保健医療科学　2020　Vol.69 No.2 p.138－143

特集：改正健康増進法―変わる受動喫煙対策―

＜総説＞

喫煙による室内汚染
―三次喫煙という新たな課題―

戸次加奈江[1)]，稲葉洋平[1)]，牛山明[2)]

[1)] 国立保健医療科学院生活環境研究部衛生環境管理研究領域
[2)] 国立保健医療科学院統括研究官

Indoor pollution caused by smoking: New issues caused by third-hand smoking

BEKKI Kanae[1)], INABA Yohei[1)], USHIYAMA Akira[2)]

[1)] Department of Environmental Health, National Institute of Public Health
[2)] Research Managing Director, National Institute of Public Health

抄録

喫煙による健康被害は，有害成分を含む喫煙者本人の主流煙による一次喫煙をはじめ，喫煙時に発生する副流煙や喫煙者が吐き出す呼気中のたばこ煙（呼出煙）による受動喫煙（second-hand smoke），そして洋服や部屋に吸着したたばこ煙（残留たばこ煙）による三次喫煙（third-hand smoke）が知られている．特に三次喫煙については，受動喫煙と比べると一般的な認知度は低く，その有害性についても現時点で人への有害性は立証されていないものの，室内に吸着する残留たばこ煙には，揮発性が高く悪臭を伴うピリジン類をはじめ，揮発性の低いニコチンやたばこ特異的ニトロソアミン類（TSNAs）等多岐に渡る成分が含まれている．三次喫煙は，室内におけるこうした成分に，空気やハウスダストを介して非意図的に曝露を受けることであり，受動喫煙と同様，特に感受性の高い乳幼児や幼児期の子供への健康影響には注意を払う必要がある．

我が国で2020年４月１日から全面施行された改正健康増進法の中では，受動喫煙対策の強化が主な目的にもされていることから，今後，室内での喫煙機会は大幅に減少していくものと推定される．しかしながら，喫煙可能な場所も未だ半数以上を占めており，これまでの実証実験による報告からも，従来の喫煙場所を禁煙区域に変更するだけでは，残留たばこ煙による三次喫煙の影響を完全に除くことは困難である．さらに，近年普及する新型たばこにおける健康影響や環境汚染への影響については未解明の問題も多く残されていることから，喫煙による室内汚染問題への対応として，今後は，長年の課題である受動喫煙をはじめ，三次喫煙も含めた微量なたばこ煙成分に対する高性能な分析技術と生物学的な影響評価手法を確立することで，喫煙の有害性に関する基礎的な情報を得る必要がある．さらに，短期及び長期に亘る実際の人への健康影響を明らかにしていく上でも公衆衛生分野における継続した疫学的調査研究の実施が必要である．

キーワード：受動喫煙，三次喫煙，室内環境汚染，揮発性有機化合物，準揮発性有機化合物

連絡先：戸次加奈江
〒351-0197　埼玉県和光市南2-3-6
2-3-6 Minami, Wako, Saitama 351-0197, Japan.
Tel: 048-458-6258，Fax: 048-458-6270
E-mail: bekki.k.aa@niph.go.jp
［令和２年４月10日受理］

Abstract

The most health effects of smoking are mainly induced by primary smoking by the smoker, second-hand smoke that comes from the side stream of a cigarette and smoke breathed out by a smoker, and third-hand smoke that comes from the residual tobacco emitted from the clothes and walls in the smoking room. Particularly, there is lower awareness about third-hand smoke and it's health effects, in the world. However, some reports show that residual tobacco smoke in indoor rooms include various toxic compounds such as pyridines, furans, nicotine, tobacco-specific nitrosamines (TSNAs) etc. We need to pay attention to the health effects that third-hand smoking has for infants and young children, because they are unintentionally exposed to these compounds through indoor dust and air.

In Japan, the revised health promotion act was enforced in July 2019. Therefore, it is expected that indoor smoking opportunities will decrease significantly in the future due to the impact of this law. However, smoking is still possible in more than half of the restaurants, bars etc. It is thought that the change of conventional smoking areas to non-smoking areas cannot completely eliminate the effects of third-hand smoking due to the residual tobacco smoke. Furthermore, recently, a new type of tobacco product became very popular in the world. However, the health effects and environmental pollution caused by these products still remains unclear. Therefore, to respond to second-hand smoke and new smoking problems including third-hand smoking, it is necessary to establish high-performance analytical techniques to trace chemical components and employ the biological impact assessment method to obtain basic data and clarify the short-term and long-term effects on human health. It is also necessary that continuous epidemiological research in the field of public health be conducted.

keywords: second-hand smoke, third-hand smoke, indoor pollution, VOCs, SVOCs

(accepted for publication, April 10, 2020)

I. はじめに

国内では，「望まない受動喫煙」の防止に向けた健康増進法が改正され（2018年７月成立，2020年４月１日施行），受動喫煙の防止に向けた取り組みが義務化された．本改正法の中では，施設の類型ごとに喫煙できる場所のルールが明確化されることとなり，中には，全面禁煙の施設もあれば，喫煙専用室でのみ喫煙が許可されている施設，パーテーションなどで区切られた喫煙場所でのみ喫煙できる施設などが設けられている．特に，「既存店」であり「客席面積が100㎡以下」の中小企業による飲食店等では，例外として喫煙が認められている状況にあることなどから，国内の全面禁煙の達成は程遠い状況にあることも，今後の課題として挙げられている．さらに，受動喫煙に関しては，その主な要因となる副流煙に主流煙を上回る濃度の有害成分が含まれていることが知られている．実際，受動喫煙が非喫煙者の健康に危害を引き起こすものとして，IARCでは「グループ1：ヒトに対して発がん性がある」と定められている．また副流煙や呼出煙成分は，室内の壁や床などに吸着することで，三次的な曝露を引き起こす可能性が指摘されている．

一方で，近年，国内では電気加熱式の新型たばこ（IQOS，Ploom TECH，glo etc.）が次々と販売され，その需要は急激に拡大し続けており，国内では喫煙者のうち男性は30％，女性は23％が加熱式たばこを使用している状況にある．これら新型たばこの主流煙中には，紙巻たばこと同程度のニコチンが含まれている他，発がん性物質であるたばこ特異的ニトロソアミン類やアルデヒド類など[1,2]の有害成分が検出されている．これら製品は，有害性が低減したような宣伝をしているがその根拠は決して十分ではなく，これら製品の使用による健康影響や環境汚染への影響については未だ限られた情報しかない状況にある．

本稿では，上記の実態を踏まえ，喫煙による室内汚染問題において，空気やハウスダストを介した有害成分の曝露に関する既往研究の情報を基に，近年新たに課題として挙げられる三次喫煙の曝露実態に関する今後の対応について考えたい．

II. 三次喫煙

2009年にその存在が認知された三次喫煙は，アメリカのダナ・ファーバーがん研究所が作り出した新語であり，近年，我が国においてもその有害性への懸念が高まっている．三次喫煙は，副流煙や呼出煙などのたばこ煙が室内で壁や床に吸着し，これらを介したたばこ煙曝露を受けることである（表１）．これらの主な成分は，揮発性の高いガス状成分からなる揮発性有機化合物（VOCs）（沸点が約250℃以下の化合物）と，粒子やエアロゾル成分を含む準揮発性有機化合物（SVOCs）（（沸点が約250℃を超える化合物））から構成されている．そのため，カーテンや床，家具の表面やダストに吸着した副流煙や呼出煙のうち，特に揮発性の高いVOCsについては主に空気を介した曝露の可能性が指摘されている．一方で，揮発

表１　受動喫煙と三次喫煙の比較

	受動喫煙	三次喫煙
発生源	副流煙・呼出煙	副流煙・呼出煙が吸着した素材（建材・衣類・家庭用品 etc.）
曝露形態	ガス・粒子	ガス・粒子・ハウスダスト
曝露期間	数分（1本の場合）～数時間（飲食店労働者など）	数週間から数ヶ月
場所	職場・飲食店・遊技場・家庭	職場・飲食店・遊技場・家庭
主要成分	VOC，ニコチン、3-エテニルピリジン	VOC，ニコチン、3-エテニルピリジン
	TSNAs、PAHs	TSNAs、PAHs

VOC: 揮発性有機化合物，TSNAs: たばこ特異的ニトロソアミン類，PAHs: 多環芳香族炭化水素類

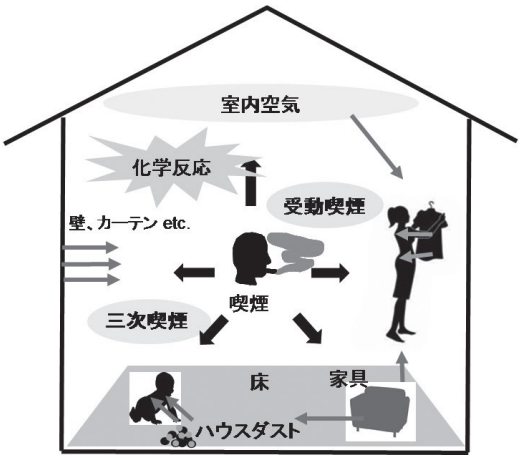

図１　室内で発生する三次喫煙

性の低いSVOCs成分については，壁や床等に吸着することでハウスダストを介した曝露の可能性が指摘されている（図１）．特に三次喫煙は，床などと接触する頻度が高く，大人よりも感受性の高い幼児が長期間曝露されることで，アレルギーや喘息などを引き起こし，幼児の発育過程に悪影響を及ぼす可能性があることからも[3-7]，今後，室内における様々な形態のたばこ煙曝露の機会を完全に規制していくための整備が必要である．

１．揮発性有機化合物（VOCs）による三次喫煙の影響

一般に，たばこ副流煙には，悪臭成分として知られるピリジン類やアミン類，発がん性物質として知られるアルデヒド類や多感芳香族炭化水素類等の多種多様な成分が含まれている[7]．中でもガス状成分に関しては，従来から屋内の空気の浄化や分煙対策機器として利用されてきた空気清浄機を用いても除去できないことが指摘されており[8]，受動喫煙や三次喫煙の影響を適切に評価するための分析技術が必要とされている．こうした問題に対する対応策を検討するため，我々はこれまでに実験室内において，たばこ煙を吸着させた衣類（フリース，セーター，シャツ）から発生するVOCsの経時的な濃度変化を調べてきた[9]．本研究結果からは，検出されたVOCs成分の中に，有害性のあるアルデヒド類，複素環式化合物，芳香族炭化水素類，ピリジン類などの化合物が含まれていた．これらは布の種類によって吸着力の違いなどの要因から，検出された化合物の数や物質の種類には差があったものの，いずれの布からも共通して上記に示す化合物の殆どが検出されることが確認された．また，中でも特にニコチンの分解物であり，たばこの臭いとの関連性や三次喫煙のマーカー物質としての可能性が示唆される3-エテニルピリジン（3-EP）は[10]，本研究においても比較的高濃度検出されることが確認された．また，3-EPは，布へのたばこ煙曝露後１時間，６時間，24時間後と時間依存的に濃度が減衰する傾向がいずれの布からも見られ，72時間後には検出下限値以下となった．同様な傾向は，揮発性の高いフルフラールでも確認された（図２）．一方で，揮発性の低いニコチンは，曝露後72時間が経過した後も持続的に検出されていたことから，残留たばこ煙として衣類などに長時間吸着していることが予想された．これらの実験結果より，たばこの臭い成分を含むVOCsは，喫煙後あるいは喫煙所などから喫煙者が屋内に移動することで，屋内にも持ちこまれている可能性が考えられ，また周囲へ曝露してしまう可能性も考えられる．

次に，実際の環境下における三次喫煙の影響として，米国内において今もなお室内での喫煙が許可されるカジノやホテルの喫煙室で測定された調査報告を例として紹介する．カリフォルニア州のカジノでは，喫煙対策として，一部の場所でフロアの全面禁煙が実施された．このとき，禁煙前後に行われた環境測定の結果が報告されているが，これによると，全面禁煙により，空気中のニコチン濃度は9.0 μg/㎥から0.1 μg/㎥へ減少するが，その減少には長期間（数週間～数カ月程度）かかることが報告されている．これらの調査結果から，禁煙直後から暫くの間は，室内に残るたばこ煙による曝露の影響を受ける可能性が考えられ[11]，これらはニコチンのみでなく，他の揮発性の低い成分についても同様の現象が生じているものと予想された．また，ニコチンと3-EPを指標にした，同じカリフォルニア州のホテルで行われた受動喫煙及び三次喫煙に関する調査の結果からは，完全禁煙でないホテルの喫煙室に滞在する場合は，完全禁煙のホテルの禁煙室と比べて，たばこ煙曝露による影響が70倍以上もあることが空気測定やふき取り調査の結果から明らかとされている[11]．こうした結果は，非喫煙者や子供に

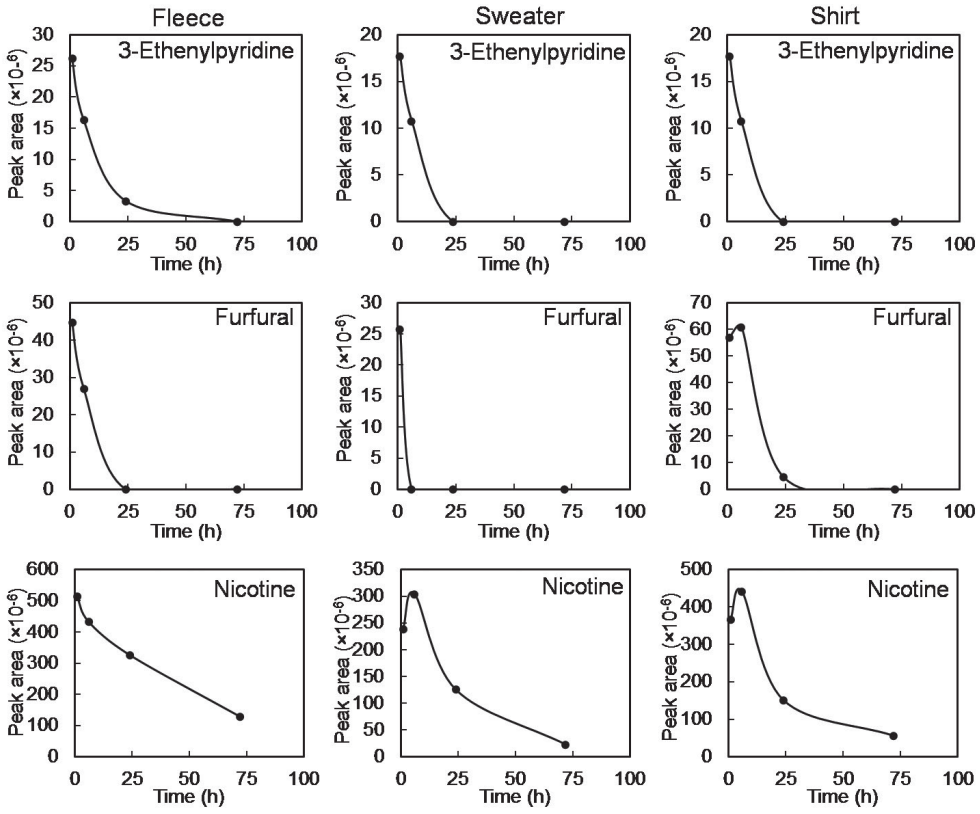

図２　衣類から発生するVOCsの経時的な変化[9]

対するたばこ煙曝露を完全に防ぐためにも，宿泊施設においては完全禁煙化された施設であることや，過去に喫煙室として使用された経緯のある場所については，改装を含めた完全禁煙化を義務付ける等，今後の対応の必要性を裏付ける根拠となるものと考えられる．

さらに，三次喫煙は，揮発性成分が空気中へ放散された後，屋外大気や室内空気中の酸化物や塩基性物質（二酸化炭素（CO_2），オゾン（O_3），アンモニア（NH_3），亜硝酸（HNO_3）等と反応することで，他の有害成分を生成する可能性等も指摘されている[12]．こうした成分については未知のものも多く含まれているため，三次喫煙の組成に関する環境動態や健康影響については，今後詳細な調査研究を進めていく必要があるものと思われる．

２．準揮発性有機化合物（SVOCs）による三次喫煙の影響

三次喫煙で問題となる有害成分の中には，VOCsの他にもエアロゾルや粒子状で存在する揮発性の低いSVOCsが含まれる．中でも有害性の強い発がん性物質として，特にニコチンやたばこ特異的ニトロソアミン類（TSNAs）が知られているが，TSNAsは，たばこの副流煙や呼出煙に含まれているものが床や壁の表面に吸着することが知られており，その他にも，三次喫煙の場合には，床や壁の表面に吸着したニコチン成分が，大気中の亜硝酸と反応することで，発がん性の高いNNA（4-(methylnitrosamino)-4-(3-pyridyl)butanal）が生成することも報告されている[13]．実際に，米国とスペインの一般家庭で行われたダスト中のTSNAsに関する調査からは，喫煙者（外で喫煙する習慣がある）のいる家庭のダスト試料からNNN（*N*-Nitrosonornicotine）（5.23，8.43 ng/g）とNNK（4-(methylnitrosamino)-1-(3-pyridyl)-1-butanone）（21.3, 19.4 ng/g）が検出されており[14]，スペインでは同様のNNNとNNKが20 ng/gと540 ng/g検出された．こうした濃度の差は，国や文化の違いを含め，たばこの種類や喫煙環境の違いによって生じるものと考えられ[15]，国ごとの汚染状況は異なるものと予想される．また，米国で行われた一般家庭やホテル，車内のふき取りによるニコチン付着量に関する調査結果によると，全面禁煙でないホテルの禁煙室からは，全面禁煙のホテルと比べてニコチン濃度が高く検出される傾向にあることも明らかとされている[16]．これらの知見は，今後，国内の施設の全面禁煙化の必要性を議論する上でも重要と考えられ，また，本調査に用いられたふき取り法については，ニコチンを指標とした簡易的な評価が可能であることからも，三次喫煙の実態を簡易的に把握する上でも有効な手法と思われる．

また，たばこ主流煙や副流煙からは，TSNAs以外にも多環芳香族炭化水素類や重金属類など，有害性のある多種類の成分が検出されていることからも[7]，三次喫煙では，こうした成分に曝露される可能性も非常に高い

ことが予想される．さらに，近年，米国では，無煙たばことして流行するスヌースや噛みたばこによる室内汚染の影響が調査されているが，無煙たばこを使用する場所では，使用しない場所に比べて室内ダスト中のNNN（5.7，4.3 ng/g）とNNK（6.3，3.4 ng/g）が比較的高濃度検出されていた[15]．また，室内で加熱式たばこや電子たばこを使用した場合には，ニコチンをはじめ，アルカン類や有機酸，レボグルコサン等の室内濃度が上昇する傾向にあることも報告されている[17]．こうした結果も踏まえ，今後，国内で普及する新型たばこによる室内汚染への影響については，各成分の測定技術の確立も含めた調査研究が必要と考えられる．

III．三次喫煙による健康影響

上記に示す受動喫煙や三次喫煙に関する国内外の調査研究の結果から，生活環境中での曝露とヒトへの健康影響との関連が懸念されている．三次喫煙の健康影響に関する調査研究については，現在のところ限定的ではあるが，欧米からの研究報告では，哺乳類細胞や動物において三次喫煙は遺伝毒性[18]や細胞内の代謝異常[19]を引き起こすこと，三次喫煙曝露がマウスの体重増加や免疫系の発達[20,21]にも影響を及ぼすことなどが報告されている．特に，三次喫煙を引き起こす要因にもなる残留たばこ煙の成分としては，ニコチンやTSNAsをはじめ，揮発性の高いアクロレインやフェノールによる影響が比較的強いことなども実験的に示されている[22]．一方で，三次喫煙の影響と関連した受動喫煙による人への影響として，妊娠初期の妊婦が受動喫煙曝露を受けることで，神経毒性や子供の発育に悪影響を及ぼすことが疫学研究においても明らかにされている[23,24]．こうした結果から，受動喫煙と同様，ニコチンやTSNAsなどのタバコ煙由来の有害成分に曝露される可能性の高い三次喫煙については，環境中のリスク因子の一つとして，環境動態や健康影響について，国内の汚染実態に関する科学的根拠の提示が求められている状況にある．

IV．まとめ

我が国では2020年４月に受動喫煙対策を強化するための改正健康増進法が完全施行された．しかしながら，対策の対象とされる飲食店などの施設の中には，「喫煙可能」と表示された店内でたばこを吸うことができる場所が未だ半数以上を占めており受動喫煙対策の強化が引き続き必要である．また，これまで実施された国内外の調査研究からは，喫煙場所を禁煙区域に変更するだけでは，たばこの主成分でもあるニコチンやTSNAsなどの残留成分を完全に回避することは難しく，三次喫煙の発生リスクが依然として残ることとなる．この三次喫煙も含むたばこ煙による影響を回避するためには，施設の壁や床などの改装も含めた完全禁煙化が必要であることが示されている．さらに，加熱式たばこ等の新型たばこによる室内環境への影響とその健康影響については，未だ適切な評価手法が確立されていない状況にあることからも，今後は，より高感度で定量性を有する分析技術や健康影響の適切な評価手法を確立していくことが必要である．

謝辞

本総説は，厚生労働行政推進調査事業費（循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策政策研究事業，加熱式たばこなど新たなたばこ製品の成分分析と受動喫煙による健康影響の評価手法の開発）の助成を受けたものである．

参考文献

[1] Bekki K, Inaba Y, Uchiyama S, Kunugita N. Comparison of chemicals in mainstream smoke in heat-not-burn tobacco and combustion cigarettes. J. UOEH. 2017;39:201-207.

[2] Uchiyama S, Noguchi M, Takagi N, Hayashida H, Inaba Y, Ogura H, et al. Simple determination of gaseous and particulate compounds generated from heated tobacco products. Chem Res Toxicol. 2018;31(7):585-593.

[3] Hackshaw A, Law M, Wald N. The accumulated evidence on lung cancer and environmental tobacco smoke. BMJ. 1997;315:980-988.

[4] Law M, Morris J, Wald N. Environmental tobacco smoke exposure and ischaemic heart disease: an evaluation of the evidence. BMJ. 1997;313:973-980.

[5] Lash T, Aschengrau A. Active and passive cigarette smoking and the occurrence of breast cancer. Am J Epidemiol. 1999;149:5-12.

[6] Bonita R, Duncan J, Truelsen T, Jackson RT, Beaqlehole R. Passive smoking as well as active smoking increases the risk of acute stroke. Tobacco Control. 1999;8:156-160.

[7] 厚生労働省．e-ヘルスネットたばこの煙と受動喫煙. https://www.e-healthnet.mhlw.go.jp/information/tobacco/t-05-004.html (accessed 2020-03-02)
Ministry of Health, Labour and Welfare. [e-herusunetto tabako no kemuri to judo kitsuen.] (in Japanese) https://www.e-healthnet.mhlw.go.jp/information/tobacco/t-05-004.html (accessed 2020-03-02)

[8] 厚生労働省．分煙効果判定基準策定検討会報告書概要. 2002.
Ministry of Health, Labour and Welfare. [Bunen koka hantei kijun sakutei kentokai hokokusho gaiyo.] 2002. (in Japanese)

[9] 戸次加奈江，金勲，稲葉洋平，内山茂久，欅田尚樹．残留たばこ煙の再放散による三次喫煙評価手法の検討．第25回環境化学討論会．発表要旨集. 2016.
Bekki K, Kim H, Inaba Y, Uchiyama S, Kunugita N.

[Zanryu tabakoen no saihosan niyoru sanji kitsuen hyoka shuho no kento.] Dai 25 kai Kankyo kagaku toronkai. Happyo Yoshishu. 2016. (in Japanese)

[10] Lash T, Aschengrau A. Active and passive cigarette smoking and the occurrence of breast cancer. Am J Epidemiol. 1999;149:5-12.

[11] Matt GE, Quintana PJE, Hoh E, Zakarian JM, Chowdhury Z, Hovell MF, et al. A Casino goes smoke free: a longitudinal study of secondhand and thirdhand smoke pollution and exposure. Tob Control. 2018;27(6):643-649.

[12] Schick SF, Farraro KF, Perrino C, Sleiman M, van de Vossenberg G, Trinh MP, et al. Thirdhand cigarette smoke in an experimental chamber: evidence of surface deposition of nicotine, nitrosamines and polycyclic aromatic hydrocarbons and de novo formation of NNK. Tob Control. 2014;23(2):152-159.

[13] Sleiman M, Gundel LA, Pankow JF, Jacob P, Singer BC, Destaillats H. Formation of carcinogens indoors by surface-mediated reactions of nicotine with nitrous acid, leading to potential thirdhand smoke hazards. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 2010;107(15): 6576-6581.

[14] Whitehead TP, Havel C, Metayer C, Benowitz NL, Jacob P 3rd. Tobacco alkaloids and tobacco-specific nitrosamines in dust from homes of smokeless tobacco users, active smokers, and nontobacco users. Chem Res Toxicol. 2015;28(5):1007-1014.

[15] Ramírez N, Özel MZ, Lewis AC, Marcé RM, Borrull F, Hamilton JF. Exposure to nitrosamines in thirdhand tobacco smoke increases cancer risk in non-smokers. Environ Int. 2014;71:139-147.

[16] Quintana PJ, Matt GE, Chatfield D, Zakarian JM, Fortmann AL, Hoh E. Wipe sampling for nicotine as a marker of thirdhand tobacco smoke contamination on surfaces in homes, cars, and hotels. Nicotine Tob Res. 2013;15(9):1555-1563.

[17] Ruprecht AA, Marco De C, Saffari A, Pozzi P, Mazza R, Veronese C, et al. Environmental pollution and emission factors of electronic cigarettes, heat-not-burn tobacco products, and conventional cigarettes. Aerosol Science and Technology. 2017;51(6):1-11.

[18] Hang B, Lavarone A, Havel C, Jacob P III, Villalta P, Matter B, et al. NNA, a Thirdhand Smoke Constituent, Induces DNA Damage in Vitro and in Human Cells; Proceedings of the 247th National Meeting of the American Chemical Society (ACS) with Press Release; Dallas, TX, USA; 2014.3.16.

[19] Xu B, Chen M, Yao M, Ji X, Mao Z, Tang W, et al. Metabolomics reveals metabolic changes in male reproductive cells exposed to thirdhand smoke. Sci Rep. 2015;5:15512.

[20] Jacob P 3rd, Benowitz NL, Destaillats H, Gundel L, Hang B, Martins-Green M, et al. Thirdhand smoke: New evidence, challenges, and future directions. Chem Res Toxicol. 2017;30(1):270-294.

[21] Hang B, Wang P, Zhao Y, Sarker A, Chenna A, Xia Y, et al. Adverse health effects of thirdhand smoke: from cell to animal models. Int J Mol Sci. 2017;18(5):932.

[22] Bahl V, Weng NJ, Schick SF, Sleiman M, Whitehead J, Ibarra A, et al. Cytotoxicity of thirdhand smoke and identification of acrolein as a volatile thirdhand smoke chemical that inhibits cell proliferation. Toxicol Sci. 2016;150(1):234-246.

[23] Zhang X, Lv CC, Tian J, Miao RJ, Xi W, Hertz-Picciotto I, et al. Prenatal and perinatal risk factors for autism in china. J Autism Dev Disord. 2010;40(11):1311-1321.

[24] Yolton K, Khoury J, Xu Y, Succop P, Lanphear B, Bernert JT, et al. Low level prenatal exposure to nicotine and infant neurobehavior. Neurotoxicol. Teratol. 2009;31:356-363.