1,54	3,70	0,84	6,74
Zn	Không hút thuốc	137,3	51,6	123,3	75,1	298,9
	Hút thuốc	89,6	38,3	89,3	23,1	217,0
As	Không hút thuốc	0,81	0,39	0,72	0,21	1,90
	Hút thuốc	1,77	0,73	1,60	0,51	3,41
Se	Không hút thuốc	0,97	0,52	0,82	0,50	3,24
	Hút thuốc	0,63	0,31	0,56	0,34	1,84
Cd	Không hút thuốc	0,77	0,54	0,63	0,04	1,97
	Hút thuốc	2,29	0,95	2,31	0,68	4,93
Pb	Không hút thuốc	0,91	0,42	0,73	0,29	1,83
	Hút thuốc	1,64	0,77	1,55	0,64	3,53



Hình 1. Biểu đồ phân bố hàm lượng trung vị. (A) So sánh giữa nhóm không hút thuốc và hút thuốc (nguyên tố Fe và Zn được tính theo thang log); **(B)** Tỷ số hàm lượng trung vị của nhóm hút thuốc so với nhóm không hút thuốc.

Bằng kiểm tra sự phân bố hàm lượng của các nguyên tố với phép kiểm Shapiro - Wilk, chúng tôi nhận thấy sự phân bố hàm lượng của tất cả các nguyên tố không tuân theo phân bố chuẩn ($p<0,05$). Vì vậy, phép kiểm phi tham số Mann - Whitney U-test được sử dụng để đánh giá sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p<0,05$) hàm lượng nguyên tố trong móng tay giữa hai nhóm. Hình 1 cho thấy biểu đồ so sánh hàm lượng trung vị của các nguyên tố quan tâm (hình 1A) và tỷ số của chúng (hình 1B) giữa hai nhóm hút thuốc và không hút thuốc. Kết quả cho thấy rằng, hàm lượng các kim loại độc như Cr, Ni, As, Cd và Pb trong móng tay nhóm người hút thuốc cao hơn đáng kể (có ý nghĩa thống kê, $p<0,05$) so với nhóm người không hút thuốc lần lượt là 2,17, 2,67, 2,21, 3,70 và 2,12 lần. Ngược lại, các kim loại thiết yếu như Zn và Se ở nhóm người hút thuốc thấp hơn đáng kể ($p<0,05$) so với nhóm người không hút thuốc lần lượt là 0,72 và 0,69 lần. Trong khi đó, các kim loại như Mn ($p=0,476$), Fe ($p=0,380$) và Cu ($p=0,933$) có biến thiên giữa hai nhóm nhưng sự khác biệt không đáng kể ($p>0,05$) được tìm thấy trong nghiên cứu này.

3.2. Đánh giá hàm lượng các nguyên tố quan tâm trong móng tay theo độ tuổi

Trong công việc này, mối tương quan giữa độ tuổi và hàm lượng các nguyên tố quan tâm được phân tích bằng ANOVA với giá trị $p<0,05$ được xem là tương quan có ý nghĩa thống kê. Ngoài ra, mối liên hệ tuyến tính được đánh giá thông qua hệ số tương quan Pearson (r), phương trình hồi quy tuyến tính (bao gồm giá trị điểm chặn và độ dốc), hệ số xác định (R^2), và giá trị F. Trong đó, "điểm chặn" thể hiện giá trị ước lượng hàm lượng nguyên tố khi tuổi bằng 0 (theo lý thuyết), còn "độ dốc" cho biết mức thay đổi hàm lượng (mg/kg) tăng hoặc giảm theo mỗi năm tuổi.

Đối với nhóm không hút thuốc, kết quả cho thấy chỉ có Fe và As có mối tương quan tuyến tính với độ tuổi đạt ý nghĩa thống kê (bảng 2). Cụ thể, Fe giảm tuyến tính theo tuổi với $r=-0,403$, $R^2=0,162$, $F=9,29$, $p=0,004$; trong khi As tăng tuyến tính theo tuổi với $r=0,320$, $R^2=0,102$, $F=5,48$, $p=0,023$. Các nguyên tố còn lại (Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Se, Cd, Pb) không ghi nhận mối tương quan đáng kể với tuổi ($p>0,05$).

Bảng 2. Các thông số mô tả mối liên hệ tuyến tính giữa hàm lượng nguyên tố và độ tuổi của nhóm không hút thuốc.

Nguyên tố	Điểm chặn (mg/kg)	Độ dốc (mg/kg/tuổi)	R^2	Hệ số tương quan (r)	Giá trị F	Giá trị p
Cr	1,015	0,002	0,001	0,034	0,057	0,813
Mn	1,029	0,005	0,004	0,067	0,214	0,645
Fe	147,7	-1,666	0,162	**-0,403**	**9,29**	**0,004**
Ni	0,853	0,004	0,008	0,092	0,408	0,526
Cu	4,358	-0,020	0,015	-0,123	0,733	0,396
Zn	122,3	0,361	0,007	0,085	0,347	0,559
As	0,377	0,010	0,102	**0,320**	**5,48**	**0,023**
Se	0,776	0,005	0,012	0,108	0,570	0,454
Cd	0,850	-0,002	0,002	-0,041	0,081	0,777
Pb	0,749	0,004	0,012	0,110	0,588	0,447

Các giá trị in đậm chỉ ra có ý nghĩa thống kê ($p<0,05$).

Đối với nhóm hút thuốc, ngoại trừ Mn ($r=-0,161$, $F=0,904$, $p=0,348$) và Fe ($r=-0,110$, $F=0,419$, $p=0,522$) không có mối tương quan tuyến tính với tuổi, các nguyên tố còn lại có tương quan mạnh với tuổi (bảng 3). Cụ thể, các nguyên tố có mối tương quan dương bao gồm: Cr ($r=0,648$, $F=24,6$, $p<0,001$), Ni ($r=0,603$, $F=19,5$, $p<0,001$), As ($r=0,726$, $F=37,8$, $p<0,001$), Cd ($r=0,644$,

F=24,1, p<0,001), và Pb (r=0,753, F=44,4, p<0,001); các nguyên tố có mối tương quan âm bao gồm: Cu (r=-0,568, F=16,2, p<0,001), Zn (r=-0,453, F=8,79, p=0,006), và Se (r=-0,534, F=13,5, p<0,001).

Bảng 3. Các thông số mô tả mối liên hệ tuyến tính giữa hàm lượng nguyên tố và độ tuổi của nhóm hút thuốc.

Nguyên tố	Điểm chặn (mg/kg)	Độ dốc (mg/kg/tuổi)	R^2	Hệ số tương quan (r)	Giá trị F	Giá trị p
Cr	-0,116	0,054	0,419	**0,648**	**24,6**	**1,96E-05**
Mn	1,950	-0,012	0,026	-0,161	0,904	0,348
Fe	81,2	-0,297	0,012	-0,110	0,419	0,522
Ni	-0,145	0,064	0,364	**0,603**	**19,5**	**9,85E-05**
Cu	5,981	-0,062	0,323	**-0,568**	**16,2**	**2,98E-04**
Zn	141,8	-1,218	0,205	**-0,453**	**8,79**	**6,00E-03**
As	0,176	0,037	0,527	**0,726**	**37,8**	**5,48E-07**
Se	1,125	-0,011	0,285	**-0,534**	**13,5**	**8,02E-04**
Cd	0,439	0,043	0,415	**0,644**	**24,1**	**2,26E-05**
Pb	-0,096	0,041	0,566	**0,753**	**44,4**	**1,19E-07**

Các giá trị in đậm chỉ ra có ý nghĩa thống kê (p<0,05).

3.3. Đánh giá mối tương quan giữa tuổi - nguyên tố và nguyên tố - nguyên tố của nhóm hút thuốc

Nghiên cứu khảo sát sự ảnh hưởng độ tuổi của nhóm người hút thuốc lên hàm lượng nguyên tố cũng như sự tương tác giữa các nguyên tố với nhau qua hệ số tương quan Spearman. Kết quả của phép phân tích được chỉ ra trong bảng 4. Cũng như khảo sát mối tương quan tuyến tính trước đây, trong công việc này các nguyên tố độc như Cr, Ni, As, Cd, và Pb có mối tương quan dương mạnh với độ tuổi của nhóm người có thói quen hút thuốc. Trong khi đó, các nguyên tố thiết yếu Cu, Zn, và Se có mối tương quan nghịch được tìm thấy trong nghiên cứu này.

Bảng 4. Hệ số tương quan Spearman của các biến khảo sát trong nhóm hút thuốc.

	Tuổi	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Se	Cd	Pb
Tuổi	1,00										
Cr	**0,68**	1,00									
Mn	-0,29	-0,09	1,00								
Fe	-0,25	-0,23	0,22	1,00							
Ni	**0,76**	**0,60**	-0,18	-0,12	1,00						
Cu	**-0,57**	**-0,37**	**0,55**	0,28	**-0,33**	1,00					
Zn	**-0,54**	**-0,45**	0,13	0,10	-0,32	**0,35**	1,00				
As	**0,72**	0,24	-0,32	0,09	**0,43**	**-0,49**	**-0,47**	1,00			
Se	**-0,57**	-0,28	0,31	**0,39**	**-0,40**	**0,61**	0,22	**-0,42**	1,00		
Cd	**0,66**	**0,42**	-0,07	-0,10	**0,57**	-0,13	**-0,41**	**0,54**	**-0,46**	1,00	
Pb	**0,76**	**0,70**	-0,17	-0,18	**0,63**	-0,20	**-0,41**	**0,41**	-0,29	**0,46**	1,00

Các giá trị in đậm chỉ ra có ý nghĩa thống kê (p<0,05).

Trong phân tích tương quan nguyên tố - nguyên tố cho thấy, mối tương quan dương mạnh được tìm thấy ở các cặp Cr-Ni, Cr-Pb, Mn-Cu, Ni-Cd, Ni-Pb, Cu-Se, và As-Cd. Trong khi đó, mối tương quan dương trung bình có ý nghĩa thống kê được tìm thấy ở các cặp nguyên tố Cr-Cd, Fe-Se, Ni-As, Cu-Zn, As-Pb, và Cd-Pb. Ngược lại, mối tương quan nghịch có ý nghĩa thống kê được tìm thấy ở các cặp nguyên tố Cr-Cu, Cr-Zn, Ni-Cu, Ni-Se, Cu-As, Zn-As, Zn-Cd, Zn-Pb, As-Se, và Se-Cd.

4. Bàn luận

Kết quả phân tích nguyên tố trong móng tay cho thấy sự khác biệt rõ rệt giữa hai nhóm người hút thuốc và không hút thuốc, đặc biệt đối với các nguyên tố kim loại độc hại như Cr, Ni, As, Cd và Pb. Hàm lượng trung vị của các nguyên tố này ở nhóm hút thuốc cao hơn đáng kể so với nhóm không hút thuốc, với hệ số tăng lần lượt là 2,17 (Cr), 2,67 (Ni), 2,21 (As), 3,70 (Cd), và 2,12 (Pb). Điều này phản ánh vai trò quan trọng của khói thuốc lá như một nguồn phơi nhiễm chính các nguyên tố độc, vốn đã được xác nhận là có mặt trong thành phần của thuốc lá và khói thuốc [1, 18].

Các nguyên tố kể trên đều có độc tính cao và khả năng tích lũy sinh học. Ví dụ, cadimi (Cd) là kim loại nặng gây độc cho thận và hệ xương, và được IARC xếp vào nhóm chất gây ung thư ở người [19]. Tương tự, Pb ảnh hưởng tiêu cực đến hệ thần kinh và phát triển trí tuệ, đặc biệt ở trẻ em, còn As là nguyên tố có độc tính mãn tính và là yếu tố nguy cơ của nhiều loại ung thư [20, 21]. Crom (Cr), đặc biệt ở dạng hóa trị sáu (Cr(VI)), là một chất gây ung thư nghề nghiệp đã được biết đến rõ ràng, có liên quan đến ung thư phổi và tổn thương đường hô hấp do khả năng gây ra stress oxy hóa [19, 22, 23]. Niken (Ni) cũng được công nhận là có tiềm năng gây ung thư, đặc biệt là ở hệ hô hấp, và đã được ghi nhận có liên quan đến tổn thương DNA, độc tính đối với hệ miễn dịch, cũng như tăng nguy cơ ung thư trong môi trường tiếp xúc công nghiệp và hút thuốc lá [19, 24]. Sự hiện diện với hàm lượng cao hơn của các nguyên tố này trong móng tay nhóm người hút thuốc là bằng chứng sinh học rõ ràng cho thấy mức độ phơi nhiễm cao hơn trong cơ thể, tích tụ qua thời gian dài.

Ngược lại, các nguyên tố thiết yếu như Zn và Se lại có xu hướng giảm ở nhóm hút thuốc, với mức trung vị chỉ bằng 0,72 và 0,69 lần so với nhóm không hút thuốc. Zn và Se là các nguyên tố vi lượng đóng vai trò quan trọng trong hệ miễn dịch, chống oxy hóa, và bảo vệ tế bào khỏi tổn thương do stress oxy hóa [25, 26]. Việc giảm nồng độ của chúng có thể là hệ quả của sự mất cân bằng chuyển hóa do độc chất từ khói thuốc, cũng như do sự cạnh tranh hấp thu sinh học với các kim loại nặng [27].

Đáng chú ý, hàm lượng của một số nguyên tố thiết yếu khác như Fe, Mn và Cu không khác biệt đáng kể giữa

hai nhóm (p>0,05), điều này có thể phản ánh cơ chế điều hòa nội môi chặt chẽ của cơ thể đối với các nguyên tố này hoặc sự bù trừ từ chế độ ăn [28, 29].

Phân tích theo độ tuổi cũng cho thấy xu hướng tích lũy các nguyên tố độc hại (Cr, Ni, As, Cd, Pb) tăng theo tuổi ở nhóm người hút thuốc, trong khi các nguyên tố thiết yếu (Cu, Zn, Se) lại giảm. Điều này càng khẳng định sự tích lũy sinh học kéo dài của các kim loại nặng qua phơi nhiễm thuốc lá, đồng thời làm suy giảm nguồn dự trữ nguyên tố vi lượng trong cơ thể, có thể gây ảnh hưởng lâu dài đến sức khỏe [8, 10]. Trong khi đó, ở nhóm không hút thuốc, chỉ có As tăng và Fe giảm theo tuổi - một kết quả phù hợp với nhiều nghiên cứu dịch tễ trước đây [29].

Kết quả phân tích tương quan giữa các nguyên tố cũng hỗ trợ cho các phát hiện trên. Mối tương quan dương mạnh giữa các cặp Cr-Ni, Ni-Cd, Cd-Pb... cho thấy xu hướng tích lũy đồng thời của các kim loại độc khi phơi nhiễm [30]. Ngược lại, các mối tương quan âm giữa nhóm nguyên tố độc và nhóm nguyên tố thiết yếu như Cr-Cu, Ni-Se, Zn-As... cho thấy khả năng các kim loại độc có thể cản trở hấp thu, chuyển hóa hoặc làm suy giảm dự trữ các vi chất dinh dưỡng cần thiết [27, 30].

Tổng thể, các phát hiện từ nghiên cứu này cung cấp bằng chứng mạnh mẽ rằng việc hút thuốc lá làm gia tăng phơi nhiễm các kim loại độc hại và làm suy giảm lượng nguyên tố thiết yếu trong cơ thể, thể hiện qua mẫu móng tay - một chỉ thị sinh học hiệu quả, phản ánh mức phơi nhiễm tích lũy dài hạn [12, 31, 32]. Những thay đổi này có thể góp phần giải thích cơ chế sinh học đằng sau các nguy cơ sức khỏe liên quan đến hút thuốc, bao gồm rối loạn chuyển hóa, bệnh tim mạch và ung thư [19, 20].

5. Kết luận

Nghiên cứu này đã chứng minh rằng, móng tay là chỉ thị sinh học hiệu quả để đánh giá phơi nhiễm nguyên tố vi lượng và kim loại nặng ở người. Kết quả phân tích cho thấy, những người hút thuốc có hàm lượng các kim loại độc hại như Cr, Ni, As, Cd và Pb cao hơn đáng kể so với nhóm không hút thuốc, đồng thời lại có hàm lượng thấp hơn của các nguyên tố thiết yếu như Zn và Se. Sự khác biệt này có ý nghĩa thống kê và cho thấy ảnh hưởng rõ rệt của thói quen hút thuốc đến cân bằng khoáng vi lượng trong cơ thể.

Ngoài ra, sự tích lũy các kim loại độc có xu hướng tăng theo tuổi ở nhóm người hút thuốc, trong khi các nguyên tố thiết yếu lại giảm, phản ánh cơ chế tích lũy sinh học và nguy cơ tiềm ẩn cho sức khỏe theo thời gian. Phân tích tương quan nguyên tố - nguyên tố cũng gợi ý khả năng cạnh tranh hấp thu hoặc tương tác đối kháng giữa các kim loại độc và nguyên tố thiết yếu.

Những phát hiện này cung cấp cơ sở khoa học hữu ích cho việc sử dụng móng tay trong giám sát phơi nhiễm môi trường ở cộng đồng, đồng thời làm nổi bật tác động bất lợi của thuốc lá đối với trạng thái dinh dưỡng khoáng chất và sức khỏe con người. Các kết quả từ nghiên cứu có thể hỗ trợ cho các chiến lược can thiệp y tế công cộng nhằm giảm thiểu phơi nhiễm và nâng cao nhận thức về tác hại của thuốc lá.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển Khoa học và Công nghệ Quốc gia trong Đề tài mã số 103.04-2023.05. Các tác giả xin chân thành cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] R. Pappas (2011), "Toxic elements in tobacco and in cigarette smoke: Inflammation and sensitization", *Metallomics: Integrated Biometal Science*, **3(11)**, pp.1181-1198, DOI: 10.1039/c1mt00066g.

[2] S. Sandal, P.S. Verghese, A. Taneja, et al. (2025), "Cigarettes as a source of heavy metal toxicity: Evaluating human health risks", *Discover Public Health*, **22**, DOI: 10.1186/s12982-025-00650-2.

[3] W. Flieger, P. Niedzielski, Z. Wojciechowska, et al. (2025), "Evidence of organ-specific metal accumulation: ICP-MS elemental analysis of autopsy tissues of tobacco smokers", *International Journal of Molecular Sciences*, **26(13)**, DOI: 10.3390/ijms26136368.

[4] M. Ściskalska, M. Zalewska, A. Grzelak, et al. (2014), "The influence of occupational exposure to heavy metals and tobacco smoke on oxidative stress markers in smelters", *Biological Trace Element Research*, **159(1-3)**, pp.59-68, DOI: 10.1007/s12011-014-9984-9.

[5] M.T. Shakeri, H. Nezami, S. Nakhaee, et al. (2021), "Assessing heavy metal burden among cigarette smokers and non-smoking individuals in Iran: Cluster analysis and principal component analysis", *Biological Trace Element Research,* **199(11)**, pp.4036-4044, DOI: 10.1007/s12011-020-02537-6.

[6] M. Alrobaian, H. Arida (2019), "Assessment of heavy and toxic metals in the blood and hair of Saudi Arabian smokers using modern analytical techniques", *International Journal of Analytical Chemistry*, **2019**, DOI: 10.1155/2019/7125210.

[7] H.I. Afridi, F.N. Talpur, T.G. Kazi, et al. (2015), "Estimation of toxic elements in the samples of different cigarettes and their effect on the essential elemental status in the biological samples of Irish smoker rheumatoid arthritis consumers", *Environ. Monit. Assess*, **187(4)**, DOI: 10.1007/s10661-015-4353-5.

[8] M.J. Slotnick, J.O. Nriagu (2006), "Validity of human nails as a biomarker of arsenic and selenium exposure: A review", *Environ. Res.*, **102(1)**, pp.125-139, DOI: 10.1016/j.envres.2005.12.001.

[9] Z. Mierzyńska, M. Niemirska, K. Zgonina, et al. (2024), "Multi-elemental analysis of hair and fingernails using energy-dispersive X-ray fluorescence (ED XRF) method supported by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP MS)", *Molecules*, **29(4)**, DOI: 10.3390/molecules29040773.

[10] I. Rodushkin, M.D. Axelsson (2000), "Application of double focusing sector field ICP-MS for multielemental characterization of human hair and nails. Part II. A study of the inhabitants of northern Sweden", *Science of The Total Environment*, **262(1-2)**, pp.21-36, DOI: 10.1016/S0048-9697(00)00531-3.

[11] K. He (2011), "Trace elements in nails as biomarkers in clinical research", *European Journal of Clinical Investigation*, **41(1)**, pp.98-102, DOI: 10.1111/j.1365-2362.2010.02373.x.

[12] M. Wilhelm, A. Pesch, U. Rostek, et al. (2002), "Concentrations of lead in blood, hair, and saliva of German children living in three different areas of traffic density", *Science of The Total Environment*, **297(1-3)**, pp.109-118, DOI: 10.1016/S0048-9697(02)00101-8.

[13] A.J. Specht, K.E. Adesina, D.E. Read, et al. (2024), "Benchtop X-ray fluorescence to quantify elemental content in nails non-destructively", *Science of The Total Environment*, **918(3)**, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.170601.

[14] P.T. Huynh, B.T. Dinh, L.T.T. Nguyen, et al. (2021), "Investigation of the effects of chemotherapy on trace element contents in the nails in patients with colorectal cancer", *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **328**, pp.1173-1180, DOI: 10.1007/s10967-021-07734-8.

[15] P.T. Huynh, T.P.N. Tran, B.T. Dinh, et al. (2020), "Analysis of trace elements in the fingernails of breast cancer patients using instrumental neutron activation analysis", *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **324**, pp.663-671, DOI: 10.1007/s10967-020-07093-w.

[16] H.T. Phuong, N.A. Son, N.T.N. Ha, et al. (2021), "Determination of some elements in the nails in patients with colon cancer using total reflection X-ray fluorescence", *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, **182**, DOI: 10.1016/j.sab.2021.106234.

[17] H.V. Nguyen, S.T.M. Nguyen, H.T.T. Tran, et al. (2025), "Elemental composition of women's fingernails: A comparative analysis between cervical cancer patients and healthy individuals", *Biol. Trace Elem. Res.*, **203**, pp.6115-6131, DOI: 10.1007/s12011-025-04628-8.

[18] WHO Tobacco Free Initiative (2006), "Tobacco: Deadly in any form or disguise", *World Health Organisation*, https://iris.who.int/handle/10665/43465, accessed 17 July 2025.

[19] International Agency for Research on Cancer (2012), "A review of human carcinogens: Metals, arsenic, dusts, and fibres (IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 100C)", *IARC*, https://publications.iarc.who.int/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Arsenic-Metals-Fibres-And-Dusts-2012, accessed 17 July 2025.

[20] P.B. Tchounwou, C.G. Yedjou, A.K. Patlolla, et al. (2012), "Heavy metals toxicity and the environment", *EXS*, **101**, pp.133-164, DOI: 10.1007/978-3-7643-8340-4_6.

[21] M. F. Naujokas, et al. (2013), "The broad scope of health effects from chronic arsenic exposure: update on a worldwide public health problem", *Environmental Health Perspectives*, **121(3)**, pp.295-302, DOI: 10.1289/ehp.1205875.

[22] M. Costa, C.B. Klein (2006), "Toxicity and carcinogenicity of chromium compounds in humans", *Crit. Rev. Toxicol*, **36(2),** pp.155-163, DOI: 10.1080/10408440500534032.

[23] A. Zhitkovich (2011), "Chromium in drinking water: sources, metabolism, and cancer risks", *Chem. Res. Toxicol.*, **24(10)**, pp.1617-1629, DOI: 10.1021/tx200251t.

[24] H. Guo, H. Liu, H. Wu, et al. (2019), "Nickel carcinogenesis mechanism: DNA damage", *International Journal of Molecular Sciences*, **20(19)**, DOI: 10.3390/ijms20194690.

[25] E. Mocchegiani, M. Malavolta (2019), "Role of zinc and selenium in oxidative stress and immunosenescence: Implications for healthy aging and longevity", *Handbook of Immunosenescence*, pp.2539-2573, DOI: 10.1007/978-3-319-99375_166.

[26] J.J. Branca, M. Gulisano, A. Pacini (2025), "Protective roles of zinc and selenium against oxidative stress in brain endothelial cells under shear stress", *Antioxidants*, **14(4)**, DOI: 10.3390/antiox14040451.

[27] P. Richter, O. Faroon, R.S. Pappas, et al. (2017), "Cadmium and cadmium/zinc ratios and tobacco-related morbidities", *Int. J. Environ. Res. Public Health*, **14(10)**, DOI:10.3390/ijerph14101154.

[28] C.G. Fraga (2005), "Relevance, essentiality, and toxicity of trace elements in human health", *Molecular Aspects of Medicine*, **26(4-5)**, pp.235-244, DOI: 10.1016/j.mam.2005.07.013.

[29] W. Chen, X. Li, J. Wang, et al. (2020), "Age-related accumulation and risk assessment of heavy metals in human scalp hair: A case study in China", *Environmental Science and Pollution Research*, **27(11)**, pp.12410-12421, DOI: 10.1007/s11356-020-07853-y.

[30] E.M. Alissa, G.A. Ferns (2011), "Heavy metal poisoning and cardiovascular disease", *Journal of Toxicology*, **2011(1)**, DOI: 10.1155/2011/870125.

[31] F. Barbosa, J.E.T. Santos, R.F. Gerlach, et al. (2005), "A critical review of biomarkers used for monitoring human exposure to lead: Advantages, limitations, and future needs", *Environmental Health Perspectives*, **113(12)**, pp.1669-1674, DOI: 10.1289/ehp.7917.

[32] K. Liu, J. Hao, Y. Zeng, et al. (2013), "Neurotoxicity and biomarkers of lead exposure: A review", *Chinese Medical Sciences Journal*, **28(3)**, pp.178-188. DOI: 10.1016/S1001-9294(13)60045-0.