DOI: 10.48612/cgma/ezv2-k6ph-68m7

ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ КУРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ НА СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТУЮ СИСТЕМУ

В.В. Васильев[1, 2*], А.В. Шулаев[3], Е.А. Гусев[2], Е.В. Васильев[2, 4]

[1] Пензенский институт усовершенствования врачей – филиал ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, Пенза

[2] ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Пенза

[3] ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет», Казань

[4] ГАОУ ДПО «Институт регионального развития Пензенской области», Пенза

EFFECTS OF ELECTRONIC SMOKING DEVICES ON THE CARDIOVASCULAR SYSTEM

V.V. Vasilyev[1, 2*], A.V. Shulaev[3], E.A. Gusev[2], E.V. Vasilyev[2, 4]

[1] Penza Institute for Postgraduate Medical Education - a branch of the Russian Medical Academy of Continuous Professional Education of the Ministry of Health of the Russian Federation, Penza, Russia

[2] Penza State University, Penza, Russia

[3] Kazan State Medical University, Kazan, Russia

[4] Institute for Regional Development of the Penza Region, Penza, Russia

***E-mail:** vvv1755@yandex.ru**

Аннотация

Курение является одним из самых распространенных «легализованных» факторов риска для здоровья человека. Кроме привычной табачной продукции, которая ассоциируется с явными негативными последствиями, в современном обществе среди молодежи все популярнее становятся электронные сигареты и вейпы (ЭСиВ), как якобы менее вредные устройства. На самом деле ЭСиВ несут в себе скрытые риски из-за содержания синтетического никотина, образований высокотоксичных групп альдегидов, тяжелых металлов, большого количества небезвредных ароматизаторов. ЭСиВ способны нарушать гемодинамику организма, приводя к воспалительным процессам, продуцируя окислительный стресс, повреждение эндотелия сосудов и формируя атеросклеротические изменения, приводящие к заболеваниям сердечно-сосудистой системы. По итогу представленного обзора сделан вывод о недостаточной изученности проблемы безопасности и вреда вейпинга для здоровья подрастающего поколения, что предполагает введение ограничительных мер в борьбе с легализацией всей никотинсодержащей продукции, в том числе ЭСиВ.

Ключевые слова: электронные сигареты, вейпы, курение, дети, подростки, сердечно-сосудистая система.

Abstract

Smoking is one of the most common "legalized" risk factors for human health today. In addition to conventional tobacco products, which are associated with obvious negative consequences, electronic cigarettes and vapes (ECVs) are becoming increasingly popular among young people in modern society, as supposedly less harmful devices. In fact, ECVs carry hidden risks due to the content of synthetic nicotine, the formation of highly toxic groups of aldehydes, heavy metals, and a large number of harmful flavors. ECVs can disrupt the body's hemodynamics, leading to inflammatory processes, producing oxidative stress, damage vascular endothelium, and forming atherosclerotic changes that lead to cardiovascular diseases. The review concludes that the problem of safety and harm of vaping to the health of the younger generation has not been sufficiently studied to date, which suggests the introduction of restrictive measures in the fight against the legalization of all nicotine-containing products, including ECVs.

Keywords: electronic cigarettes, vapes, smoking, children, teenagers, cardiovascular system.

Ссылка для цитирования: Васильев В.В., Шулаев А.В., Гусев Е.А., Васильев Е.В. Воздействие электронных курительных устройств на сердечно-сосудистую систему. Кремлевская медицина. Клинический вестник. 2025; 4: 94–99.

Введение

Курение является одним из самых распространенных факторов риска для здоровья человека. С курением связано множество острых и хронических заболеваний: сердечно-сосудистые, респираторные, новообразования, нарушения в центральной нервной системе и психики [1]. Помимо распространенной табачной продукции, в последние годы в геометрической прогрессии возрастает, особенно среди молодежи, популярность электронных сигарет и вейпов (ЭСиВ) [2]. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) сообщает, что с 2020 по 2022 г. в США количество пользователей ЭСиВ увеличилось на 46.6% [3]. Также в 2020 г. 19.6% старшеклассников сообщили, что используют электронные сигареты [4]. В 88 странах, по данным на 2024 г., не регламентирован минимальный возраст для приобретения ЭСиВ, в 74 странах отсутствуют нормативные положения, касающиеся вреда данной продукции. Использование ЭСиВ способствует увеличению потребления табачной продукции почти в три раза. ЭСиВ регулируются государством как табачная продукция и, следовательно, не проходят предпродажные иссле-

дования контроля и безопасности, которые требуются для лекарственных препаратов, что, в свою очередь, несет в себе каскад угроз для здоровья пользователей.

Вейпинг – термин, обозначающий процесс курения, когда при нагревании ароматической смеси в картридже устройства генерируется высокодисперсный аэрозоль в виде пара, который вдыхается пользователем.

ЭСиВ с течением времени претерпели технические изменения – электронные устройства первого поколения представлены в виде сигарет с одноразовым картриджем, во втором поколении (pod-системы) используются перезаряжаемые картриджи с нагревательным элементом (атомайзер), третье поколение (моды/вариватты) – это технически более сложные устройства, которые позволяют настраивать такие параметры, как температура нагрева и мощность, а также имеют сменные нагревательные элементы [5].

Смеси для ЭСиВ могут быть как содержащими, так и не содержащими никотин. Состав жидкостей для ЭСиВ представляет собой сложную химическую смесь, преимущественно включающую в себя три компонента: пропиленгликоль (Е1520), растительный глицерин (Е422) в качестве растворителя и никотин. Помимо этого, жидкости содержат различные, не до конца дифференцируемые вещества, ароматизаторы, летучие органические соединения, N-нитрозамины. В процессе нагревания и окисления в аэрозоль попадают силикаты и тяжелые металлы: кадмий, хром, свинец, железо, медь, никель, серебро, олово. Также при реакциях пиролиза (окисления, дегидратации, термической деградации) и пиросинтеза пропиленгликоль и глицерин способны выделять ацетальдегид, формальдегид, акролеин, оксид пропилена, ацетон, аллиловый спирт, глиоксаль и метилглиоксаль, которые являются высокотоксичными для организма веществами и входят в группы канцерогенов I–II классов [7–9].

Из вышеперечисленных веществ формальдегид является высокореакционным альдегидом, способным вызвать сердечно-сосудистую недостаточность с такими осложнениями, как тахикардии, фибрилляции, блокады сердца [10]. Институт медицины США классифицировал ацетальдегид как наиболее опасный сердечно-сосудистый токсин. Акролеин способен раздражать дыхательные пути и повреждать ДНК. Эксперты ВОЗ отмечают, что концентрация акролеина в легких курильщика ЭСиВ может быть в 16 раз выше, чем в атмосферном воздухе [11, 12]. Концентрация альдегидов в организме зависит от таких факторов, как температурный режим нагрева, напряжение аккумулятора, длительность и частота использования устройств.

Токсическую нагрузку на организм увеличивают входящие в состав жидкостей ароматизаторы (подсластители). Исследователи отмечают, что ароматические вещества – коричный альдегид, ванилин, ментол, этилмальтол, этилванилин, бензальдегид и линалоол обладают цитотоксичными свойствами [13]. Этилмальтол – подсластитель, способный ускорять перенос тяжелых металлов через плазматические мембраны и образующий свободные радикалы с Fe и Cu, которые, в свою очередь, обладают провоспалительным эффектом [6]. Токоферол (витамин Е) в форме ацетата в некоторых случаях добавляется в качестве загустителя. Термическое воздействие на витамин может вызывать высокотоксичный газ кетен, поражающий респираторный тракт [14, 15].

Содержание никотина в ЭСиВ различно, зависит от выбранной концентрации (крепости смеси). В современные устройства добавляют искусственный никотин двух видов – щелочной и солевой, состоящий из смеси щелочного никотина и бензойной кислоты: в первом варианте даже небольшие дозы способны вызывать симптомокомплекс тротхит (от англ. Throat hit) – это раздражение слизистых оболочек горла и нервных окончаний с ощущением жжения, покалывания, боли в горле. Крепость солевых жидкостей может быть значительно выше щелочных и достигать 50 мг без возникновения симптомокомплекса.

Согласно закону от 31.07.2020 г. № 303-ФЗ «Об охране здоровья граждан от воздействия окружающего табачного дыма, последствий потребления табака или потребления никотинсодержащей продукции», запрещена продажа жидкостей для электронных сигарет с концентрацией никотина больше 20 мг на 1 мл [16]. Однако приобрести в свободном доступе можно и солевые жидкости с концентрацией никотина до 50 мг/мл.

Никотин как основное вещество в ЭСиВ способен влиять на системную гемодинамику организма, активируя симпатическую нервную систему, вследствие активации α1- и β1-адренорецепторов, высвобождая норадреналин и увеличивая выработку адреналина надпочечниками. Высвобождаемые катехоламины приводят к сужению сосудистого русла, повышению сократимости миокарда, увеличивая кровяное давление и сердечный выброс, что может спровоцировать гипертоническую болезнь, а также наращение сердечного ритма [17].

Все перечисленные факторы ведут к возрастающему риску ремоделирования миокарда, повышая риск сердечной недостаточности [1].

У курильщиков вследствие действия никотина наблюдается дислипидемия с потенциальным увеличением липопротеинов низкой плотности (ЛПНП) и снижением липопротеинов высокой плотности (ЛПВП), что повышает вероятность формирования атеросклероза. Исследователи связывают это с увеличением тромбоцитарного фактора и фактора роста эндотелия сосудов [18].

Высокие температуры в нагревательных спиралях ЭСиВ разрушают металлы с высвобождением сплавных элементов. При цикличном нагреве спирали более 150 раз из кантала содержание Cr и Fe снижается на 19 и 58%, в спиралях из нихрома – Fe и Ni на 14 и 43% соответственно [19, 20].

Глицерин и пропиленгликоль способны вызывать нарушение реполяризации желудочков, воздействуя на вегетативные рефлексы и приводя к аритмиям [21]. В ранних исследованиях отмечается удлинение интервала QT, что усиливает аритмию. Токсические вещества, накапливаясь, несут высокий потенциал повреждения в организме пользователя, аккумулируя агрессивный эффект. Одним из главных органов-мишеней для ЭСиВ является сердечно-сосудистая система с микроциркуляторным руслом. В таблице 1 показано содержание тяжелых металлов в табачном дыме, в дыме ЭСиВ и в устройствах нагревания (IQOS), а не сжигания табака (heat-not-burn, HnB) [22–25].

Таблица 1

Среднее содержание тяжелых металлов (по [22–25])

Токсичный элемент	Среднее содержание металла в табаке, мкг/г (сухой вес)	Основное содержание металла в HnB, мкг/палочка	Содержание металла в основной массе электронных сигарет, нг/м^3
As	0.14	< 0.36	–
Cd	0.79	< 0.28	0.01
Cr	1.39	< 15.9	6.86
Ni	2.10	–	0.30
Pb	0.55	2.23	0.19

По результатам серии национальных опросов о состоянии здоровья (NHIS) в США выявлен высокий риск инфаркта миокарда, который выше на 50% у курильщиков, использующих ЭСиВ, по сравнению с некурящими [26].

Среди основных механизмов патогенеза выделяют окислительный стресс (ОС), который отражает нарушения регуляции активных форм кислорода (АФК) и эндогенной защиты организма. ОС способен нарушать регуляцию синтеза оксида азота и провоцировать разобщение эндотелиальной синтазы оксида азота (eNOS), что может приводить к нарушению регуляции функции эндотелия в сосудистом русле, вызывая предпосылки для атеросклеротических изменений.

ОС стимулирует гладкомышечные клетки сосудов, запуская процесс пролиферации и миграции, что потенцирует возможность кальцификации и ремоделирования стенки кровеносного русла.

Следующим механизмом патогенеза является воспалительный процесс, при котором комплекс реакций направлен на защиту гемодинамики организма. В свою очередь, синтез медиаторов провоспаления является мощным повреждающим фактором, способным запускать дестабилизацию атеросклеротической бляшки.

Эндотелиальная дисфункция – это комплекс перечисленных факторов и процессов, воздействующих на внутренние оболочки сосудов, приводящий к нарушению гемодинамики микроциркуляторного русла, включая воспалительные реакции стенок артерий, тромбоз, развитие дисфункции эндотелиальных клеток. N.D. Buchanan и соавт. отмечают, что увеличение уровня эндотелиальных клеток-предшественников может быть маркером повреждения сосудов [27]. Исследования на животных показали, что химические вещества способны повышать мутации митохондриальной ДНК, увеличивая экспрессию цитокинов в моноцитах и макрофагах, ассоциированных с атеросклеротическими изменениями [28]. Пары ЭСиВ, как и табачный дым, увеличивают ригидность сосудов [29, 30].

Еще одним важным вопросом для рассмотрения являются электронные системы нагревания табака heat-not-burn (HnB) и их влияние на сердечно-сосудистую систему. Существует множество брендов: IQOS, GLO, PAX. Один из самых популярных IQOS (айкос) – устройство, предназначенное для нагрева измельченного прессованного табака или никотинсодержащей продукции в виде сменной табачной палочки (heatstick).

В сравнении с табачными сигаретами IQOS позиционируется как менее вредное устройство. При этом табак не сгорает, а нагревается, не образуя дыма и пепла, табачный пар рассеивается быстрее. Как утверждается, аэрозоль IQOS содержит на 90% меньше токсичных веществ по сравнению с сигаретным дымом. Причем концентрация никотина в стике для IQOS составляет 70–80% от содержания никотина в обычной сигарете [31].

Устройство IQOS от компании Philip Morris появилось в 2019 г. Компания утверждает, что 8.8 млн человек перешли с традиционных сигарет в пользу IQOS. Исследователи сообщают, что IQOS скорее является дополнением к традиционным сигаретам, чем их заменой. IQOS нагревает табак до температуры 350 °C, горение табачной сигареты происходит при температуре более 600–800 °C. Однако у IQOS также образуются выделения никотина, бензола, акролеина и специфических для табака нитрозаминов [32]. По данным проведенного опроса среди молодых людей в США, Англии, Канаде, примерно четверть опрошенных выразили заинтересованность в том, чтобы попробовать IQOS (25.1%) [33].

При использовании IQOS выделяется формальдегид циангидрин – высокотоксичное вещество, образующееся при более низких температурах плавления табака и полимерного фильтра (350 °C) [34].

В компании Philip Morris было проведено исследование с применением хроматографии и масс-спектрометрии, где установлено, что выявленные 529 соединений в аэрозоле нагреваемых табачных изделий аналогичны содержанию дыма классических сигарет, что указывает на родство токсикологического фона [35]. Имеются данные об обнаружении в устройствах нагревания табака α- и β-частиц полония-210 (210 Po) и свинца-210 (210 Pb) [36, 37].

Исследователями также был проведен анализ летучих органических соединений (ЛОС) и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в устройствах нагрева табака (HnB) IQOS и табачном дыме. Полученные результаты приведены в табл. 2 [22, 38].

Никотин в IQOS повышает артериальное давление, увеличивает частоту сердечных сокращений, воздействует на ремоделирование камер сердца левого желудочка, оказывает токсическое воздействие на клетки сердца (кардиомиоциты) с развитием фиброза сердечной ткани, приводит к возникновению воспаления и сердечной недостаточности [39–41]. Множество авторов приводят аналогичные заключения о патоморфологических изменениях в кардиоваскулярной системе [42–44].

В проведенном исследовании среди экспериментальной группы (23 человека) установлено, что нико-

Таблица 2

Сравнение основных компонентов ЛОС и ПАУ в потоке IQOS и табачном дыме (по [22, 38])

ЛОС	HnB, мкг/палочка	Табачные сигареты, мкг/сигарета	ПАУ	HnB, мкг/палочка	Табачные сигареты, мкг/сигарета
Ацетальдегид	133	610	Нафталин	1.6	1105
Ацетон	12.0	95.5	Аценафтилен	1.9	235
Акролеин	0.9	1.1	Аценафтен	145	49
Бензальдегид	1.2	2.4	Флуоресцентный	1.5	371
Кротоновый альдегид	0.7	17.4	Антрацен	0.3	130
Формальдегид	3.2	4.3	Фенантрен	2.0	292
Изовалеральдегид	3.5	8.5	Флуорантен	7.3	123
Пропионовый альдегид	7.8	29.6	Пирен	6.4	89
Примечание. ЛОС – летучие органические соединения; HnB – устройства нагревания, а не сжигания табака (heat-not-burn); ПАУ – полициклические ароматические углеводороды.			Бенз[a]антрацен	1.8	33
			Хризена	1.5	48
			Бензо[b]флуорантен	0.5	24
			Бензо[k]флуорантен	0.4	4.3
			Бензо[a]пирен	0.8	20

тиновые устройства IQOS нагревания табака способны временно увеличивать жесткость артерий с увеличением частоты сердечных сокращений, систолического артериального давления, диастолического артериального давления уже через 10 минут. Показатели анализировали с помощью скорости пульсовой волны (PWV) и индекса аугментации (AIX75). Данные изменения исследователи связывают с активацией симпатической нервной системы. С помощью системы анализа образования тромбов (T-TAS) через 5 минут была замечена тенденция к увеличению тромбообразования после воздействия аэрозоля с никотином [31]. В похожей работе показано, что у лиц, использующих электронные сигареты с содержанием никотина, уже через 15 минут наблюдается повышение тромбообразования с содержанием фибрина [45]. Доказано, что к медиаторам, содержащимся в аэрозолях и потенцирующим изменения в сосудистом русле и тромбогенности, относятся никотин, активные формы кислорода, мелкодисперсные частицы и карбонилы.

Никотин является психоактивным веществом и, воздействуя на н-ацетилхолиновые рецепторы центральной и периферической нервной систем, способен вызывать изменения в нейронных связях, снижая чувствительность рецепторов к веществу и вызывая привыкание с увеличением дозы потребления [46].

Заключение

Данные представленного обзора свидетельствует о растущем интересе среди молодежи к использованию ЭСиВ. Вследствие различных маркетинговых стратегий, которые используют производители ЭСиВ, у подрастающего поколения создается ощущение более современного и безопасного продукта, что способствует их втягиванию в процесс курения и созданию психологического паттерна курения, а в дальнейшем, возможно, – переходу на никотиновую продукцию и увеличению дозы потребления никотина. Курение на данный момент является одной из самых опасных «легализованных» форм негативного воздействия на организм с развитием тяжелых заболеваний: инфаркта миокарда, инсульта, новообразований [47].

Отдельную группу опасения в составе ЭСиВ занимают не до конца дифференцированные вещества, неся в себе непредсказуемые последствия для здоровья пользователей этой продукции в будущем.

В данном обзоре рассмотрена только одна негативная сторона использования ЭСиВ – влияние на сердечно-сосудистую систему. Перечисленные в обзоре многочисленные симптомы, проявляющиеся у использующих ЭСиВ, являются предвестниками опасных хронических заболеваний, таких как атеросклероз, хроническая сердечная недостаточность, гипертоническая болезнь, повреждение органов дыхания [48].

ВОЗ в постоянном режиме анализирует и отслеживает динамику по ЭСиВ в мире, составляя доклады, рекомендации, а также определяет меры по борьбе с табачной эпидемией. Но в настоящее время недостаточно крупномасштабных долгосрочных исследований безопасности/вреда вейпинга для здоровья человека. Необходимо применять комплексный подход на уровне законодательств и систем здравоохранения, внедряя и разрабатывая современные ограничения и меры по борьбе с легализацией никотинсодержащей продукции.

Литература

1. Zong H. et al. Electronic cigarettes and cardiovascular disease: epidemiological and biological links // Pflugers Arch. – Eur. J. Physiol. – 2024. – V. 476. – No 6. – P. 875–888. DOI: 10.1007/s00424-024-02925-0.
2. Галицкая М.Г. и др. Электронные сигареты (вейпы) – старая угроза здоровью в новом обличье // Российский педиатрический журнал. – 2022. – Т. 25. – № 5. – С. 357–361. [Galitskaya M.G. et al. Electronic cigarettes (vapes) are an old threat to health in a new guise // Russian Pediatric Journal. –

2022. – V. 25. – No 5. – P. 57–361. In Russian]. DOI: 10.46563/15609561-2022-25-5-357-361.
3. Hamann S.L. et al. Electronic cigarette harms: aggregate evidence shows damage to biological systems // Int. J. Environ. Res. Public Health. – 2023. – V. 20. – No 19. – P. 6808. DOI: 10.3390/ijerph20196808.
4. Wang T.W. et al. E-cigarette use among middle and high school students – United States // MMWR Early Release. – 2020. – V. 69. – No 37. – P. 1310–1312. DOI: 10.15585/mmwr.mm6937e1.
5. Stratton K. et al. Public health consequences of e-cigarettes // National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Washington: The National Academies Press. – 2018. – P. 750. DOI: 10.17226/24952.
6. Bracken-Clarke D. et al. Vaping and lung cancer – a review of current data and recommendations // Lung Cancer. – 2021. – V. 153. – P. 11–20. DOI: 10.1016/j.lungcan.2020.12.030.
7. Sahu R. et al. E-Cigarettes and associated health risks: an update on cancer potential // Adv. Respir. Med. – 2023. – V. 91. – No 6. – P. 516–531. DOI: 10.3390/arm91060038.
8. Daiber A. et al. E-cigarette effects on vascular function in animals and humans // Pflugers Arch. – 2023. – V. 475. – No 7. – P. 783–796. DOI: 10.1007/s00424-023-02813-z.
9. El-Hellani A. et al. Electronic cigarettes are chemical reactors: implication to toxicity // Chem. Res. Toxicol. – 2020. – V. 33. – No 10. – P. 2489–2490. DOI: 10.1021/acs.chemrestox.0c00412.
10. Zhang Y. et al. The cellular function and molecular mechanism of formaldehyde in cardiovascular disease and heart development // J. Cell. Mol. Med. – 2021. – V. 25. – No 12. – P. 5358–5371. DOI: 10.1111/jcmm.16602.
11. Münzel T. et al. Effects of tobacco cigarettes, e-cigarettes, and waterpipe smoking on endothelial function and clinical outcomes // Eur. Heart J. – 2020. – V. 41. – No 41. – P. 4057–4070. DOI: 10.1093/eurheartj/ehaa460.
12. Kuntic M. et al. Acrolein, e-cigarettes, and pulmonary and vascular damage // Eur. Heart J. – 2020. – V. 41. – No 15. – P. 1524. DOI: 10.1093/eurheartj/ehaa181.
13. Stefaniak A.B et al. Toxicology of flavoring- and cannabis-containing e-liquids used in electronic delivery systems // Pharmacol. Ther. – 2021. – V. 224. – No 107838. DOI: 10.1016/j.pharmthera.2021.107838.
14. Blount B.C. et al. Vitamin E acetate in bronchoalveolar-lavage fluid associated with EVALI // N. Engl. J. Med. – 2020. – V. 382. – No 8. – P. 697–705. DOI: 10.1056/nejmoa1916433.
15. Goniewicz M.L. et al. Exposure to nicotine and selected toxicants in cigarette smokers who switched to electronic cigarettes: a longitudinal within-subjects observational study // Nicotine Tob. Res. – 2017. – V. 19. – No 2. – P. 160–167. DOI: 10.1093/ntr/ntw160.
16. Федеральный закон от 31 июля 2020 г. № 303-ФЗ «Об охране здоровья граждан от воздействия окружающего табачного дыма, последствий потребления табака или потребления никотинсодержащей продукции» // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2020. [Federal Law of 31 July, 2020, No 303-FZ "On the protection of Citizens health from exposure to ambient tobacco smoke, the Effects of Tobacco Consumption or Consumption of Nicotine-containing Products" // Collection of Laws of the Russian Federation. – 2020. In Russian].
17. Kim S.Y. et al. High prevalence of hypertension among smokers of conventional and e-cigarette: using the nationally representative community dwelling survey // Front. Public Health. – 2022. – V. 10. – No 919585. DOI: 10.3389/fpubh.2022.919585.
18. Fu X. et al. Nicotine: Regulatory roles and mechanisms in atherosclerosis progression // Food Chem. Toxicol. – 2021. – V. 151. – No 112154. DOI: 10.1016/j.fct.2021.112154.
19. Zhao D. et al. Metal/metalloid levels in electronic cigarette liquids.; aerosols.; and human biosamples: A systematic review // Environ. Health Perspect. – 2020. – V. 128. – No 3. – P. 36001. DOI: 10.1289/ehp5686.
20. Mulder H.A. et al. Characterization of E-cigarette coil temperature and toxic metal analysis by infrared temperature sensing and scanning electron microscopy – energy-dispersive X-ray // Inhal. Toxicol. – 2020. – V. 32. – No 13–14. – P. 447–455. DOI: 10.1080/08958378.2020.1840678.
21. Carll A.P. et al. E-cigarettes and their lone constituents induce cardiac arrhythmia and conduction defects in mice // Nat. Commun. – 2022. – V. 13. – No 1. – P. 6088. DOI: 10.1038/s41467-022-33203-1.
22. Granata S. et al. Toxicological Aspects Associated with Consumption from Electronic Nicotine Delivery System (ENDS): Focus on Heavy Metals Exposure and Cancer Risk // Int. J. Mol. Sci. – 2024. – V. 25. – No 5. – P. 2737. DOI: 10.3390/ijms25052737.
23. St. Helen G. et al. Comparison of systemic exposure to toxic and/or carcinogenic Volatile Organic Compounds (VOC) during vaping, smoking, and abstention // Cancer Prev. Res. – 2020. – V. 13. – No 2. – P. 153–162. DOI: 10.1158/1940-6207.capr-19-0356.
24. Pinto E. et al. Metals transfer from tobacco to cigarette smoke: Evidences in smokers' lung tissue // J. Hazard. Mater. – 2017. – V. 325. – P. 31–35. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2016.11.069.
25. Ting C.Y. et al. Heavy metals (Cr, Pb, Cd, Ni) in aerosols emitted from electronic cigarettes sold in Malaysia // J. Environ. Sci. Health A Tox. Hazard. Subst. Environ. Eng. – 2020. – V. 55. – No 1. – P. 55–62. DOI: 10.1080/10934529.2019.1665950.
26. Vindhyal M.R. et al. Impact on cardiovascular outcomes among e-cigarette users: a review from National Health Interview Surveys // J. Am. Coll. Cardiol. – 2019. – V. 73. – No 11. DOI: 10.1016/S0735-1097(19)33773-8.
27. Buchanan N.D. et al. Cardiovascular risk of electronic cigarettes: a review of preclinical

and clinical studies // Cardiovasc. Res. – 2020. – V. 116. – No 1. – P. 40–50. DOI: 10.1093/cvr/cvz256.
28. Li J. et al. Electronic cigarettes induce mitochondrial DNA damage and trigger TLR9 (Toll-like receptor 9)-mediated atherosclerosis // Arterioscler Thromb. Vasc. Biol. – 2021. – V. 41. – No 2. – P. 839–853. DOI: 10.1161/atvbaha.120.315556.
29. Rose J.J. et al. Cardiopulmonary Impact of Electronic Cigarettes and Vaping Products: A Scientific Statement from the American Heart Association // Circulation. – 2023. – V. 128. – No 8. – P. 703–728. DOI: 10.1161/cir.0000000000001160.
30. Heldt N.A. et al. Effects of electronic nicotine delivery systems and cigarettes on systemic circulation and blood-brain barrier: implications for cognitive decline // Am. J. Pathol. – 2021. – V. 191. – No 2. – P. 243–255. DOI: 10.1016/j.ajpath.2020.11.007.
31. Lyytinen G. et al. Use of heated tobacco products (IQOS) causes an acute increase in arterial stiffness and platelet thrombus formation // Atherosclerosis. – 2024. – V. 390. – No 117335. DOI: 10.1016/j.atherosclerosis.2023.117335.
32. Fried N.D. et al. Heat-not-burn tobacco products: an emerging threat to cardiovascular health // Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol. – 2020. – V. 319. – No 6. – P. 1234–1239. DOI: 10.1152/ajpheart.00708.2020.
33. Czoli C.D. et al. Awareness and interest in IQOS heated tobacco products among youth in Canada, England and the USA // Tob. Control. – 2020. – V. 29. – No 1. – P. 89–95. DOI: 10.1136/tobaccocontrol-2018-054654.
34. Davis B. et al. IQOS: evidence of pyrolysis and release of a toxicant from plastic // Tob. Control. – 2019. – V. 28. – No 1. – P. 34–41. DOI: 10.1136/tobaccocontrol-2017-054104.
35. Bentley M.C. et al. Comprehensive chemical characterization of the aerosol generated by a heated tobacco product by untargeted screening // Anal. Bioanal. Chem. – 2020. – V. 412. – No 11. – P. 2675–2685. DOI: 10.1007/s00216-020-02502-1.
36. Desorgher L. et al. Dosimetry in the lungs of α-particles (210Po) and β-particles (210Pb) present in the tobacco smoke of conventional cigarettes and heated tobacco products // J. Environ. Radioact. – 2023. – V. 263. – No 107178. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2023.107178.
37. Berthet A. et al. P. 210Po and 210Pb content in the smoke of Heated Tobacco Products versus conventional cigarette smoking // Sci. Rep. – 2022. – V. 12. – No 10314. DOI: 10.1038/s41598-022-14200-2.
38. Auer R. et al. Heat-Not-Burn Tobacco Cigarettes: Smoke by any other name // JAMA Intern. Med. – 2017. – V. 177. – No 7. – P. 1050–1052. DOI:10.1001/jamainternmed.2017.1419.
39. Prabhakaran D. et al. Exposure to particulate matter is associated with elevated blood pressure and incident hypertension in urban India // Hypertension. – 2020. – V. 76. – No 4. – P. 1289–1298. DOI: 10.1161/hypertensionaha.120.15373.
40. Ioakeimidis N. et al. Acute effect of heat-not-burn versus standard cigarette smoking on arterial stiffness and wave reflections in young smokers // Eur. J. Prev. Cardiol. – 2021. – V. 28. – No 11. – P. 9–11. DOI: 10.1177/2047487320918365.
41. Oakes J.M. et al. Effects of chronic nicotine inhalation on systemic and pulmonary blood pressure and right ventricular remodeling in mice // Hypertension. – 2020. – V. 75. – No 5. – P. 1305–1314. DOI: 10.1161/hypertensionaha.119.14608.
42. Kuntic M. et al. Short-term e-cigarette vapour exposure causes vascular oxidative stress and dysfunction: evidence for a close connection to brain damage and a key role of the phagocytic NADPH oxidase (NOX-2) // Eur. Heart J. – 2020. – V. 41. – No 26. – P. 2472–2483. DOI: 10.1093/eurheartj/ehz772.
43. Biondi-Zoccai G. et al. A randomized trial comparing the acute coronary, systemic, and environmental effects of electronic vaping cigarettes versus heat-not-burn cigarettes in smokers of combustible cigarettes undergoing invasive coronary assessment: rationale and design of the SUR-VAPES 3 trial // Minerva Cardioangiol. – 2020. – V. 68. – No 6. – P. 548–555. DOI: 10.23736/S0026-4725.20.05181-6.
44. Peralta A.A. et al. Exposure to air pollution and particle radioactivity with the risk of ventricular arrhythmias // Circulation. – 2020. – V. 142. – No 9. – P. 858–867. DOI: 10.1161/circulationaha.120.046321.
45. Lyytinen G. et al. Electronic Cigarette Vaping with Nicotine Causes Increased Thrombogenicity and Impaired Microvascular Function in Healthy Volunteers: A Randomised Clinical Trial // Cardiovasc. Toxicol. – 2023. – V. 23. – No 7–8. – P. 255–264. DOI: 10.1007/s12012-023-09802-9.
46. Le Foll B. et al. Tobacco and nicotine use // Nat. Rev. Dis. Primers. – 2022. – V. 8. – No 19. DOI: 10.1038/s41572-022-00346-w.
47. Салагай О.О. и др. Анализ структуры и динамики потребления табака и никотинсодержащей продукции в Российской Федерации в 2019–2022 гг. // Профилактическая медицина. – 2022. – Т. 25. – № 9. – С. 15–23. [Salagay O.O. et al. Analysis of the structure and dynamics of consumption of tobacco and nicotine-containing products in the Russian Federation in 2019–2022 // Russian Journal of Preventive Medicine. – 2022. – V. 25. – No 9. – P. 15–23. In Russian]. DOI: 10.17116/profmed20222509115.
48. Карпенко М.А. и др. Повреждение легких, ассоциированное с вейпингом и электронными сигаретами // Туберкулез и болезни легких. – 2022. – Т. 100. – № 4. – С. 52–61. [Karpenko M.A. et al. E-cigarette or vaping use-associated lung injury // Tuberculosis and Lung Diseases. – 2022. – V. 100. – No 4. – P. 52–61. In Russian]. DOI: 10.21292/2075-1230-2022-100-4-52-61.