

指南与共识

空气污染与心血管疾病专家共识

国家心血管病中心空气污染与心血管疾病专家共识组

摘要

空气污染是全球性的严重公共卫生问题,也是对我国民众健康的严峻挑战。空气污染可增加心血管疾病发病及死亡风险,已成为一项重要且可干预的心血管疾病危险因素。空气污染导致的死亡主要为心血管疾病死亡。本共识汇总了国内外关于空气污染与心血管疾病的最新流行病学及临床研究证据,推荐室内使用清洁能源烹饪及采暖、在重污染天气佩戴符合国家标准的 N95 防护口罩等措施以降低个体对空气污染物的暴露水平。该共识为进一步加强医疗卫生人员对空气污染危害心血管健康的认识,帮助其开展健康宣教和确定未来科研方向,并为相关部门制定公共卫生政策提供参考。

关键词 空气污染;心血管疾病;心血管健康;专家共识

Chinese Expert Consensus on Air Pollution and Cardiovascular Disease

Chinese Expert Consensus Writing Group on Air Pollution and Cardiovascular Disease, National Center for Cardiovascular Diseases.

Corresponding Author: LI Jing, Email: jing.li@fwoxford.org

Abstract

Air pollution is a serious global public health problem and also a challenge to the health of Chinese people. Air pollution can increase the risk of the morbidity and mortality of cardiovascular diseases and which has become an important and interventionable risk factor of cardiovascular disease. The death caused by air pollution is mainly due to cardiovascular disease. This expert consensus summarized the latest domestic and international epidemiological and clinical research evidence on air pollution and cardiovascular disease, and proposed measures to reduce individual exposure to air pollutants, such as indoor use of clean energy for cooking and heating, and wearing N95 protective mask in heavy pollution weather, aiming to further strengthen the knowledge and understanding of medical and health personnel on the harm of air pollution to cardiovascular health, help them to carry out health education and determine the direction of future scientific research, and provide reference for relevant authorities to formulate targeted and feasible public health policies.

Key words air pollution; cardiovascular disease; cardiovascular health; expert consensus

(Chinese Circulation Journal, 2021, 36: 14.)

心血管疾病严重危害我国居民健康,其患病率目前仍处于持续上升阶段^[1]。为有效应对心血管疾病带来的严峻挑战,实施有效预防策略,干预和控制危险因素是重要手段之一。空气污染是全球关注的重要公共卫生问题。近年来,大量证据表明空气污染已成为一项重要的且可干预的心血管疾病危险因素。空气污染与心血管疾病的相关研究取得了许多进展。在回顾国内外最新的流行病学及临床研究

证据的同时,国家心血管病中心组织心血管病学、内分泌学、环境科学以及流行病学等领域专家,达成空气污染与心血管疾病专家共识,以进一步加强医疗卫生人员对空气污染危害心血管健康的认识,帮助其开展健康宣教和确定未来科研方向,并为相关部门制定公共卫生政策提供参考。在国际文献中,如果没有特别说明,心血管疾病概念通常涵盖脑血管疾病。本文与之保持一致。

基金项目:大气重污染成因与治理攻关项目(DQGG0521)

通信作者:李静 Email: jing.li@fwoxford.org

中图分类号:R54 文献标识码:C 文章编号:1000-3614(2021)01-0014-08 DOI: 10.3969/j.issn.1000-3614.2021.01.003

1 空气污染归因疾病负担

全球疾病负担研究 (GBD) 显示, 2017 年空气污染所导致的全球超额死亡人数高达 490 万人, 伤残调整寿命年 (DALYs) 约为 1.5 亿人年。其中, 460 万人死于颗粒物污染。颗粒物是最重要并且被研究得最充分的空气污染物。空气污染分为室外 (环境) 空气污染和室内空气污染, 室外空气污染导致的死亡约占总空气污染的 2/3^[2]。空气污染导致的疾病负担在中低收入国家尤为严重。2015 年, 全球 99% 的室内空气污染导致的死亡和 89% 的室外空气污染导致的死亡均发生在中低收入国家^[3]。空气污染既是全球性的严重公共卫生问题, 也是对我国民众健康的严峻挑战。2017 年, 颗粒物污染是我国居民死亡和 DALYs 的第四位危险因素, 仅次于收缩压升高、吸烟和高盐饮食。颗粒物污染每年导致我国 113 万人死亡, 导致的 DALYs 占比约 7%, 危害超过了高血糖、低密度脂蛋白胆固醇升高和体质指数升高^[4]。颗粒物污染导致的死亡近一半为心血管疾病死亡^[2]。

2 主要空气污染物的种类、来源及空气质量标准

空气污染物由颗粒物和气态污染物组成。颗粒物根据空气动力学当量直径分类, 空气动力学当量直径 $\leq 100 \mu\text{m}$ 的颗粒物统称为“总悬浮颗粒物” (TSP), 空气动力学当量直径 $\leq 10 \mu\text{m}$ 的颗粒物统称为“可吸入颗粒物” (PM₁₀), 空气动力学当量直径 $\leq 2.5 \mu\text{m}$ 的颗粒物统称为“细颗粒物” (PM_{2.5})^[5]。目前对于 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 研究最深入, 监测范围也最广泛。气态污染物包括氮氧化物, 如二氧化氮 (NO₂) 和一氧化氮 (NO)、臭氧 (O₃)、二氧化硫 (SO₂) 和一氧化碳 (CO) 等。部分气态污染物除了自身的毒性外, 还可发生复杂的光化学反应, 促进 PM_{2.5} 和 O₃ 的形成, 产生二次污染。

颗粒物导致的健康危害也与其化学组分有关。PM_{2.5} 的化学成分中, 对血压水平有重要影响的包括有机碳、元素碳、氯离子、氟离子、镍、锌、镁、铅和砷等, 对心血管生物标志物水平有重要影响的包括锌、钴、锰、硝酸根、氯离子、二次有机碳和铝等^[6-7]。

空气污染物的来源在不同地区间存在较大差异。在大城市, 工业和道路交通是造成污染物的主要来源; 而在乡村, 生物质燃烧、扬尘等是污染物的主要来源^[8]。我国颗粒物污染主要来源是扬尘、化石燃料燃烧、交通排放、生物质燃烧、工业排放和二次无机气溶胶。不同地理区域间存在差异。北部、东北部和中部的首位污染物来源是工业排放;

东部和西南部是二次无机气溶胶; 南部是交通排放; 西北部则是扬尘^[9]。

室内空气污染与室外大气污染密不可分。室内空气污染是对人类健康的严重威胁^[10-12]。研究表明, 2017 年全球有 164 万人死亡归因于室内空气污染^[2]。室内空气污染导致的健康损害大部分源自室外大气污染。部分室外大气污染物也可通过各种方式进入室内, 因此尽管人们大多数时间待在室内, 仍可受到大气污染物的影响。一项欧洲研究表明, 全球室内空气污染造成的疾病负担中, 有 60% 归因于室内和室外气体交换带来的 PM_{2.5} 污染^[13]。此外, 在室内烹饪、燃烧煤炭、吸烟等也是室内空气污染的重要来源^[10]。

世界卫生组织 (WHO) 制定了空气质量准则 (AQG) 值。此外, 还确定了过渡时期目标值 (IT), 旨在通过采取连续、持久的污染控制措施, 逐步实现空气质量的改善。过渡时期目标值有助于各国评价在逐步减少人群颗粒物暴露的艰难过程中所取得的进展^[8]。我国目前适用的《环境空气质量指数 (AQI) 技术规定 (试行)》(HJ 633-2012) 规定, 空气质量指数 > 100 为污染超标。其中, AQI 在 101~150 之间为“轻度污染”, 151~200 为“中度污染”, 201~300 之间为“重度污染”, 300 以上为“严重污染”^[14]。我国 AQI 清洁标准对应的各类污染物浓度符合 WHO 的过渡时期目标 -1。

3 空气污染与心血管疾病死亡

目前已证实, PM_{2.5} 和 PM₁₀ 浓度升高均可增加心血管疾病死亡风险。而且无论暴露水平高低, 这种关联关系都存在, 即使在 PM_{2.5} 浓度 $< 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 的极低水平也是如此。但在较低暴露水平和较高暴露水平的暴露 - 反应关系并不一致。与低浓度颗粒物暴露相比, 在高浓度暴露下, 颗粒物单位浓度增加产生的超额死亡的短期效应较弱。然而, 对于全因死亡和心血管死亡, 与低浓度颗粒物暴露相比, 在高浓度暴露下, 颗粒物单位浓度增加的慢性健康效应较强^[15-16]。

空气污染短期暴露即可显著增加心血管疾病的死亡风险。就全球范围而言, PM_{2.5} 短期暴露每增加 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 非意外全因死亡平均增加 1%, 心血管疾病死亡平均增加 0.8%^[17]。最近一项涵盖了包括我国在内的 24 个国家、PM_{2.5} 年平均浓度跨度从 $4.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 到 $116.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 的研究显示, 两天内 PM_{2.5} 平均水平每增加 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 每日心血管疾病死亡增加 0.55%, 而两天内 PM₁₀ 平均水平每增加 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 每日心

血管疾病死亡增加 0.36%^[18]。一项 Meta 分析汇总了来自我国 17 个城市的 36 项关于短期暴露效应的研究, PM2.5 浓度处于 39~177 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之间。研究发现 PM2.5 短期暴露每增加 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 非意外死亡增加 0.4%, 心血管疾病死亡增加 0.63%。而 PM10 短期暴露每增加 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 对应的非意外死亡和心血管疾病死亡都增加 0.36%^[19]。一项来自北京市的研究结果表明, 2010 年至 2012 年, 北京市 PM2.5 平均浓度 96.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 日均浓度每增加 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 当天因缺血性心脏病死亡增加 0.25%^[20]。一项包括了我国不同区域的 30 个县、PM2.5 浓度范围在 50.7~105.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的研究显示 PM2.5 浓度每增加 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 当天心血管疾病死亡增加 0.12%, 全因死亡增加 0.13%^[21]。NO₂ 对心血管疾病死亡的效应值与颗粒物相似。欧洲 30 个城市数据显示, NO₂ 短期暴露每增加 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 全因死亡增加 0.3%, 心血管疾病死亡增加 0.4%^[22]。我国 272 个城市的死亡数据显示, 2 天内 NO₂ 平均浓度每增加 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 非意外死亡和心血管疾病死亡均可增加 0.9%^[23]。CO 的 2 天平均浓度每增加 1 mg/m^3 可使心血管疾病死亡风险增加 1.12%, 但调整 PM2.5 浓度后不再有统计学意义^[24]。

空气污染长期累积产生的心血管疾病超额死亡更不容忽视。一项系统综述纳入 25 个国内外队列研究、随访时间为 3~35 年, Meta 分析显示 PM2.5 长期暴露每增加 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 全因死亡风险平均增加 6%, 心血管疾病死亡风险平均增加 11%^[25]。美国一项大型队列纳入超过 51 万人, 在 9 年的随访中, PM2.5 暴露每增加 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 心血管疾病死亡风险增加 10%^[26]。空气污染的危害在特定人群中作用更明显, 美国妇女健康行动 (Women's Health Initiative) 研究纳入超过 65 000 名绝经期妇女, 中位随访时间 6 年, 观察到 PM2.5 年均暴露浓度每增加 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 心血管疾病死亡风险增加 76%^[27]。由于我国缺乏 PM2.5 的历史监测数据, 我国早期的长期暴露研究主要关注总悬浮颗粒物和 PM10 的浓度。一项在我国 7 万名 40 岁以上男性中开展的研究显示, 在随访的 9 年内, PM10 长期暴露每增加 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 全因死亡风险增加 1.6%, 心血管疾病死亡风险增加 1.8%^[28]。基于中国高血压流行病学随访研究覆盖 31 个城市约 7 万人的数据分析发现, 在随访的 9 年期间, 总悬浮颗粒物、SO₂ 和氮氧化物每增加 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 心血管疾病死亡分别增加 0.9%, 3.2% 和 2.3%^[29]。一项来自中国北方四个城市的回顾性队列纳入约 4 万名社区居民, 随

访 12 年, PM10 年均暴露浓度每增加 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 全因死亡和心血管疾病死亡风险分别增加 24% 和 23%^[30]。中国香港老年人 (65 岁及以上) 队列长期随访发现, 在随访的 13 年时间内 PM2.5 长期暴露浓度每增加 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 全因死亡风险增加 14%, 心血管疾病死亡风险增加 22%, 其中冠心病死亡相对风险增加 42%, 脑血管疾病死亡相对风险增加 24%^[31]。一项前瞻队列纳入来自我国 45 个地区的约 19 万名 40 岁及以上男性, 在研究开展的 15 年期间, PM2.5 长期暴露浓度每增加 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 心血管疾病死亡风险增加 9%^[32]。最新的一项在我国 15 个省约 12 万自然人群中开展的前瞻性队列中国动脉粥样硬化性心血管疾病风险预测 (China-PAR) 研究发现, PM2.5 年均浓度每增加 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 心血管疾病死亡风险增加 16%^[16]。我国关于大气污染长期暴露的研究数据还不够充分, 但近年来关于 PM2.5 的研究提示, 我国人群中, PM2.5 长期暴露增加心血管疾病死亡风险的作用可能强于欧美人群。

一项在我国 5 个农村地区开展的大型队列研究对 27 万余人平均随访 8 年, 发现使用固体燃料 (煤、柴、炭) 烹饪和取暖分别使全因死亡风险增加 11% 和 14%, 分别使心血管疾病死亡风险增加 20% 和 29%。与一直使用固体燃料者相比, 转换为清洁能源 (天然气、电或集中供暖) 者全因死亡和心血管疾病死亡风险都降低。在使用固体燃料者中, 炉子能通风排烟者也比不能排烟者全因和心血管疾病死亡风险都降低^[33]。

4 空气污染与心血管疾病发病

研究发现, 空气污染与各类心血管疾病发病风险增加相关, 主要包括冠心病、心力衰竭、脑卒中、心律失常。空气污染导致心血管疾病的病理生理机制主要包括六个方面, 一是炎症反应、氧化应激反应及血管内皮功能紊乱; 二是血液高凝状态及血栓形成; 三是血压升高、动脉粥样硬化及心脏重构; 四是自主神经调节功能紊乱; 五是心脏电生理改变及心律失常; 六是代谢综合征及胰岛素抵抗^[34-36]。

4.1 冠心病

空气污染和心血管疾病的关系中, 研究最充分、证据最为确凿的是冠心病。空气污染增加致死性和非致死性冠心病的风险。一项 Meta 分析纳入 34 项研究, 报告 PM2.5 短期暴露浓度每增加 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 急性心肌梗死发病风险增加 2.5%。此外, CO、NO₂ 和 SO₂ 浓度升高也与急性心肌梗死发病风险增加相关, 但 O₃ 浓度与急性心肌梗死发病风险无关^[37]。来自

我国常州的一项研究显示 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 短期暴露浓度每增加 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 急性心肌梗死发病风险分别增加 1.6% 和 0.8%, 但该研究并未观察到 NO₂、SO₂ 和 O₃ 短期暴露增加急性心肌梗死发病风险^[38]。一项来自北京的研究显示, PM_{2.5} 短期暴露浓度每增加 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 每日因心肌梗死住院的患者增加 0.46%^[39]。此外, PM_{2.5} 短期暴露也与因冠心病导致的急诊就诊人数增加相关^[40]。美国妇女健康行动研究显示 PM_{2.5} 年均暴露浓度每增加 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 绝经期妇女在 6 年随访期间致死性和非致死性冠心病风险增加 21%, 但 PM₁₀ 无显著影响^[27]。ESCAPE 研究对欧洲的 11 项队列研究进行 Meta 分析, 共纳入超过 10 万名研究对象, 中位随访时长 11.5 年, 结果表明 PM_{2.5} 年均暴露浓度每增加 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 冠心病风险增加 13%, PM₁₀ 年均暴露浓度每增加 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 冠心病风险增加 12%^[41]。一项基于我国 12 万成年人平均随访 8 年的前瞻性研究显示, PM_{2.5} 年均暴露浓度每增加 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 冠心病风险增加 43%^[42]。

4.2 心力衰竭

空气污染短期暴露可增加心力衰竭住院和死亡风险。一项涵盖 35 项研究的 Meta 分析显示, 颗粒物污染和多种气态污染物短期暴露都可增加心力衰竭住院或死亡的风险。PM_{2.5} 和 PM₁₀ 短期暴露浓度每增加 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 导致心力衰竭住院或死亡风险分别增加 2.1% 和 1.6%。此外, CO 浓度每增加 1.25 mg/m^3 , 风险增加 3.5%; SO₂ 浓度每增加 28.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 风险增加 2.4%; NO₂ 浓度每增加 20.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 风险增加 1.7%, 但 O₃ 与心力衰竭住院或死亡无关。有慢性心力衰竭病史或合并高血压、心律失常的患者在暴露于空气污染时发生心力衰竭住院或死亡的风险更高^[43]。我国一项研究纳入来自 26 个大城市的超过 10 万例慢性心力衰竭住院患者, 分析了各种空气污染物与心力衰竭住院的关联关系。PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂ 和 CO 浓度每升高一个四分位(依次为 47.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、76.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、22.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、24.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、0.56 mg/m^3), 当天心力衰竭住院事件风险分别增加 1.2%、1.3%、1.0%、1.6% 和 1.2%。但这项研究未观察到 O₃ 的短期暴露与心力衰竭住院或死亡相关^[44]。另外一项北京的研究显示, PM_{2.5} 短期暴露浓度每增加 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 当天心力衰竭住院事件数增加 0.35%^[45]。然而, 目前尚不清楚空气污染长期暴露对心力衰竭的影响。

4.3 脑卒中

空气污染增加脑卒中住院和死亡的风险。一项系统综述纳入来自 28 个国家的 94 项研究, 显

示 PM_{2.5}、PM₁₀ 短期暴露浓度每增加 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 脑卒中住院及死亡风险分别增加 1.1% 和 0.3%。SO₂、NO₂ 和 CO 短期暴露也增加脑卒中住院和死亡的风险, 但 O₃ 的作用很微弱^[46]。美国妇女健康行动研究发现, PM_{2.5} 年均暴露浓度每增加 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 绝经期妇女脑卒中 6 年发病风险增加 28%^[27]。ESCAPE 研究显示, 在 16 年的研究期间, 老年亚组和非吸烟亚组中 PM_{2.5} 长期暴露增加脑卒中发病风险, 在总体人群中观察到此趋势, 但结果无统计学意义^[47]。一项来自沈阳的回顾性队列研究显示, 在 12 年的研究期间内, PM₁₀ 和 NO₂ 年均暴露浓度每增加 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 脑血管疾病死亡风险分别增加 49% 和 144%^[48]。我国 China-PAR 研究对包含南北方近 12 万成年人的前瞻性队列随访 16 年, 显示 PM_{2.5} 年平均浓度每升高 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 脑卒中发病风险增加 13%, 其中缺血性脑卒中和出血性脑卒中发病风险分别增加 20% 和 12%^[49]。

4.4 心律失常

空气污染与心律失常的关系尚不明确, 相关研究的结论并不一致。近年来一些研究报告空气污染增加心房颤动的发生风险。两项研究通过对埋藏式心律转复除颤器植入患者进行心房颤动监测发现, PM_{2.5} 短期暴露当天, 阵发性心房颤动发生率显著增加^[50-51]。一项 Meta 分析纳入 4 项研究, 合计超过 46 万人, 显示气态及颗粒污染物短期暴露与心房颤动的风险增加显著相关^[52]。一项韩国队列纳入超过 43 万无心房颤动的人群, 平均随访时长接近 4 年, 发现 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 年均暴露浓度每增加 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 心房颤动发生风险将分别增加 17.9% 和 3.4%, SO₂、NO₂ 和 CO 也可增加心房颤动的发生风险, 分别为 0.5%、1.1% 和 1.7%^[53]。但也有研究显示心房颤动与空气污染不相关。美国的一项研究纳入 10 457 例心房颤动住院患者, 显示 PM_{2.5} 短期暴露与心房颤动住院事件的关联无统计学意义^[54]。另外一项 Meta 分析纳入 15 项研究, 报告颗粒物和 O₃ 短期暴露增加院外心跳骤停风险。PM_{2.5}、PM₁₀ 和 O₃ 短期暴露浓度每增加 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 院外心跳骤停的发生风险分别增加 2.1% 和 4.1% 和 1.6%^[55]。此外, 也有其他研究报告空气污染与室性心律失常相关, 但证据尚不充分^[36]。

5 空气污染和心血管疾病危险因素

空气污染与一些重要的心血管疾病危险因素存在关联。国内外大量研究已证实 PM_{2.5} 暴露使血压升高。PM_{2.5} 短期暴露浓度每增加 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 几天内

收缩压和舒张压可升高 1~3 mmHg (1 mmHg=0.133 kPa)^[36]。此外,空气污染长期暴露与高血压发病相关。中国台湾的一项队列纳入 13 万成年人,平均随访近 5 年,结果显示 PM_{2.5} 年均浓度每下降 5 μg/m³, 高血压的发病风险下降 16%^[56]。中国一项大型前瞻性队列随访证据表明,大气 PM_{2.5} 长期暴露与中国成人高血压和糖尿病发病风险增加有关,在平均随访 6 年多的研究期间,PM_{2.5} 浓度每升高 10 μg/m³, 高血压和糖尿病发病风险分别增加 11% 和 16%^[57-58]。随机对照试验也证实,与吸入过滤后的空气相比,吸入含污染物的空气使血压升高^[59-61]。另外一些研究表明空气污染会促进胰岛素抵抗,增加 2 型糖尿病的发病风险。对中外 16 项研究进行 Meta 分析发现,PM_{2.5} 长期暴露浓度每增加 10 μg/m³, 2 型糖尿病发病风险增加 11%^[62]。大气污染物长期暴露与老年人超重或肥胖、高血压和高甘油三酯血症存在正相关关系,在男性和 65 岁以上人群中,空气污染 3 年内的长期暴露与高血糖呈正相关^[63]。此外,有一些关于空气污染与慢性肾脏病和呼吸睡眠暂停综合征的研究,但证据尚不充分。

6 空气污染个体防护措施

采取有效个人防护措施可以降低个体水平的污染物暴露水平。自 2008 年以来,陆续有十余项小规模交叉随机对照临床试验,对采取个体防护措施减轻心血管损害的效果进行评价,其中也包括几项我国的研究^[36, 64-67]。这些研究所评价的个体防护措施主要分为两类:空气净化器和口罩,干预时长从数小时到数周不等。全部研究均采用心血管疾病相关的替代终点,包括血压、心率及其变异性、心电图改变、微血管血流和功能、内皮功能、炎症标志物、凝血功能标志物和代谢产物、呼出气体中反映氧化应激的指标等。不同研究中本底空气污染水平和干预措施不同,达到的效果也不尽相同。一般而言,采取个体防护措施可有效降低个体空气污染暴露水平至本底水平的一半左右,有些研究中替代终点得到改善,但各项研究的结论并不完全一致。目前尚无评价个人防护措施对预防主要心血管事件等临床结局作用的随机对照研究。

此外,一项随机对照临床试验在上海 65 名健康大学生中研究服用鱼油对空气污染导致心血管损害的保护作用。结果显示鱼油组与安慰剂相比,一些与 PM_{2.5} 短期暴露相关的生物标志物发生有益的变化,包括炎症、凝血、内皮功能、氧化应激和神经内分泌等方面。提示服用鱼油可能减轻 PM_{2.5} 导

致的心血管损害^[68]。

7 建议

降低空气污染最根本的措施是消除或减少污染源的排放,这需要社会各界的共同努力。2013 年以来,我国先后发布并实施了《大气污染防治行动计划》和《蓝天保卫战三年行动计划》,环境空气质量持续改善,2017 年,全国地级及以上城市 PM₁₀ 平均浓度比 2013 年下降 22.7%;京津冀、长三角、珠三角等重点区域 PM_{2.5} 平均浓度分别比 2013 年下降 39.6%、34.3%、27.7%;北京市 PM_{2.5} 年均浓度降至 58 μg/m³^[69],重污染天数明显减少,公众的蓝天获得感和幸福感不断增加,也降低了大气污染对公众健康的影响。尽管如此,现阶段我国京津冀及周边、汾渭平原和长江三角洲地区大气污染仍然比较严重,需要持续开展大气污染防治。

医务人员应积极宣传关于空气污染与心血管疾病的科普知识,提高公众的环保意识,同时积极为政府环保政策、公共卫生政策建言献策,并指导个体采取相应的措施,降低个体对空气污染物的暴露水平,减轻空气污染造成的心血管损害。

推荐

- 室内使用清洁能源烹饪及采暖,推荐使用符合国家标准的抽油烟机,以减少烹饪油烟在室内扩散。
- 避免在主要交通道路及车流密集街道上骑车或步行,特别是在交通高峰时段。
- 避免在交通繁忙地段进行体育锻炼,体育锻炼应在公园或大面积绿地内进行。
- 在重污染天气,应尽量避免室内外通风,并尽量减少在户外的时间,在户外时应佩戴符合国家标准的 N95 防护口罩(可以滤过阻挡 95% 的 PM_{2.5})。
- 在重污染地区,家庭可以安装符合国家标准的新风系统或使用符合国家标准的高效过滤滤芯的空气净化器。

有效减少空气污染对心血管疾病的影响需要科学研究证据的支撑,此领域亟需开展更多更深入的研究。近年来,我国关于空气污染对心血管疾病发病及死亡影响的研究数量快速增长,但主要集中于研究短期暴露的效应,关于空气污染长期暴露对心血管疾病发病及死亡影响的认识尚有待进一步深入,对其作用机制、影像表现等认识尚不充

分。此外,我们需要开展高质量的前瞻性随机对照临床研究,对个体防护措施的保护作用予以科学评价。大量研究证实即使在低于空气质量准则值的范围内,污染物浓度升高与心血管疾病发病和死亡风险增加相关。但我们不大可能一直使用空气净化器、N95 口罩等防护措施,那么在污染物处于什么暴露水平时使用这些防护措施具有较好的健康效果和经济效益?如何根据污染物浓度采取适宜的运动强度?期待高质量的流行病学研究和临床研究能为减轻空气污染导致的健康损害提供更多科学证据。

执笔人:李镒冲、刘佳敏、李静

专家共识组成员(按姓氏拼音排序):

毕宇芳(上海交通大学医学院附属瑞金医院),蔡军(国家心血管病中心,中国医学科学院阜外医院),曹丰(中国人民解放军总医院),柴发合(中国环境科学研究院),陈纪言(广东省人民医院),陈绍良(南京市第一医院),陈韵岱(中国人民解放军总医院),程翔(华中科技大学同济医学院附属协和医院),邓芙蓉(北京大学公共卫生学院),杜昕(首都医科大学附属北京安贞医院),高传玉(河南省人民医院),高志贤(军事科学院军事医学研究院环境医学与作业医学研究所),顾东风(国家心血管病中心,中国医学科学院阜外医院),韩雅玲(中国人民解放军北部战区总医院),阚海东(复旦大学公共卫生学院),李光伟(国家心血管病中心,中国医学科学院阜外医院),李静(国家心血管病中心,中国医学科学院阜外医院),李镒冲(中国医学科学院阜外医院深圳医院),刘芳超(国家心血管病中心,中国医学科学院阜外医院),刘佳敏(国家心血管病中心,中国医学科学院阜外医院),鲁向锋(国家心血管病中心,中国医学科学院阜外医院),马长生(首都医科大学附属北京安贞医院),潘小川(北京大学公共卫生学院),施小明(中国疾病预防控制中心环境与健康相关产品安全所),孙英贤(中国医科大学附属第一医院),孙志伟(首都医科大学公共卫生学院),汤乃军(天津医科大学),唐熠达(北京大学第三医院),陶凌(空军军医大学),万霞(中国医学科学院基础医学研究所),王继光(上海交通大学医学院附属瑞金医院),王伊龙(首都医科大学附属北京天坛医院),王拥军(首都医科大学附属北京天坛医院),吴少伟(西安交通大学公共卫生学院),吴永健(国家心血管病中心,中国医学科学院阜外医院),徐东群(中国疾病预防控制中心环境与健康相关产品安全所),杨新春(首都医科大学附属北京朝阳医院),杨艳敏(国家心血管病中心,中国医学科学院阜外医院),于波(哈尔滨医科大学附属第二医院),张海澄(北京大学人民医院),张健(国家心血管病中心,中国医学科学院阜外医院),张抒扬(北京协和医院),张澍(国家心血管病中心,中国医学科学院阜外医院),赵冬(首都医科大学附属北京安贞医院)。

利益冲突:所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

[1] 中国心血管健康与疾病报告编写组. 中国心血管健康与疾病报告

2019 概要[J]. 中国循环杂志, 2020, 35(9): 833-854. DOI: 10. 3969/j. issn. 1000-3614. 2020. 09. 001.

- [2] GBD 2017 Risk Factor Collaborators. Global, regional, and national comparative risk assessment of 84 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks for 195 countries and territories, 1990-2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017[J]. Lancet, 2018, 392(10159): 1923-1994. DOI: 10. 1016/s0140-6736(18)32225-6.
- [3] Landrigan PJ, Fuller R, Acosta NJR, et al. The Lancet commission on pollution and health[J]. Lancet, 2018, 391(10119): 462-512. DOI: 10. 1016/s0140-6736(17)32345-0.
- [4] Zhou M, Wang H, Zeng X, et al. Mortality, morbidity, and risk factors in China and its provinces, 1990-2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017[J]. Lancet, 2019, 394(10204): 1145-1158. DOI: 10. 1016/s0140-6736(19)30427-1.
- [5] 中华人民共和国生态环境部. GB3095-2012 环境空气质量标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2018.
- [6] Wu S, Deng F, Huang J, et al. Blood pressure changes and chemical constituents of particulate air pollution: results from the Healthy Volunteer Natural Relocation (HVNR) study[J]. Environ Health Persp, 2013, 121(1): 66-72. DOI: 10. 1289/ehp. 1104812.
- [7] Wu S, Deng F, Wei H, et al. Association of cardiopulmonary health effects with source-appointed ambient fine particulate in Beijing, China: a combined analysis from the Healthy Volunteer Natural Relocation (HVNR) study[J]. Environ Sci Technol, 2014, 48(6): 3438-3448. DOI: 10. 1021/es404778w.
- [8] World Health Organization. WHO air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide-Global update 2005[EB/OL]. Geneva: WHO, 2005(2005-10-20) [2020-07-21]. https://www.who.int/airpollution/publications/aqg_2005/en/.
- [9] Zhu Y, Huang L, Li J, et al. Sources of particulate matter in China: Insights from source apportionment studies published in 1987-2017[J]. Environ Int, 2018, 115: 343-357. DOI: 10. 1016/j. envint. 2018. 03. 037.
- [10] Tran VV, Park D, Lee YC. Indoor air pollution, related human diseases, and recent trends in the control and improvement of indoor air quality[J]. Int J Clin Exp Med, 2020, 17(8): 2927. DOI: 10. 3390/ijerph17082927.
- [11] Pratiti R, Vadala D, Kalynych Z, et al. Health effects of household air pollution related to biomass cook stoves in resource limited countries and its mitigation by improved cookstoves[J]. Environ Res, 2020, 186: 109574. DOI: 10. 1016/j. envres. 2020. 109574.
- [12] Baloch RM, Maesano CN, Christoffersen J, et al. Indoor air pollution, physical and comfort parameters related to schoolchildren's health: Data from the European SINPHONIE study[J]. Sci Total Environ, 2020, 739: 139870. DOI: 10. 1016/j. scitotenv. 2020. 139870.
- [13] Milner J, Chalabi Z, Vardoulakis S, et al. Housing interventions and health: quantifying the impact of indoor particles on mortality and morbidity with disease recovery[J]. Environ Int, 2015, 81: 73-79. DOI: 10. 1016/j. envint. 2015. 04. 011.
- [14] 中华人民共和国生态环境部. HJ 633—2012 环境空气质量指数(AQI)技术规范(试行)[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2012.
- [15] Yang X, Liang F, Li J, et al. Associations of long-term exposure to ambient PM with mortality in Chinese adults: a pooled analysis of cohorts in the China-PAR project[J]. Environ Int, 2020, 138: 105589. DOI: 10. 1016/j. envint. 2020. 105589.

- [16] Liang F, Liu F, Huang K, et al. Long-term exposure to fine particulate matter and cardiovascular disease in China[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2020, 75(7): 707-717. DOI: 10.1016/j.jacc.2019.12.031.
- [17] Atkinson RW, Kang S, Anderson HR, et al. Epidemiological time series studies of PM_{2.5} and daily mortality and hospital admissions: a systematic review and meta-analysis[J]. *Thorax*, 2014, 69(7): 660-665. DOI: 10.1136/thoraxjnl-2013-204492.
- [18] Liu C, Chen R, Sera F, et al. Ambient particulate air pollution and daily mortality in 652 cities[J]. *N Engl J Med*, 2019, 381(8): 705-715. DOI: 10.1056/NEJMoa1817364.
- [19] Lu F, Xu D, Cheng Y, et al. Systematic review and meta-analysis of the adverse health effects of ambient PM_{2.5} and PM₁₀ pollution in the Chinese population[J]. *Environ Res*, 2015, 136: 196-204. DOI: 10.1016/j.envres.2014.06.029.
- [20] Xie W, Li G, Zhao D, et al. Relationship between fine particulate air pollution and ischaemic heart disease morbidity and mortality[J]. *Heart*, 2015, 101(4): 257-263. DOI: 10.1136/heartjnl-2014-306165.
- [21] Chen C, Zhu P, Lan L, et al. Short-term exposures to PM_{2.5} and cause-specific mortality of cardiovascular health in China[J]. *Environ Res*, 2018, 161: 188-194. DOI: 10.1016/j.envres.2017.10.046.
- [22] Samoli E, Aga E, Touloumi G, et al. Short-term effects of nitrogen dioxide on mortality: an analysis within the APHEA project[J]. *Eur Respir J*, 2006, 27(6): 1129-1138. DOI: 10.1183/09031936.06.00143905.
- [23] Chen R, Yin P, Meng X, et al. Associations between ambient nitrogen dioxide and daily cause-specific mortality: evidence from 272 Chinese Cities[J]. *Epidemiology*, 2018, 29(4): 482-489. DOI: 10.1097/ede.0000000000000829.
- [24] Liu C, Yin P, Chen R, et al. Ambient carbon monoxide and cardiovascular mortality: a nationwide time-series analysis in 272 cities in China[J]. *Lancet Planet Health*, 2018, 2(1): e12-e18. DOI: 10.1016/s2542-5196(17)30181-x.
- [25] Hoek G, Krishnan RM, Beelen R, et al. Long-term air pollution exposure and cardio-respiratory mortality: a review[J]. *Environ Health*, 2013, 12(1): 43. DOI: 10.1186/1476-069x-12-43.
- [26] Thurston GD, Ahn J, Cromar KR, et al. Ambient particulate matter air pollution exposure and mortality in the NIH-AARP diet and health cohort[J]. *Environ Health Persp*, 2016, 124(4): 484-490. DOI: 10.1289/ehp.1509676.
- [27] Miller KA, Siscovick DS, Sheppard L, et al. Long-term exposure to air pollution and incidence of cardiovascular events in women[J]. *New Engl J Med*, 2007, 356(5): 447-458. DOI: 10.1056/NEJMoa054409.
- [28] Zhou M, Liu Y, Wang L, et al. Particulate air pollution and mortality in a cohort of Chinese men[J]. *Environ Pollut*, 2014, 186: 1-6. DOI: 10.1016/j.envpol.2013.11.010.
- [29] Cao J, Yang C, Li J, et al. Association between long-term exposure to outdoor air pollution and mortality in China: a cohort study[J]. *J Hazard Mater*, 2011, 186: 1594-1600. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2010.12.036.
- [30] Zhang LW, Chen X, Xue XD, et al. Long-term exposure to high particulate matter pollution and cardiovascular mortality: a 12-year cohort study in four cities in northern China[J]. *Environ Int*, 2014, 62: 41-47. DOI: 10.1016/j.envint.2013.09.012.
- [31] Wong CM, Lai HK, Tsang H, et al. Satellite-based estimates of long-term exposure to fine particles and association with mortality in elderly Hong Kong residents[J]. *Environ Health Perspect*, 2015, 123(11): 1167-1172. DOI: 10.1289/ehp.1408264.
- [32] Yin P, Brauer M, Cohen A, et al. Long-term fine particulate matter exposure and nonaccidental and cause-specific mortality in a large national cohort of Chinese men[J]. *Environ Health Perspect*, 2017, 125(11): 117002. DOI: 10.1289/ehp1673.
- [33] Yu K, Qiu G, Chan KH, et al. Association of solid fuel use with risk of cardiovascular and all-cause mortality in rural China[J]. *JAMA*, 2018, 319(13): 1351-1361. DOI: 10.1001/jama.2018.2151.
- [34] Cosselman KE, Navas-Acien A, Kaufman JD. Environmental factors in cardiovascular disease[J]. *Nat Rev Cardiol*, 2015, 12(11): 627-642. DOI: 10.1038/nrcardio.2015.152.
- [35] Newby DE, Mannucci PM, Tell GS, et al. Expert position paper on air pollution and cardiovascular disease[J]. *Eur Heart J*, 2015, 36(2): 83-93b. DOI: 10.1093/eurheartj/ehu458.
- [36] Rajagopalan S, Al-Kindi SG, Brook RD. Air pollution and cardiovascular disease: JACC state-of-the-art review[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2018, 72(17): 2054-2070. DOI: 10.1016/j.jacc.2018.07.099.
- [37] Mustafic H, Jabre P, Caussin C, et al. Main air pollutants and myocardial infarction: a systematic review and meta-analysis[J]. *JAMA*, 2012, 307(7): 713-721. DOI: 10.1001/jama.2012.126.
- [38] Yu Y, Yao S, Dong H, et al. Short-term effects of ambient air pollutants and myocardial infarction in Changzhou, China[J]. *Environ Sci Pollut Res Int*, 2018, 25(22): 22285-22293. DOI: 10.1007/s11356-018-2250-5.
- [39] Wu Y, Li M, Tian Y, et al. Short-term effects of ambient fine particulate air pollution on inpatient visits for myocardial infarction in Beijing, China[J]. *Environ Sci Pollut Res Int*, 2019, 26(14): 14178-14183. DOI: 10.1007/s11356-019-04728-8.
- [40] Xu Q, Wang S, Guo Y, et al. Acute exposure to fine particulate matter and cardiovascular hospital emergency room visits in Beijing, China[J]. *Environ Pollut*, 2017, 220(Pt A): 317-327. DOI: 10.1016/j.envpol.2016.09.065.
- [41] Cesaroni G, Forastiere F, Stafoggia M, et al. Long term exposure to ambient air pollution and incidence of acute coronary events: prospective cohort study and meta-analysis in 11 European cohorts from the ESCAPE project[J]. *BMJ*, 2014, 348: f7412. DOI: 10.1136/bmj.f7412.
- [42] Li J, Liu F, Liang F, et al. Long-term effects of high exposure to ambient fine particulate matter on coronary heart disease incidence: a population-based Chinese cohort study[J]. *Environ Sci Technol*, 2020, 54(11): 6812-6821. DOI: 10.1021/acs.est.9b06663.
- [43] Shah AS, Langrish JP, Nair H, et al. Global association of air pollution and heart failure: a systematic review and meta-analysis[J]. *Lancet*, 2013, 382(9897): 1039-1048. DOI: 10.1016/s0140-6736(13)60898-3.
- [44] Liu H, Tian Y, Song J, et al. Effect of ambient air pollution on hospitalization for heart failure in 26 of China's largest cities[J]. *Am J Cardiol*, 2018, 121(5): 628-633. DOI: 10.1016/j.amjcard.2017.11.039.
- [45] Li M, Wu Y, Tian YH, et al. Association between PM_{2.5} and daily hospital admissions for heart failure: a time-series analysis in Beijing[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2018, 15(10): 2217. DOI: 10.3390/ijerph15102217.
- [46] Shah AS, Lee KK, McAllister DA, et al. Short term exposure to air

- pollution and stroke: systematic review and meta-analysis[J]. *BMJ*, 2015, 350: h1295. DOI: 10. 1136/bmj. h1295.
- [47] Stafoggia M, Cesaroni G, Peters A, et al. Long-term exposure to ambient air pollution and incidence of cerebrovascular events: results from 11 European cohorts within the ESCAPE project[J]. *Environ Health Persp*, 2014, 122(9): 919-925. DOI: 10. 1289/ehp. 1307301.
- [48] Zhang P, Dong G, Sun B, et al. Long-term exposure to ambient air pollution and mortality due to cardiovascular disease and cerebrovascular disease in Shenyang, China[J]. *PLoS One*, 2011, 6(6): e20827. DOI: 10. 1371/journal. pone. 0020827.
- [49] Huang K, Liang F, Yang X, et al. Long term exposure to ambient fine particulate matter and incidence of stroke: prospective cohort study from the China-PAR project[J]. *BMJ*, 2019, 367: l6720. DOI: 10. 1136/bmj. l6720.
- [50] Rich DQ, Mittleman MA, Link MS, et al. Increased risk of paroxysmal atrial fibrillation episodes associated with acute increases in ambient air pollution[J]. *Environ Health Persp*, 2006, 114(1): 120-123. DOI: 10. 1289/ehp. 8371.
- [51] Link MS, Luttmann-Gibson H, Schwartz J, et al. Acute exposure to air pollution triggers atrial fibrillation[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2013, 62(9): 816-825. DOI: 10. 1016/j. jacc. 2013. 05. 043.
- [52] Shao Q, Liu T, Korantzopoulos P, et al. Association between air pollution and development of atrial fibrillation: a meta-analysis of observational studies[J]. *Heart Lung*, 2016, 45(6): 557-562. DOI: 10. 1016/j. hrtlng. 2016. 08. 001.
- [53] Kim IS, Yang PS, Lee J, et al. Long-term exposure of fine particulate matter air pollution and incident atrial fibrillation in the general population: a nationwide cohort study[J]. *Int J Cardiol*, 2019, 283: 178-183. DOI: 10. 1016/j. ijcard. 2018. 12. 048.
- [54] Bunch TJ, Horne BD, Asirvatham SJ, et al. Atrial fibrillation hospitalization is not increased with short-term elevations in exposure to fine particulate air pollution[J]. *Pacing Clin Electrophysiol*, 2011, 34(11): 1475-1479. DOI: 10. 1111/j. 1540-8159. 2011. 03200. x.
- [55] Zhao R, Chen S, Wang W, et al. The impact of short-term exposure to air pollutants on the onset of out-of-hospital cardiac arrest: A systematic review and meta-analysis[J]. *Int J Cardiol*, 2017, 226: 110-117. DOI: 10. 1016/j. ijcard. 2016. 10. 053.
- [56] Bo Y, Guo C, Lin C, et al. Dynamic changes in long-term exposure to ambient particulate matter and incidence of hypertension in adults[J]. *Hypertension*, 2019, 74(3): 669-677. DOI: 10. 1161/hypertensionaha. 119. 13212.
- [57] Huang K, Yang X, Liang F, et al. Long-term exposure to fine particulate matter and hypertension incidence in China[J]. *Hypertension*, 2019, 73(6): 1195-1201. DOI: 10. 1161/hypertensionaha. 119. 12666.
- [58] Liang F, Yang X, Liu F, et al. Long-term exposure to ambient fine particulate matter and incidence of diabetes in China: a cohort study[J]. *Environ Int*, 2019, 126: 568-575. DOI: 10. 1016/j. envint. 2019. 02. 069.
- [59] Brook RD, Urch B, Dvonch JT, et al. Insights into the mechanisms and mediators of the effects of air pollution exposure on blood pressure and vascular function in healthy humans[J]. *Hypertension*, 2009, 54(3): 659-667. DOI: 10. 1161/hypertensionaha. 109. 130237.
- [60] Brook RD, Bard RL, Morishita M, et al. Hemodynamic, autonomic, and vascular effects of exposure to coarse particulate matter air pollution from a rural location[J]. *Environ Health Persp*, 2014, 122(6): 624-630. DOI: 10. 1289/ehp. 1306595.
- [61] Byrd JB, Morishita M, Bard RL, et al. Acute increase in blood pressure during inhalation of coarse particulate matter air pollution from an urban location[J]. *J Am Soc Hypertens*, 2016, 10(2): 133-139. e4. DOI: 10. 1016/j. jash. 2015. 11. 015.
- [62] Yang M, Cheng H, Shen C, et al. Effects of long-term exposure to air pollution on the incidence of type 2 diabetes mellitus: a meta-analysis of cohort studies[J]. *Environ Sci Pollut Res Int*, 2020, 27(1): 798-811. DOI: 10. 1007/s11356-019-06824-1.
- [63] 吴钦城. 大气污染对心脑血管疾病及其危险因素影响的研究 [D]. 山东: 青岛大学. 2019.
- [64] Langrish JP, Mills NL, Chan JK, et al. Beneficial cardiovascular effects of reducing exposure to particulate air pollution with a simple facemask[J]. *Part Fibre Toxicol*, 2009, 6: 8. DOI: 10. 1186/1743-8977-6-8.
- [65] Langrish JP, Li X, Wang S, et al. Reducing personal exposure to particulate air pollution improves cardiovascular health in patients with coronary heart disease[J]. *Environ Health Persp*, 2012, 120(3): 367-372. DOI: 10. 1289/ehp. 1103898.
- [66] Chen R, Zhao A, Chen H, et al. Cardiopulmonary benefits of reducing indoor particles of outdoor origin: a randomized, double-blind crossover trial of air purifiers[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2015, 65(21): 2279-2287. DOI: 10. 1016/j. jacc. 2015. 03. 553.
- [67] Shi J, Lin Z, Chen R, et al. Cardiovascular benefits of wearing particulate-filtering respirators: a randomized crossover trial[J]. *Environ Health Persp*, 2017, 125(2): 175-180. DOI: 10. 1289/ehp73.
- [68] Lin Z, Chen R, Jiang Y, et al. Cardiovascular benefits of fish-oil supplementation against fine particulate air pollution in China[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2019, 73(16): 2076-2085. DOI: 10. 1016/j. jacc. 2018. 12. 093.
- [69] 中华人民共和国生态环境部. 生态环境部通报《大气污染防治行动计划》实施情况终期考核结果 [EB/OL]. (2018-06-01) [2020-07-21]. http://www.mee.gov.cn/gkml/sthjbgw/qt/201806/t20180601_442329.htm.

(收稿日期: 2020-07-21)

(编辑: 许菁)