

Strategies to Prevent the Harmful Effects of Environmental Pollutants on the Athletes' Respiratory Performance: A Review

Reza Sabzevari Rad¹, Farshid Alazamani Noodeh², Ali Moradi^{*,3}

¹PhD in exercise Physiology, Department of Physical Education and Sports Sciences, Imam Ali Military University, Tehran, Iran.

² PhD Candidate in nursing education, nursing care research center, faculty of Nursing and Midwifery, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

³ PhD Candidate in nursing, Students Research Center, School of Nursing, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran..

Received: 9 February 2021 Accepted: 7 March 2021

Abstract

Background and Aim: Air pollution is a major problem worldwide and is a serious problem for athletes who exercise or compete in urban environment. Exercise, results in increased minute ventilation and increased exposure to pollutants and environmental pollution. Hence, the aim of this study was to determine the strategies to prevent the harmful effects of environmental pollutants on the athletes' respiratory performance.

Methods: This study is a systematic review and the literature of this study are collected in mesh without time limit using the websites of Pubmed, Google Scholar, SID, PubMed, Irandoc, Science direct, Scopus and searching for the two keywords "environmental pollutants" and "the athletes' respiratory performance". Of these, 84 articles related to the subject of the present study were adapted and divided into two categories: abstracts and full-text articles and were examined in depth based on the degree of novelty.

Results: Protective behaviors of athletes, such as running away from pollutants, exercising in parks and during the hours with the lowest concentration of pollution, being aware of the concentration of pollutants in the environment, exercising early in the day (before 7 a.m), not attending and competing in the early hours of summer especially for athletes with asthma, absence of asthmatic athletes in crowded places and rush hours, use of protective masks during exercise, indoor exercise in times of severe air pollution, transporting them from low-traffic areas to stadiums or racing environments, improving air quality, vitamins C, A, E, D intake and consumption of probiotic products help reduce the harmful effects of environmental pollutants on athletes' respiratory performance.

Conclusion: The severity of respiratory symptoms and the consequent decrease in respiratory function in athletes following exposure to environmental pollutants are influenced by the duration and intensity of exercise, the athlete's underlying disease, the type of pollutant, Distance distance and proximity to areas with high pollution and hours of exposure to pollutants.

Keywords: Environmental pollutants, Respiratory performance, Athletes

*Corresponding author: Ali Moradi, Email: alimoradi259000@yahoo.com

راهکارهای پیشگیری از اثرات زیانبار آلاینده های محیطی بر عملکرد تنفسی ورزشکاران: مطالعه مروری

رضا سبزواری راد¹، فرشید الازمنی نوده²، علی مرادی^{3*}

¹ دکتری تخصصی فیزیولوژی ورزشی، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی دانشگاه افسری امام علی (ع)، تهران، ایران.
² دانشجوی دکتری پرستاری، مرکز تحقیقات مراقبت پرستاری، دانشکده پرستاری و مامایی، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.
³ دانشجوی دکتری پرستاری، مرکز تحقیقات دانشجویی دانشکده پرستاری دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)، تهران، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: آلودگی هوا یک مشکل اساسی در سراسر جهان است و برای ورزشکارانی که در محیط های شهری ورزش یا رقابت می نمایند مشکل جدی محسوب می گردد. فعالیت ورزشی منجر به افزایش تهویه دقیقه ای و افزایش مواجهه ورزشکاران با آلاینده های محیطی می گردد. بنابراین هدف از مطالعه حاضر راهکارهای پیشگیری از اثرات زیانبار آلاینده های محیطی بر عملکرد تنفسی ورزشکاران بود.

روش ها: این مطالعه از نوع مروری سیستماتیک می باشد و ادبیات این مطالعه با استفاده از پایگاههای اینترنتی Pubmed، محیطی " و "عملکرد تنفسی ورزشکاران" موجود در mesh و بدون محدودیت زمانی گردآوری شده است. که از این میان تعداد 84 مقاله مرتبط با موضوع مطالعه حاضر اقتباس و به دو دسته چکیده و مقاله کامل طبقه بندی و براساس میزان تازگی مورد بررسی عمیق قرار گرفت.

یافته ها: رفتارهای محافظتی ورزشکاران و اطلاع از میزان غلظت آلاینده های محیطی، اجرای فعالیت ورزشی در ساعات آغازین روز (پیش از ساعت 7 صبح)، عدم شرکت و برگزاری مسابقات ورزشی در ساعات آغازین ظهر در فصل تابستان بویژه در افراد مبتلا به آسم، عدم حضور ورزشکاران آسمی در اماکن و ساعات پرتراфик، استفاده از ماسک های محافظ هنگام ورزش، تمرین داخلی در مواقع آلودگی شدید هوا، انتقال ورزشکاران از اماکن کم ترافیک به ورزشگاه یا محیط مسابقه، بهبود کیفیت هوا، مصرف ویتامین های C، E، A، D و مصرف فراورده های پروبیوتیک در تقلیل اثرات مضر آلاینده های محیطی بر عملکرد ورزشکاران کمک شایانی می نماید.

نتیجه گیری: شواهد موجود نشان می دهد که شدت علائم تنفسی و متعاقب آن کاهش عملکرد تنفسی در ورزشکاران بدنبال مواجهه با آلاینده های محیطی تحت تاثیر مدت و شدت فعالیت ورزشی، بیماری زمینه ای ورزشکار، نوع آلاینده، دوری و نزدیکی به مناطق با آلودگی بالا و ساعات مواجهه با آلاینده قرار دارد.

کلیدواژه ها: آلاینده های محیطی، عملکرد تنفسی، ورزشکاران

مقدمه

نسبت به کودکان غیر آسمی می باشد (14). علاوه بر این، افزایش مواجهه با آلاینده ها در هنگام فعالیت ورزشی تحت تأثیر عواملی مانند زمان روز، نزدیکی به جاده و شدت ترافیک می باشد هم چنین شواهدی از رفتارهای محافظتی در برابر آلاینده ها از جمله کاهش فعالیت بدنی در بزرگسالان در طی روزها یا دوره های زیاد قرار گیری در معرض آلاینده های هوا وجود دارد (15). به دلیل شدت آلودگی هوا و مشکلات ناشی از آلاینده های محیطی بر عملکرد تنفسی و بدنی ورزشکاران، دغدغه اصلی برگزارکنندگان مسابقات ورزشی همواره تعیین زمان مناسب برای اجرای مسابقات ورزشی در مناطق آلوده بوده است. برای مثال می توان به تجربه برگزاری مسابقات المپیک 2008 پکن اشاره نمود که در زمهره آلوده ترین کلانشهرهای دنیا به شمار می آید و غلظت آلاینده های مونوکسیدکربن، دی اکسیدنیترژن، دی اکسیدگوگرد، ازون و ذرات معلق در برخی روزها فراتر از مرز استانداردهای نرمال می باشد (16).

با توجه به اینکه در ورزشکاران حرفه ای و نخبه کاهش اندک در عملکرد تنفسی و متعاقب آن کاهش عملکرد بدنی منجر به فاصله گرفتن ورزشکاران از کسب مدال و مقام قهرمانی می گردد بنابراین اثرات آلودگی هوا بر عملکرد ورزشکاران حائز اهمیت می باشد. با این وجود تاکنون تحقیقی به بررسی اثرات طولانی مدت آلاینده های محیطی بر عملکرد تنفسی ورزشکاران نپرداخته و مطالعات انجام شده بر اثرات حاد آلاینده های محیطی بر عملکرد ورزشکاران تمرکز کرده اند (17). از طرفی با توجه به اهمیت فعالیت ورزشی و نقش آن بر سلامت قلبی - تنفسی افراد جامعه بویژه ورزشکاران همواره این سوال مطرح بوده است که در چه ساعتی از شبانه روز به انجام فعالیت ورزشی بپردازند تا اثرات زیانبار آلاینده های محیطی بر عملکرد تنفسی آنها به حداقل ممکن برسد و استراتژی ها و راهکارهای پیشگیرانه برای مقابله با این مضرات بیان شود. بنابراین هدف از این مطالعه بررسی راهکارهای پیشگیری از اثرات زیانبار آلاینده های محیطی بر عملکرد تنفسی ورزشکاران و ارائه راهکارهای محافظتی جهت تقلیل این اثرات در ورزشکاران می باشد.

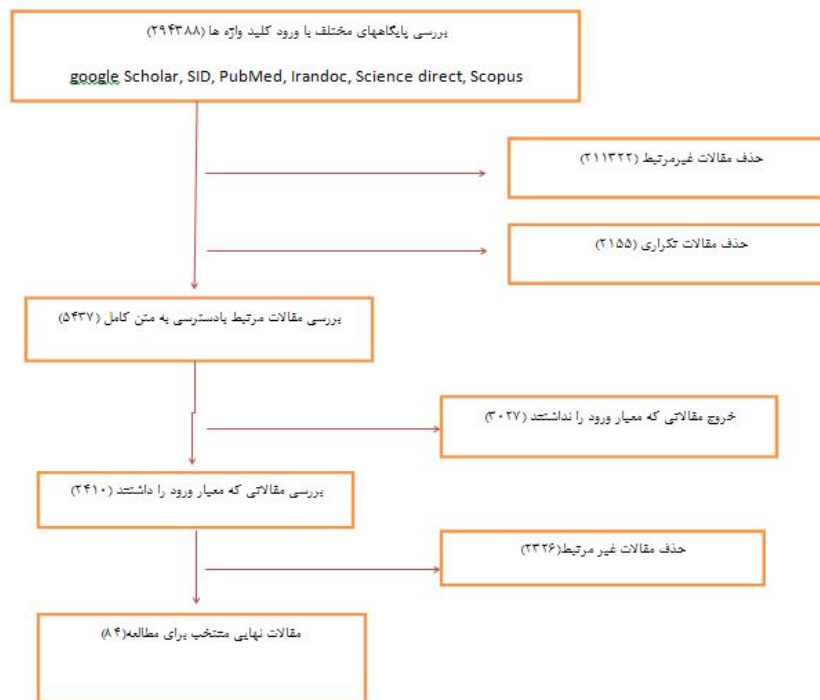
روش ها

این مطالعه از نوع مقالات مروری سیستماتیک می باشد که در طی پنج مرحله مشتمل بر جستجوی مقالات در پایگاههای معتبر، انتخاب داده ها، ارزشیابی داده ها، طبقه بندی داده ها به دو دسته متن کامل و چکیده و در نهایت بررسی داده ها گردآوری شده است. تعداد 294388 مقاله در رابطه با موضوع مطالعه ما با جستجوی دو کلید واژه آلاینده های محیطی (Environmental Pollutants) و عملکرد تنفسی ورزشکاران (Athletes' Respiratory Performance) در پایگاههای اینترنتی google Scholar, SID, PubMed, Irandoc, Science direct, Scopus, Pubmed منتشر

آلودگی هوا به طور فزاینده ای به عنوان یک مسئله مهم بهداشت عمومی در نظر گرفته شده و به عنوان چهارمین عامل مرگ و میر در جهان و هفتمین عامل در ایران شناخته شده است (1). برابر گزارش های سازمان جهانی بهداشت، هرساله در سراسر جهان چهار میلیون نفر بر اثر آلودگی هوای محیط جان خود را از دست داده یا به مرگ زودرس مبتلا می گردند هم چنین برآوردهای فعلی حاکی از آن است که حدود 70 درصد از جمعیت جهان تا سال 2050 در محیط های شهری بسیار شلوغ و پرجمعیت زندگی کنند (1). این سناریو بدان معنا است که طراحی شهری، کنترل آلودگی هوا و همچنین برنامه های تفصیلی برای حمل و نقل عمومی و خصوصی برای حفظ سلامت جمعیت از افزایش سطح آلاینده های هوا ضروری خواهد بود (2, 3). آلودگی هوا نه تنها منجر به بروز بیماریهای شدید و افزایش میزان مرگ و میر در افراد با بیماریهای قلبی - تنفسی می گردد بلکه کاهش کارایی و عملکرد بدنی را در افراد ورزشکار بدنبال خواهد داشت، هم چنین مطالعات متعددی نشان داده اند که با افزایش فعالیت بدنی و ورزش، اثرات زیانبار آلاینده های محیطی بر عملکرد تنفسی و بدنی ورزشکاران افزایش یافته و افزایش مواجهه شدن با این آلاینده های مضر را در بر دارد (4-8). از طرفی ارزیابی محیط زیست به 3 دلیل یک مسئله بسیار پیچیده است. اول اینکه، قرار گرفتن در معرض آلاینده های متعدد می تواند از منابع مختلف ناشی شود (به عنوان مثال، ترافیک وسایل نقلیه، صنایع، آتش بازی، آتش سوزی جنگل یا فوران آتشفشانی) و داده های بدست آمده در هنگام مواجهه با آلاینده های منفرد، لزوماً قابل توصیف برای موقعیت های دنیای واقعی نیست و نیاز به مدل سازی آماری پیچیده دارد (9). دوم، الگوی آب و هوایی و باد در بین مکانهای مختلف، متفاوت می باشد. سوم، نظارت بر کیفیت هوا از ایستگاه های مانیتورینگ ثابت گرفته تا وسایل پوشیدنی در حال تحول است (10, 11)، که امکان تعریف دقیق تری از مواجهه های فردی را فراهم می کند. اینکه فعالیت ورزشی مزایای مهمی برای سلامتی فرد به خصوص سیستم قلبی - تنفسی دارد به خوبی بر همگان مشخص شده است (12). از طرفی، افرادی که در مناطق شهری یا بسیار صنعتی زندگی می کنند در معرض آلودگی های زیست محیطی زیادی قرار دارند. فعالیت ورزشی در فضای باز در مناطق شهری به دلایل مختلف با افزایش قرار گرفتن در معرض آلاینده ها همراه است: (الف) افزایش تهویه در هنگام فعالیت ورزشی منجر به افزایش قرار گرفتن در معرض آلاینده ها می گردد، بخشی از آن در نتیجه تغییر جهت یا شیفت تهویه از بینی به دهان یا از بین رفتن عملکرد فیلترینگ بینی و (ب) افزایش نشت یا رسوب ذرات میکروسکوپی اولترافین در حین فعالیت ورزشی (13) به ویژه در کودکان در مقایسه با بزرگسالان و در افراد مبتلا به آسم

محدوده زمانی به منظور دستیابی به داده های ارزشمند، مقالات منتشر شده در ژورنالهای خارجی و داخلی و معیارهای خروج از مطالعه مشتمل بر مقالات منتشر شده با زبان غیر انگلیسی و غیرفارسی و فاقد مقالات آلودگی و عملکرد تنفسی ورزشکاران در محیط آلوده بود. مقالات در سه مرحله مورد بررسی و حذف قرار گرفتند و در نهایت مقالات مرتبط با موضوع مطالعه استخراج و مورد بررسی قرار گرفتند (نمودار 1).

شده است که از این میان تعداد 84 مقاله مرتبط با موضوع مطالعه حاضر اقتباس و به دو دسته چکیده و مقاله کامل طبقه بندی و براساس میزان تازگی مورد بررسی قرار گرفت. لازم به ذکر است که تعدادی از مقالات به دلیل اینکه با زبان روسی، اسپانیایی و پرتغالی نگاش شده بودند از پایگاه داده PubMed قابل دریافت و بهره برداری نبودند. معیارهای ورود به مطالعه مشتمل بر موجود بودن مقالات پژوهشی و مروری، مطالعات در حیطه آلودگی، آلاینده های هوا و عملکرد تنفسی ورزشکاران، لحاظ نکردن



نمودار 1. فلوچارت جستجوی مقالات

مواجهه با مقادیر برابر با 100 ppb از این گاز منجر به افزایش مقاومت راههای هوایی و کاهش بالقوه عملکرد ریوی در ورزشکارانی شود که با مقادیر تهویه ریوی معادل 70 L/min ورزش می کنند به عبارتی مواجهه با مقادیر 100 ppb از این گاز منجر به کاهش حجم بازدم اجباری در ثانیه اول (FEV1، ظرفیت حیاتی اجباری (FVC) و کاهش جریان بازدمی اجباری (FEF) به میزان 25-75 درصد در افراد می گردد (21). اثرات زیانبار غلظت های بالاتر از 120 ppb این گاز بر سلامتی انسان به اثبات رسیده و منجر به بروز واکنش های آلرژیک از قبیل تحریک بینی و گلو، خس خس سینه، سرفه و اختلال در تنفس عمیق به علت درد یا فشار در قفسه سینه، سردرد و تهوع می گردد. ذکر این نکته حائز اهمیت است که شدت و وخامت این علائم به موازات اختلالات عملکرد ریوی بوده و با شدت فعالیت ورزشی تشدید می گردد (21). این موضوع اثبات شده است که اثر غلظت های بالاتر از 120 ppb این گاز در ورزشکاران منجر به کاهش پیوسته حجم باقیمانده، افزایش

نتایج

اثرات اصلی آلاینده ها در حالت استراحت و هنگام فعالیت

ورزشی

ازون: یک آلاینده در نزدیکی سطح زمین است که از تاثیر واکنش مواد شیمیایی بین آلاینده های ناشی از کارخانجات صنعتی، پالایشگاهها، نیروگاهها و خودروها و نیز تحت تاثیر نور خورشید بوجود می آید. غلظت این آلاینده در میانه روز و در فصول گرم سال بالاتر است (18). افزایش دمای هوا به میزان بالاتر از 35 درجه سانتی گراد و مواجهه با گاز ازون منجر به تشدید اثرات زیانبار آن و کاهش عملکرد ریوی در افراد و بویژه ورزشکاران خواهد شد (19). غلظت بالای ازون ممکن است بر عملکرد ورزشی تأثیر گذار باشد، اما به نظر می رسد گرما و رطوبت معمولاً با آلودگی ازون مرتبط هستند و نقش اصلی را در کاهش عملکرد دوندگان تمرین کرده استقامتی بازی می کنند (20). و این یک نکته حائز اهمیت برای ورزشکارانی می باشد که در این مواقع به اجرای رقابت می پردازند.

و متعاقب آن آسیب به غشای تنفسی و کاهش ظرفیت تبادل گاز تنفسی را بدنبال خواهد داشت (35).

اثر فعالیت ورزشی بر میزان نشست ذرات معلق در مجاری هوایی عمقی هنوز بطور کامل شناخته نشده است. با افزایش تهویه ریوی و سرعت جریان تنفسی در حین ورزش و کم‌رنگ شدن سد دفاعی مخاط بینی ناشی از افزایش تنفس دهانی، ذرات معلق بیشتری از طریق تنفس به بدن ورزشکار وارد می‌گردد. اما در رابطه با افزایش میزان نشست این ذرات پس از ورود به مجاری هوایی تحتانی و خروج بوسیله جریان هوای بازدمی پاسخ روشنی داده نشده است (22). این موضوع که میزان مواجهه ورزشکاران با ذرات معلق در حاشیه جاده‌ها در مقایسه با نواحی کم ترافیک و روستایی به طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر است به اثبات رسیده است (36). هم‌چنین نشان داده شده است که غلظت سرب (به عنوان یکی از اجزای ذرات معلق) خون ورزشکاران شهری نسبت به ورزشکاران مناطق روستایی بالاتر و میزان این تجمع در خون با افزایش مدت زمان و شدت فعالیت ورزشی افزایش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد (37 و 38).

مطالعات ثابت نموده‌اند که افراد سالمی که در معرض ذرات کربن بسیار ریز در غلظت‌های مختلف قرار گرفته‌اند (بدون جذب هیچ مؤلفه دیگری)، نشست این ذرات در دستگاه تنفسی آنها مشاهده شده که نشست آنها در حین فعالیت ورزشی افزایش می‌یابد (36). قرار گرفتن در معرض مختصر با دود رقیق آگزوز در حین ورزش با شدت متوسط در مردان بالغ مبتلا به انفارکتوس میوکارد سابقه دار، افزایش افتادگی قطعه ST در الکتروکاردیوگرام قلب را بدنبال خواهد داشت، یعنی این موضوع، پیش‌بینی‌کننده مهم حوادث جانبی قلبی عروقی نامطلوب است (40). حتی فعالیت ورزشی با شدت سبک در یک محیط آلوده ممکن است باعث افزایش فاکتورهای التهابی در مجاری هوایی و متعاقب آن کاهش عملکرد ریه شود. در یک مطالعه، افراد بزرگسال مبتلا به آسم برونشی خفیف تا متوسط مبادرت به قدم زدن در خیابانهای شلوغ مانند آکسفورد، لندن یا هاید پارک نمودند و عنوان نمودند که میزان قرار گرفتن در معرض ترافیک ممکن است منجر به ایجاد اختلال در فعالیت‌های روزمره زندگی آنها گردد (41). به همین ترتیب مواجهه کوتاه مدت با ترافیک از اثرات مفید پیاده روی بر سیستم قلبی عروقی افراد سالم و افراد مبتلا به بیماری انسداد مزمن ریوی یا بیماری ایسکمیک قلبی می‌کاهد (42). قرار گرفتن در معرض ذرات آگزوز خودرو (300 میکروگرم بر متر مکعب از $PM_{2.5}$) در حین فعالیت ورزشی با شدت متوسط یا بالا در افراد جوان ورزیده، عملکرد حاد اندوتلیال یا سطح اندوتلین-1 خون را تغییر نداد، اما غلظت نیترات و نیتريت (NO_x) پلاسما را افزایش داد (43). در حال حاضر، شواهدی مبنی بر روابط علت و معلولی بین مواجهه با آلودگی هوای ناشی از ترافیک و اختلال در عملکرد ریه‌ها وجود دارد

مقاومت راههای هوایی متناسب با شدت ورزش و در نهایت کاهش عملکرد ریوی و ورزشی خواهد شد هم‌چنین کاهش حجم جاری و افزایش میزان تنفس منجر به افزایش تهویه ریوی نسبی در آنها خواهد شد (22). در مطالعات حیوانی اثبات شده که مصرف ویتامین E و مکمل‌های آنتی‌اکسیدانتی منجر به کاهش اثرات زیانبار این آلاینده می‌گردد ولی اعلام نظر قطعی در خصوص استفاده از این مکمل‌ها بر ورزشکاران نیاز به تحقیقات بیشتری دارد (22). مصرف سالیوتامول قبل از ورزش بر کاهش اثرات زیانبار این گاز بی‌تاثیر ولی مصرف ایپوبروفن و ایندومتاسین عوارض زیانبار گاز ازون را کاهش داده است (23-25). افزایش غلظت ازون در هوای تنفس می‌تواند باعث کاهش عملکرد ریه در افراد جوان سالم به همراه ایجاد التهاب راه هوایی شود (26). تأثیر استنشاق ازون بر عملکرد ریه در مطالعات بسیاری به طور گسترده‌ای مورد بررسی قرار گرفته است (27-29). غلظت آستانه ازون معادل 60-80 ppb با شروع اثرات منفی ازون بر سلامتی افراد در ارتباط است (30). قرار گرفتن در معرض ازون ممکن است منجر به بروز التهاب مجاری هوایی می‌گردد (30). اثرات قرار گرفتن در معرض ازون در حین ورزش در زیر گروه‌های مختلف جمعیت ممکن است متفاوت باشد (31-33). هوپه و همکاران گزارش کردند که کاهش قابل توجهی در عملکرد ریه در بیماران آسمی و کودکان وجود دارد، در حالی که افراد سالخورده یا ورزشکاران کمتر تحت تأثیر قرار گرفتند (34).

ذرات معلق یا ریز: این ذرات که تحت عنوان dust یا PM_{10} شناخته می‌شوند ترکیبی از ذرات جامد و قطرات مایع است که کمتر از 10 میکرومتر قطر دارند و می‌توانند با عبور از سد مجاری هوایی فوقانی به داخل ریه‌ها نفوذ کرده و ایجاد مشکلات جدی برای سلامتی افراد کنند. منابع عمده این آلاینده همه انواع احتراق است که از سوزاندن چوب و زباله، خودروها و فرایندهای صنعتی رخ می‌دهد (22). ذرات معلق به دلیل به دلیل اندازه کوچک خود می‌توانند ساعت‌ها یا روزها در هوا معلق بمانند. ذرات معلق کمتر از 2/5 میکرومتر ($PM_{2.5}$) بخش عمده‌ای از PM_{10} را تشکیل می‌دهد. احتمال ورود و نشست این ذرات به جابجه‌ها و راههای هوایی بیشتر است (22). ذرات معلق در جریان تشکیل مه دودها (Smog) به اوج غلظت خود می‌رسند. مه دودهای زمستانی ناشی از تجمع آلاینده‌های موضعی در هوای سرد و ایستا و مه دودهای تابستانی ناشی از واکنش نور خورشید با آلاینده‌ها همراه با تجمع غلظت بالایی از آن می‌باشد. نکته قابل توجه اینکه تعامل هم‌افزایی (synergistic interaction) بین PM_{10} ، SO_2 و بخار آب وجود دارد. بخار آب و SO_2 جذب ذرات دود شده و ذرات فلزی موجود در PM_{10} مانند وانادیوم در تشکیل سولفوریک اسید به عنوان کاتالیزور عمل می‌نماید. با استنشاق فرد، ذرات معلق منجر به انتقال اسید سولفوریک به قسمت‌های عمقی ریه شده

اختصاصی، بطور مکرر بروز نمی کنند (54). دریک مطالعه ثابت شده که استنشاق سطوح کم تا متوسط NO₂ در فضای باز برای دوچرخه سواران و باغبانان مسن دانمارکی منجر به کاهش کارایی آنان شده است (55).

دی اکسید گوگرد (SO₂): گازی سوزاننده است که هنگام عبور از بینی اثراتش حذف شده و برای ایجاد اثرات زیانبار بایستی تنفس دهانی وجود داشته باشد. محدوده لازم برای ایجاد اثرات سوء بر عملکرد ریوی و دستگاه تنفس برای افراد بالغ و سالم 1000-2000 ppm می باشد و استنشاق بالاتر از این مقادیر منجر به اسپاسم برونش می گردد و بدلیل اینکه در حین ورزش دی اکسید گوگرد بیشتری به عمق دستگاه تنفسی رسوخ می کند بنابراین اثرات این گاز بیشتر بروز می کند (56). افراد مبتلا به آسم در مقایسه با افراد عادی به میزان 10 برابر نسبت به SO₂ حساستر می باشند و در اینگونه بیماران حتی غلظت های پایین SO₂ منجر به تنگی راههای هوایی و وخیم تر شدن علائم خواهد شد. ذکر این نکته حائز اهمیت است که به محض قطع شدن مواجهه با SO₂ در ظرف یک ساعت عملکرد ریوی به سطوح طبیعی خود می رسد (57). اگر چه این گاز، آلاینده مهمی برای بیماران مبتلا به آسم بویژه در ورزش محسوب می شود ولی در ورزشکاران سالم و با عملکرد تنفسی طبیعی در هوای شهری مشکلی را بوجود نمی آورد (22). علائم مواجهه با SO₂ در هوای سردو خشک در مقایسه با هوای گرم و مرطوب شدیدتر و سریعتر خود را نشان می دهد (57).

مونوکسید کربن (CO): از احتراق ناقص کربن بوجود می آید و منبع اصلی آن دود آگروز وسایل نقلیه و کارخانجات صنعتی می باشد. غلظت این گاز در فصول سرد سال بدلیل احتراق ناقص کربن و پدیده وارونگی دمایی بیشتر است و این موضوع منجر به تجمع آلاینده ها در نزدیک سطوح پایین زمین می گردد (53). میل ترکیبی این گاز به هموگلوبین و تشکیل کربوکسی هموگلوبین در نسبت به اکسیژن 200 بار بیشتر است و این گاز از طریق تنفس به خون وارد شده و با تشکیل کربوکسی هموگلوبین منجر به عدم اکسیژن رسانی به بافت های نیازمند اکسیژن می گردد و منحنی اکسی هموگلوبین را به چپ جابجا می کند و عمل آنزیم سیتوکروم اکسیداز را با اختلال مواجهه می کند و در نهایت دسترسی بافت ها به اکسیژن را مشکل ساز می نماید (22).

عوامل موثر بر جذب CO در افراد عادی و ورزشکاران عبارتند از: ظرفیت انتشاری ریه، حجم فضای مرده، ظرفیت کلی ریه و میزان تهویه ریوی می باشد. غلظت کربوکسی هموگلوبین خون افرادی که در مناطق پرجمعیت و پرتراфик شهری زندگی می کنند 2 برابر بیشتر از غلظت آن در خون ساکنین روستا می باشد (51). فعالیت ورزشی به مدت 30 دقیقه در محیط های پرتراфик، غلظت کربوکسی هموگلوبین خون را به میزان 10

(44). نکته قابل توجه این است که به رغم مفید بودن حمل و نقل فعال (مانند دوچرخه سواری و پیاده روی به منظور رفت و آمد به محیط کاری) در مقایسه با اتومبیل های شخصی و کاهش ترافیک و مواجهه با آلاینده های محیطی، حمل و نقل فعال نباید در محیط آلوده و پرتراфик صورت گیرد چون ضمن کاهش اثرات مفید آن بر عملکرد تنفسی، افزایش مواجهه ورزشکاران با آلاینده های ناشی از دود آگروز را در بر خواهد داشت (45-48). البته در یک مطالعه ثابت شده که مواجهه طولانی مدت ورزشکار با آلاینده ها، تعیین کننده اصلی کاهش میزان ضربان قلب و افزایش فشار خون دیاستولیک است، در حالی که مدت فعالیت ورزشی هیچ گونه اثر معنی داری بر این دوفاکتور نداشته است (49). بنابراین، شواهد موجود تا به امروز هیچ گونه مضرات اضافی در ارتباط با حمل و نقل فعال نشان نداده، مگر اینکه ورزشکار در معرض آلودگی شدید قرار گیرد یا دوچرخه سواری برای ساعت های زیادی در روز بطول بیانجامد (50).

NO₂: یکی از اجزای گازهای ناشی از آگروز خودروها می باشد. این گاز بسیار سمی تر از NO می باشد و توسط تنفس جذب مخاط بینی و دهان می گردد و سپس به اسیدهای نیتریک و نیتروس مبدل می شود (22). غلظت NO₂ شهری پایینتر از 150 ppb بوده و در محدوده غلظتی 500-10000 ppb منجر به تحریک حلق، سرفه و برونکو اسپاسم و در محدوده غلظتی کمتر از 500 ppb، کاهش مقاومت در برابر عفونت های تنفسی را بدنبال خواهد داشت، بیشترین نگرانی در خصوص این گاز زمانی بوجود می آید که افراد در فضاهای بسته یا مکانهایی که تهویه گاز بخوبی انجام نمی شود قرار می گیرند (51). افزایش مقاومت راههای هوایی در افراد آسمی با استنشاق مقادیر 500 ppb و در مواجهه کوتاه مدت با این گاز گزارش شده است ولی افراد غیر آسمی در مقادیر 1000 ppb این پدیده را تجربه می نمایند (51). هم چنین این گاز در بیماران انسدادی تنفسی، کودکان کم سن و سال منجر به بروز واکنش های آلرژیکی از قبیل تحریک چشم، بینی، گلو و مجاری تنفسی شده و متعاقباً منجر به بروز عفونت های تنفسی و کاهش عملکرد تنفسی خواهد شد، در یک مطالعه اثبات گردید کودکانی که در معرض استنشاق درازمدت NO₂ در مقادیر 16 ppb بوده اند 20 درصد بیشتر از افراد دیگر شانس ابتلا به عفونت تنفسی را داشته اند (52). مواجهه طولانی مدت با این گاز و با مقادیر بالای آن مانند آتش سوزی منجر به ایجاد ادم ریوی و برونشیت حاد و یا مزمن خواهد شد (53). به رغم اختلاف نظر قابل توجه بین انجمن های اپیدمیولوژیک و نتایج حاصل از مواجهه با گاز NO₂، افراد مبتلا به آسم یا بیماری های آلرژیک زیر گروه هایی هستند که مستعد ابتلا به بیماریهای تنفسی (عفونت تنفسی، ادم ریوی، برونشیت حاد و مزمن) ناشی از NO₂ هستند. لازم به ذکر است که عوارض جانبی ریوی بدون مواجهه با محرکهای خاص یا غیر

پس از قرار گرفتن در معرض CO به مدت 1 ساعت توسط تجویز O2 معکوس شد (66).

اثرات آلودگی هوا بر ورزشکاران المپیک

بازی های المپیک با حضور گسترده ورزشکاران و عموم مردم از رویدادهای اصلی در جهان محسوب می گردد. بنابراین توجه به مسائل زیست محیطی برای برگزاری این دویداد حائز اهمیت بوده و این امکان وجود دارد که آلاینده ها علاوه بر سلامتی بر عملکرد ورزشی ورزشکاران نیز اثرات زیانباری داشته باشد (67). به عنوان مثال، در طول بازی های المپیک پکن 2008 که به عنوان یکی از آلوده ترین شهرهای جهان محسوب می شود، با وجود تلاش های زیاد مسئولان برای کاهش آلودگی هوا، یعنی محدودیت ترافیک و خاموش نمودن کارخانجات صنعتی، کیفیت هوا زیر حد بهینه بود (68). به طور مشابه، آلودگی هوا در رابطه با ترافیک و کیفیت پایین آب در خلیج گوانابارا از مشکلات اساسی در ریودوژانیرو 2016 محسوب می شد (69). نظارت بر کیفیت هوا در بازی های زمستانی تورین 2006 نشان داد که غلظت بنزن هم در سطح شهر و هم در ارتفاع 1500 متری افزایش یافته که این موضوع با افزایش تردد وسایل نقلیه در دوره المپیک در ارتباط بوده است (70). تجربه این مشکلات در مسابقات المپیک، مسئولین ورزش را بر آن داشته تا برنامه ریزی های بهتری برای بازی های المپیک تاستانی بعدی در ژاپن 2020 داشته باشند و وعده کیفیت بهتر هوا را بدهند و این پیش بینی ها و افزایش سطح دانش در رابطه با شناخت آلاینده ها و اثرات آنها بر عملکرد تنفسی ورزشکاران احتمالاً باعث افزایش رفاه ورزشکاران شرکت کننده خواهد شد (71).

نوع ورزش و خطر آلودگی هوا

تجزیه و تحلیل اثرات پیش التهابی آلاینده های هوا در ورزشکاران با تأثیر خودبخودی ورزش بر التهاب راه های هوایی، به ویژه در ورزشکاران استقامتی پیچیده است (72, 73). اثرات شرایط محیطی و غلظت آلاینده ها در دوندگان آماتور قبل و بعد از اجرای مسابقات در زمان های مختلف سال بررسی شده است. اگرچه در طول مسابقات غلظت آلاینده زیر آستانه هشدار بود ولی غلظت ازون در تابستان بالاترین مقدار را داشت. نتایج نشان داد که آپوپتوز نوتروفیل های راه هوایی در دوندگان مستقیماً با غلظت آلاینده متناسب است، در حالی که آپوپتوز سلولهای اپیتلیال برونشی عمدتاً تحت تأثیر ورزش شدید قرار دارند (74). مطالعات بسیار کمی در مورد نشانگرهای التهاب راه هوایی در ورزشکاران در معرض آلاینده ها وجود دارد. در ورزشکاران غیر نخبه که به مدت 20 دقیقه در امتداد یک جاده دویده بودند، سطح بالای تولوئن خون، اتیل بنزن و زایلین پس از تمرین مشاهده گردید (75). کواکانتیه و همکاران گزارش دادند که pH چگالی هوای بازدی (EBC) پس از 5 روز در تمرینات دوندگان آماتور در محیط هوای تمیز (جنگل) افزایش یافته است، اما در افرادی که

برابر افزایش داده که این مورد معادل غلظت کربوکسی هموگلوبین ناشی از استعمال 10 نخ سیگار می باشد (58). یکی از نکات بسیار مهمی که ورزشکاران در اجرای مسابقات باید به آن توجه داشته باشند این است که مواجهه با گاز مونوکسید کربن منجر به کاهش رهایش اکسیژن از هموگلوبین و میوگلوبین خواهد شد که این کاهش اکسیژن در رقابت و فعالیت ورزشی بسیار تاثیر گذار است و قلب برای جبران این نقیصه بایستی با شدت بیشتری منقبض شود و تعداد ضربانش افزایش یابد که این موضوع منجر به کاهش اختلاط خون شریانی - وریدی و کاهش برونده قلبی شده و در نهایت حداکثر اکسیژن مصرفی (VO2max) و برونده کاری فرد را کاهش می دهد (59). در صورت مواجهه با هوای پاک به مدت 3-4 ساعت غلظت کربوکسی هموگلوبین خون کاهش می یابد (22). در یک مطالعه ثابت شده که غلظت کربوکسی هموگلوبین خون دوچرخه سواران استقامتی جاده با غلظت آن در افراد سیگاری قابل مقایسه بوده است (4-6 درصد) که منجر به کاهش بازدهی ورزشکاران می شود (52).

مارکرهای تشخیصی در افزایش غلظت کربوکسی هموگلوبین خون که منجر به افت چشمگیر کارایی ورزشکاران می شود مشتمل بر کاهش آستانه بی هوازی، حداکثر اکسیژن مصرفی (VO2max)، و افزایش قابل توجه در تعداد ضربان قلب و پالس اکسیژن می باشد (60). برای پیشگویی احتمال مسمومیت ورزشکاران با گاز مونوکسیدکربن از شاخص سرعت تشکیل کربوکسی هموگلوبین یا معادله CFK استفاده می گردد که روش بسیار کاربردی و کارآمد به شمار می آید (61). ورزشکارانی که به مدت یک ساعت با شدت بالا در فضای باز با غلظت مونوکسیدکربن معادل 20 ppm به فعالیت می پردازند غلظت کربوکسی هموگلوبین خنشان برابر با 1/6 درصد خواهد بود هم چنین مقادیر کربوکسی هموگلوبین معادل 2/7 درصد و بالاتر در خون ورزشکاران اختلالات رفتاری را بدنبال خواهد داشت (62).

مطالعات انجام شده روی افراد سالم و بیماران مبتلا به بیماری ایسکمیک قلب نشان می دهد که قرار گرفتن در معرض مخلوط حاوی مقدار کم CO می تواند مدت زمان ورزش را در افراد عادی (63) و در بیماران مبتلا به بیماری عروق کرونر و آژین حرکتی پایدار کاهش دهد (64). عملکرد ورزشی در بیماران COPD که به مدت 1 ساعت در معرض مقادیر ppm 100 از CO قرار داشتند نیز کاهش یافته است (65). انجام تمرینات قدرتی ثابت در افراد جوان با 85 درصد حداکثر اکسیژن مصرفی با قرار گرفتن در معرض مقادیر 9/18 ppm از CO به مدت 2 ساعت بر متغیرهای قلبی تنفسی تأثیر نمی گذارد، اما کاهش اکسیژن رسانی به عضلات باروش طیف سنجی مادون قرمز نزدیک (NIRS) اثبات شده است. چنین تأثیری تا حدی

ورزشکاران مبتلا به بیماریهای تنفسی بدنبال داشته و در نهایت منجر به وخامت بیماری این دسته از افراد می گردد (83). ورزشکاران بویژه ورزشکاران مبتلا به آسم بایستی از انجام ورزش در فصول گرم سال بویژه در ساعات نخستین بعدازظهر اجتناب نمایند یکی از این دلایل این است که این دسته از ورزشکاران به غلظت ازن بسیار حساس بوده و تجمع این گاز در ساعات نخستین بعدازظهر در تابستان بسیار بالاست. هم چنین به دلیل کاهش عملکرد تنفسی و متعاقب آن کاهش عملکرد بدنی ورزشکاران در مواجهه با گاز ازن، مسئولین برگزار کننده مسابقات ورزشی بایستی به این مهم توجه کافی داشته باشند و از برگزاری مسابقات در این ساعات ممانعت بعمل آورند. ورزشکاران آسمی به SO₂ حساسیت بالایی دارند و بایستی دور از مناطق و ساعات اوج آلودگی این آلاینده که منطبق بر مناطق و ساعات پرتراffیک است به اجرای ورزش بپردازند. نکته حائز اهمیت در این دسته از ورزشکاران با آسم زمینه ای این است که قبل از شرکت در مسابقات ورزشی از داروهای استنشاقی خود استفاده نمایند و حتما این داروها را در حین ورزش به منظور استفاده احتمالی به همراه داشته باشند هم چنین به ورزشکارانی که دچار حملات آسمی می گردند توصیه می گردد که علاوه بر رعایت زمان و مکان ورزش از نظر مواجهه شدن با حداقل غلظت آلاینده ها و تقلیل اثرات آن قبل از اجرای ورزش و مسابقات از داروهای تثبیت کننده Mast cell مانند کرومولین سدیم استنشاقی و در صورت ظهور علائم و حملات آسمی در حین ورزش از اسپری بتا آگونیست کوتاه اثر نظیر سالبوتامول استفاده نمایند (84).

در شرایط وارونگی دمایی اجتناب ورزشکاران بویژه ورزشکاران مبتلا به آسم از انجام فعالیت های ورزشی بویژه فعالیت ورزشی با شدت بالا در فضای باز امری ضروری می باشد و در صورت لزوم به انجام فعالیت در منزل یا سالن های ورزشی با تهویه مناسب بپردازند و قبل از انجام ورزش به توصیه های سازمانهای زیربند در خصوص کیفیت هوا توجه داشته باشند.

نظر به اینکه مواجهه حتی کوتاه مدت ورزشکاران با آلاینده مونوکسیدکربن کارایی تنفسی آنها را به شدت تحت تاثیر قرار می دهد بنابراین به ورزشکاران توصیه می گردد قبل از شرکت در مسابقات و تمرینات ورزشی از مواجهه با این گاز بویژه دود سیگار به شدت اجتناب ورزند و حتی المقدور از مناطق کم ترافیک به ورزشگاه انتقال داده شوند.

باتوجه به نقش های احتمالی ویتامین های C و E و A و بتاکاروتن در کاهش و تقلیل اثرات مضر آلاینده های محیطی بر سیستم تنفسی و عملکرد بدنی ورزشکاران، توجه به تغذیه صحیح حائز اهمیت بوده و ورزشکاران بایستی در رژیم غذایی خود از میوه و سبزیجات تازه استفاده نمایند و در صورت لزوم از مکمل بهره برند. البته ذکر این نکته ضروری است که این اثرات در مطالعات حیوانی به اثبات رسیده است و اعلام نظر قطعی در

در معرض آلودگی هوا (در خیابان) هستند اینگونه نبود، علاوه بر این، اختلال در کلیانس ترشحات مخاطی بینی اغلب بعد از خیابان در مقایسه با تمرینات جنگل رخ داده است (76). و آنها هیچ گونه تفاوتی در غلظتهای سرمی اینترلوکین-6 یا اینترلوکین-10 مشاهده نمودند، که نشانگر عدم وجود مارکرهای تشخیصی حساس و قابل اعتماد آسیب التهابی در ورزشکاران است (76). یک مطالعه در ورزشکاران دبیرستانی گزارش نموده است که هیچ تغییری در pH تنفس پس از ورزش در هوای تمیز و در شرایط با ازن بالا و با PM مشاهده نشده، اما pH تنفس در این گروه پایین تر از گروه کنترل بزرگسال بی تحرک بود (77). برخی از ورزشکاران هنگام تمرین به طور مداوم در معرض آلاینده ها و مواد تحریک کننده قرار دارند و ممکن است علائم تنفسی در آنها تشدید گردد. بهترین نمونه، شناگرانی می باشند که در استخرهای سرپوشیده در معرض مشتقات کلر قرار دارند و ورزشکارانی که در یخ فعالیت می نمایند هم چنین عرصه هایی (بازیکنان هاکی روی یخ، اسکیت بازان) که بازیکنان بطور ثانویه در فرآیند ذوب شدن یخ و مواجهه با ذرات کوچک CO یا NO₂ با عملکرد بد روبرو می شوند (78-80). البته فناوری برای کاهش میزان مواجهه با کلر بالا در استخرها در حال توسعه است (81). برخی از محققین اظهار داشته اند که حجم بالایی تمرین در ورزشکاران نخبه ممکن است طبقه بندی اختلال در راه هوایی را به عنوان یک بیماری شغلی توجیه کند (82).

بحث

بطور کلی فعالیت ورزشی به دور از منابع تولید کننده آلاینده های محیطی، مناطق تردد خودروها و در ساعاتی که ترافیک کم می باشد توصیه می گردد. با افزایش فاصله از منابع تولیدکننده آلاینده ها، غلظت بسیاری از آلاینده ها به صورت نمایی (exponential) کاهش می یابد (22). فعالیت ورزشی در پارک ها و در ساعاتی از شبانه روز که آلودگی هوا در کمترین میزان خود قرار دارد می تواند پیشنهاد مناسبی برای آن دسته از ورزشکارانی باشد که تمایل به شرکت در تمرینات ورزشی در فضای باز را دارند. ورزشکاران بایستی به این نکته توجه داشته باشند در صورتی که ناگزیر به اجرای مسابقات و تمرینات ورزشی در مناطق با آلودگی شدید هستند بایستی از غلظت ساعتی آلاینده ها اطلاع کافی داشته باشند تا اینکه بتوانند در ساعاتی از شبانه روز که غلظت آلاینده ها در آن مناطق در حداقل قرار دارد فعالیت نمایند و آثار این آلاینده ها را بر عملکرد بدنی به ویژه بر عملکرد تنفسی به حداقل برسانند. بهترین زمان ورزش برای ساکنین شهر تهران بویژه افراد مبتلا به بیماریهای قلبی ریوی، کودکان و افراد سالمند در ساعات ابتدایی روز و قبل از ساعت 7 صبح می باشد دلیل آن به سبب وجود حداقل غلظت آلاینده ها به ویژه ذرات معلق می باشد که این ذرات واکنش آلرژیک را در

کافی نیستند (86). در حالی که شواهدی مبنی بر اینکه ورزش باعث قرار گرفتن در معرض آلاینده ها می شود، وجود دارد. این احتمال که ورزشکاران خوب تمرین کرده ممکن است واجد سازوکارهای دفاعی محافظتی باشند، تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است. تمرین ورزشی با تغییرات پیش و ضد التهابی همراه است، و واکنش شدید به استرس اکسیداتیو در نتیجه تمرین ممکن است در محدود کردن آسیب های مربوط به آلودگی هوا نقش داشته باشد. در این رابطه باید مطالعات زیادی انجام شود، همچنین باید در ارتباط با آستانه آلاینده هوا که ممکن است بر عملکرد تأثیر بگذارد نیز دانش ما وسیع تر شود. البته به دلیل افزایش دانش در مورد خطرات سلامتی و اجرای اقدامات پیشگیرانه، کیفیت هوا در دهه های گذشته در سراسر جهان بهبود یافته است.

تضاد منافع: بدین وسیله نویسنده این مقاله تصریح می نماید که هیچ گونه تضاد منافی در خصوص مطالعه حاضر وجود ندارد

منابع

1. Brook JR, Setton EM, Seed E, Shooshtari M, Doiron D. The Canadian Urban Environmental Health Research Consortium—a protocol for building a national environmental exposure data platform for integrated analyses of urban form and health. *BMC public health* 14(1):18;2018.
2. Götschi T, de Nazelle A, Brand C, Gerike R, Consortium P. Towards a comprehensive conceptual framework of active travel behavior: a review and synthesis of published frameworks. *Current environmental health reports*. 2017;4(3):286-95.
3. Mueller N, Rojas-Rueda D, Basagaña X, Cirach M, Cole-Hunter T, Dadvand P, et al. Urban and transport planning related exposures and mortality: a health impact assessment for cities. *Environmental health perspectives*. 2016;125(1):89-96.
4. Arnesano M, Revel G, Seri F. A tool for the optimal sensor placement to optimize temperature monitoring in large sports spaces. *Automation in Construction*. 2016;68:223-34.
5. Hazucha MJ. Relationship between ozone exposure and pulmonary function changes. *Journal of Applied Physiology*. 1987;62(4):1671-80.

خصوص استفاده از این مکمل ها بر ورزشکاران نیاز به تحقیقات بیشتری دارد (22). اثر فعالیت ورزشی بر میزان نشست ذرات معلق در مجاری هوایی عمقی هنوز بطور کامل شناخته نشده است و در رابطه با افزایش میزان نشست این ذرات پس از ورود به مجاری هوایی تحتانی و خروج بوسیله جریان هوای بازدمی پاسخ روشنی داده نشده است (22). هم چنین با توجه به اینکه ورزشکارانی که در حاشیه جاده و مناطق پرتراфик به اجرای فعالیت استقامتی می پردازند در مواجهه با سرب قرار دارند از مواد حاوی کلسیم مانند شیر و گروه لبنیات استفاده نمایند تا اثرات مضر سرب بوسیله کلسیم خنثی شود (85). استفاده از ماسک های محافظ توسط ورزشکاران در کاهش اثرات زیانبار آلایندهای محیطی نقش بسزایی ایفا می نماید.

مشکل پیشگیری از تماس با آلاینده ها و عدم فعالیت در فضای باز به ویژه برای ورزشکاران تا به امروز برطرف نشده است و برگزاری مسابقات در بعضی مناطقی که کیفیت هوا هنوز از ایده آل فاصله دارد اجتناب ناپذیر است و راهکارها و برنامه های کمی برای پیشگیری از قرار گرفتن در معرض آلاینده ها وجود دارد و امکانات داخلی برای پوشش دهی نیازهای عظیم ورزشکاران

6. Carlisle A, Sharp N. Exercise and outdoor ambient air pollution. *British journal of sports medicine*. 2001;35(4):214-22.
7. Frampton MW. Systemic and cardiovascular effects of airway injury and inflammation: ultrafine particle exposure in humans. *Environmental health perspectives*. 2001;109(suppl 4):529-32.
8. Pierson WE, Covert DS, Koenig JQ, Namekata T, Kim YS. Implications of air pollution effects on athletic performance. *Atmospheric Environment* (1967). 1986;20(10):2033-8.
9. Vedal S, Kaufman JD. What does multi-pollutant air pollution research mean? : *American Thoracic Society*; 2011.
10. Dons E, Laeremans M, Orjuela JP, Avila-Palencia I, Carrasco-Turigas Gr, Cole-Hunter T, et al. Wearable sensors for personal monitoring and estimation of inhaled traffic-related air pollution: evaluation of methods. *Environmental science & technology*. 2017;51(3):1859-67.
11. Jerrett M, Donaire-Gonzalez D, Popoola O, Jones R, Cohen RC, Almanza E, et al. Validating novel air pollution sensors to improve exposure estimates for epidemiological analyses and citizen science. *Environmental research*. 2017;158:286-94.

12. Cromar KR, Gladson LA, Ghazipura M, Ewart G. Estimated Excess Morbidity and Mortality Associated with Air Pollution above American Thoracic Society–recommended Standards, 2013–2015. American Thoracic Society and Marron Institute Report. *Annals of the American Thoracic Society*. 2018;15(5):542-51.
13. Blair SN. Physical inactivity: the biggest public health problem of the 21st century. *British journal of sports medicine*. 2009;43(1):1-2.
14. Daigle CC, Chalupa DC, Gibb FR, Morrow PE, Oberdörster G, Utell MJ, et al. Ultrafine particle deposition in humans during rest and exercise. *Inhalation toxicology*. 2003;15(6):539-52.
15. Olvera HA, Perez D, Clague JW, Cheng Y-S, Li W-W, Amaya MA, et al. The effect of ventilation, age, and asthmatic condition on ultrafine particle deposition in children. *Pulmonary medicine*. 2012;2012.
16. Schleicher N, Norra S, Chen Y, Chai F, Wang S. Efficiency of mitigation measures to reduce particulate air pollution—a case study during the Olympic Summer Games 2008 in Beijing, China. *Science of the total environment*. 2012;427:146-58.
17. Rundell KW, Anderson SD, Sue-Chu M, Bougault V, Boulet LP. Air quality and temperature effects on exercise-induced bronchoconstriction. *Comprehensive Physiology*. 2011;5(2):579-610.
18. Lee K, Vallarino J, Dumyahn T, Ozkaynak H, Spengler JD. Ozone decay rates in residences. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 1999;49(10):1238-44.
19. Gong JH. Effects of ozone on exercise performance. *The Journal of sports medicine and physical fitness*. 1987;27(1):21-9.
20. Gomes EC, Stone V, Florida-James G. Investigating performance and lung function in a hot, humid and ozone-polluted environment. *European journal of applied physiology*. 2010;110(1):199-205.
21. Hazucha MJ. Relationship between ozone exposure and pulmonary function changes. *Journal of Applied Physiology*. 1987;62(4):1671-80.
22. Carlisle A, Sharp N. Exercise and outdoor ambient air pollution. *British journal of sports medicine*. 2001;35(4):214-22.
23. Folinsbee L, RAVEN P. Air pollution: acute and chronic effects. *Proceedings of Marathon Medicine* 2000. 2001.
24. Hazucha M, Madden M, Pape G, Becker S, Devlin R, Koren H, et al. Effects of cyclooxygenase inhibition on ozone-induced respiratory inflammation and lung function changes. *European journal of applied physiology and occupational physiology*. 1996;73(1-2):17-27.
25. McKenzie D, Stirling D, Fadl S, Allen M. The effects of salbutamol on pulmonary function in cyclists exposed to ozone: a pilot study. *Canadian journal of sport sciences= Journal canadien des sciences du sport*. 1987;12(1):46-8.
26. Rundell KW, Anderson SD, Sue-Chu M, Bougault V, Boulet LP. Air quality and temperature effects on exercise-induced bronchoconstriction. *Comprehensive Physiology*. 2011;5(2):579-610.
27. for Europe WRO. Review of evidence on health aspects of air pollution–REVIHAAP Project. 2013.
28. McDonnell WF, Stewart PW, Smith MV. The temporal dynamics of ozone-induced FEV₁ changes in humans: an exposure-response model. *Inhalation toxicology*. 2007;19(6-7):483-94.
29. McDonnell WF, Stewart PW, Smith MV, Kim CS, Schelegle ES. Prediction of lung function response for populations exposed to a wide range of ozone conditions. *Inhalation toxicology*. 2012;24(10):619-33
30. Schelegle ES, Morales CA, Walby WF, Marion S, Allen RP. 6.6-hour inhalation of ozone concentrations from 60 to 87 parts per billion in healthy humans. *American journal of respiratory and critical care medicine*. 2009;180(3):265-72.
31. Thaller EI, Petronella SA, Hochman D, Howard S, Chhikara RS, Brooks EG. Moderate increases in ambient PM_{2.5} and ozone are associated with lung function decreases in beach lifeguards. *Journal of occupational and environmental medicine*. 2008;50(2):202-11.
32. Nickmilder M, de Burbure C, Sylviane C, Xavier D, Alfred B, Alain D. Increase of exhaled nitric oxide in children exposed to low levels of ambient ozone. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*. 2007;70(3-4):270-4.
33. Berhane K, Zhang Y, Linn WS, Rappaport EB, Bastain TM, Salam MT, et al. The effect of

- ambient air pollution on exhaled nitric oxide in the Children's Health Study. *European Respiratory Journal*. 2011;37(5):1029-36.
34. Höpffe P, Peters A, Rabe G, Praml G, Lindner J, Jakobi G, et al. Environmental ozone effects in different population subgroups. *International journal of hygiene and environmental health*. 2003;206(6):505-16.
35. Colls J. Air pollution, an introduction. *Atmospheric Environment*. 2005;2(32):261.
36. Watt M, Godden D, Cherrie J. Individual exposure to particulate air pollution and its relevance to thresholds for health effects: a study of traffic wardens. *Occup Environ Med* 1995;52:790-2.
37. Grobler SR, Maresky LS, Kotze TJ. Lead reduction of petrol and blood lead concentration of athletes. *Arch Environ Health* 1992;47:139-42.
38. Atkinson G, Maclaren D, Taylor C. Blood levels of British competitive cyclists. *Ergonomics* 1994;37:43-8.
39. Frampton MW. Systemic and cardiovascular effects of airway injury and inflammation: ultrafine particle exposure in humans. *Environmental health perspectives*. 2001;109(suppl 4):529-32.
40. Mills NL, Törnqvist H, Gonzalez MC, Vink E, Robinson SD, Söderberg S, et al. Ischemic and thrombotic effects of dilute diesel-exhaust inhalation in men with coronary heart disease. *New England Journal of Medicine*. 2007;357(11):1075-82.
41. McCreanor J, Cullinan P, Nieuwenhuijsen MJ, Stewart-Evans J, Malliarou E, Jarup L, et al. Respiratory effects of exposure to diesel traffic in persons with asthma. *New England Journal of Medicine*. 2007;357(23):2348-58.
42. Sinharay R, Gong J, Barratt B, Ohman-Strickland P, Ernst S, Kelly FJ, et al. Respiratory and cardiovascular responses to walking down a traffic-polluted road compared with walking in a traffic-free area in participants aged 60 years and older with chronic lung or heart disease and age-matched healthy controls: a randomised, crossover study. *The Lancet*. 2018;391(10118):339-49.
43. Giles LV, Tebbutt SJ, Carlsten C, Koehle MS. The effect of low and high-intensity cycling in diesel exhaust on flow-mediated dilation, circulating NOx, endothelin-1 and blood pressure. *PLoS One*. 2018;13(2):e0192419.
44. Pollution HEIPotHEoT-RA. Traffic-related air pollution: a critical review of the literature on emissions, exposure, and health effects: Health Effects Institute; 2010.
45. Mueller N, Rojas-Rueda D, Cole-Hunter T, de Nazelle A, Dons E, Gerike R, et al. Health impact assessment of active transportation: a systematic review. *Preventive medicine*. 2015;76:103-14.
46. Laeremans M, Dons E, Avila-Palencia I, Carrasco-Turigas G, Orjuela JP, Anaya E, et al. Short-term effects of physical activity, air pollution and their interaction on the cardiovascular and respiratory system. *Environment international*. 2018;117:82-90.
47. Laeremans M, Dons E, Avila-Palencia I, Carrasco-Turigas G, Orjuela-Mendoza JP, Anaya-Boig E, et al. Black carbon reduces the beneficial effect of physical activity on lung function. *Med Sci Sports Exerc*. 2018;50(9).
48. Matt F, Cole-Hunter T, Donaire-Gonzalez D, Kubesch N, Martínez D, Carrasco-Turigas G, et al. Acute respiratory response to traffic-related air pollution during physical activity performance. *Environment international*. 2016;97:45-55.
49. Cole-Hunter T, de Nazelle A, Donaire-Gonzalez D, Kubesch N, Carrasco-Turigas G, Matt F, et al. Estimated effects of air pollution and space-time-activity on cardiopulmonary outcomes in healthy adults: A repeated measures study. *Environment international*. 2018;111:247-59.
50. Tainio M, de Nazelle AJ, Götschi T, Kahlmeier S, Rojas-Rueda D, Nieuwenhuijsen MJ, et al. Can air pollution negate the health benefits of cycling and walking? *Preventive Medicine*. 2016;87:233-6.
51. Lee K, Yanagisawa Y, Spengler JD, Nakai S. Carbon monoxide and nitrogen dioxide exposures in indoor ice skating rinks. *Journal of sports sciences*. 1994;12(3):279-83.
52. Pribyl CR, Racca J. Toxic gas exposures in ice arenas. *Clinical journal of sport medicine: official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*. 1996;6(4):232-6.
53. Air Quality Index, A guide to Air quality and your health[Online]. [Internet]. Air Quality Index. 2009.
54. Hesterberg TW, Bunn WB, McClellan RO, Hamade AK, Long CM, Valberg PA. Critical review of the human data on short-term nitrogen dioxide (NO₂) exposures: evidence for

- NO2 no-effect levels. Critical reviews in toxicology. 2009;39(9):743-81.
55. Andersen ZJ, De Nazelle A, Mendez MA, Garcia-Aymerich J, Hertel O, Tjønneland A, et al. A study of the combined effects of physical activity and air pollution on mortality in elderly urban residents: the Danish Diet, Cancer, and Health Cohort. *Environmental health perspectives*. 2015;123(6):557-63.
56. Pierson WE, Covert DS, Koenig JQ, Namekata T, Kim YS. Implications of air pollution effects on athletic performance. *Atmospheric Environment* (1967). 1986;20(10):2033-8.
57. Linn WS, Venet TG, Shamoo DA, Valencia LM, Anzar UT, Spier CE, et al. Respiratory effects of sulfur dioxide in heavily exercising asthmatics: a dose-response study. *American review of respiratory disease*. 1983;127(3):278-83.
58. Nicholson JP, Case DB. Carboxyhemoglobin levels in New York city runners. *The Physician and sportsmedicine*. 1983;11(3):134-8.
59. Ekblom B, Huot R, Stein E, Thorstenson AT. Effect of changes in arterial oxygen content on circulation and physical performance. *Journal of applied physiology*. 1975;39(1):71-5.
60. Hopkins M. Passive smoking as determined by salivary cotinine and plasma carboxyhaemoglobin levels in adults and school-aged children of smoking and non-smoking parents: eVects on physical fitness. *Ann Sports Med*. 1990;5:96-104.
61. Tikuisis P, Kane D, McLellan T, Buick F, Fairburn S. Rate of formation of carboxyhemoglobin in exercising humans exposed to carbon monoxide. *Journal of Applied Physiology*. 1992;72(4):1311-9.
62. Colls J. Air pollution, an introduction. *Atmospheric Environment*. 2005;2(32):261.
63. Koike A, Wasserman K. Effect of acute reduction in oxygen transport on parameters of aerobic function during exercise. *Annals of the Academy of Medicine, Singapore*. 1992;21(1):14-22.
64. Allred EN, Bleecker ER, Chaitman BR, Dahms TE, Gottlieb SO, Hackney JD, et al. Effects of carbon monoxide on myocardial ischemia. *Environmental Health Perspectives*. 1991;91:89-132.
65. Aronow WS, Ferlinz J, Glauser F. Effect of carbon monoxide on exercise performance in chronic obstructive pulmonary disease. *The American journal of medicine*. 1977;63(6):904-8.
66. Keramidis ME, Kounalakis SN, Eiken O, Mekjavic IB. Carbon monoxide exposure during exercise performance: muscle and cerebral oxygenation. *Acta Physiologica*. 2012;204(4):544-54.
67. Fitch K. Air pollution, athletic health and performance at the Olympic Games. *The Journal of sports medicine and physical fitness*. 2016;56(7-8):922-32.
68. Schleicher N, Norra S, Chen Y, Chai F, Wang S. Efficiency of mitigation measures to reduce particulate air pollution—a case study during the Olympic Summer Games 2008 in Beijing, China. *Science of the total environment*. 2012;427:146-58.
69. Gioda A, Ventura LMB, Ramos MB, Silva MPR. Half century monitoring air pollution in a Megacity: a case study of Rio de Janeiro. *Water, Air, & Soil Pollution*. 2016;227(3):86.
70. Bono R, Degan R, Pazzi M, Romanazzi V, Rovere R. Benzene and formaldehyde in air of two winter Olympic venues of “Torino 2006”. *Environment international*. 2010;36(3):269-75.
71. Donnelly AA, MacIntyre TE, O’Sullivan N, Warrington G, Harrison AJ, Igou ER, et al. Environmental influences on elite sport athletes well being: From gold, silver, and bronze to blue green and gold. *Frontiers in psychology*. 2016;7:1167.
72. Bonsignore MR, Morici G, Vignola A, Riccobono L, Bonanno A, Profita M, et al. Increased airway inflammatory cells in endurance athletes: what do they mean? *Clinical & Experimental Allergy*. 2003;33(1):14-21.
73. Giles LV, Koehle MS. The health effects of exercising in air pollution. *Sports Medicine*. 2014;44(2):223-49.
74. Chimenti L, Morici G, Paternò A, Bonanno A, Vultaggio M, Bellia V, et al. Environmental conditions, air pollutants, and airway cells in runners: a longitudinal field study. *Journal of sports sciences*. 2009;27(9):925-35.
75. Blair C, Walls J, Davies NW, Jacobson GA. Volatile organic compounds in runners near a roadway: increased blood levels after short-duration exercise. *British journal of sports medicine*. 2010;44(10):731-5.
76. de Sá MC, Nakagawa NK, de André CDS, Carvalho-Oliveira R, de Santana Carvalho T, Nicola ML, et al. Aerobic exercise in polluted urban environments: effects on airway defense

- mechanisms in young healthy amateur runners. *Journal of breath research*. 2016;10(4):046018.
77. Van Sickle D, Hunter E, Teague WG, Jill M Ferdinands*, Carol A Gotway Crawford², Roby Greenwald³. *Environmental Health*. 2008;7:10.
78. Brat K, Merta Z, Plutinsky M, Skrickova J, Stanek M. Ice hockey lung—a case of mass nitrogen dioxide poisoning in the Czech Republic. *Canadian respiratory journal*. 2013;20(6):e100-e3.
79. Creswell PD, Meiman JG, Nehls-Lowe H, Vogt C, Wozniak RJ, Werner MA, et al. Exposure to elevated carbon monoxide levels at an indoor ice arena—Wisconsin, 2014. *Morbidity and Mortality Weekly Report*. 2015;64(45):1267-70.
80. Rundell KW. Pulmonary function decay in women ice hockey players: is there a relationship to ice rink air quality? *Inhalation toxicology*. 2004;16(3):117-23.
81. Gomà A, de Lluís R, Roca-Ferrer J, Lafuente J, Picado C. Respiratory, ocular and skin health in recreational and competitive swimmers: Beneficial effect of a new method to reduce chlorine oxidant derivatives. *Environmental research*. 2017;152:315-21.
82. Price OJ, Ansley L, Menzies-Gow A, Cullinan P, Hull JH. Airway dysfunction in elite athletes—an occupational lung disease? *Allergy*. 2013;68(11):1343-52.
83. Mohaghegh Sh, Kordi R, Younesian M, Hajian M, Mohaghegh B. Safest exercise hours in Tehran based on air quality index values. Abstract book of 15th annual congress of Iranian society of physical medicine, rehabilitation and electrodiagnosis. Tehran: Pajuheshkadeye mohandesi va ollume pezeshti janbazan press. 1390:37-39.
84. Holzer K. Respiratory symptoms during exercise. In: Brukner P editor. *Brukner and Khan clinical sports medicine*. 4th ed. McGraw-Hill; 2012. P. 1049.
85. Whyand T, Hurst J, Beckles M, Caplin M. Pollution and respiratory disease: can diet or supplements help? A review. *Respiratory research*. 2018;19(1):79.
86. Li F, Liu Y, Lü J, Liang L, Harmer P. Ambient air pollution in China poses a multifaceted health threat to outdoor physical activity. *J Epidemiol Community Health*. 2015;69(3):201-4.