

## 消化内镜碳足迹的研究进展

陈俐娜 邵青梅 吴冰冰 金静芬

浙江大学医学院附属第二医院内镜中心,杭州 310009

通信作者:金静芬,Email:zrjzkhl@zju.edu.cn

**【提要】** 消化内镜检查在医疗服务中至关重要,高资源消耗和废物产生对环境造成了显著影响。现对碳足迹概述、各学会关于消化内镜检查碳足迹的声明、消化内镜碳足迹现状分析及优化策略等方面进行综述,旨在促进国内医护人员关注消化内镜碳足迹,为其开展相关研究、制订针对性的干预措施提供参考。

**【关键词】** 内窥镜检查,消化系统; 碳循环; 碳足迹; 气候环境

### Research progress in the carbon footprint of digestive endoscopy

Chen Lina, Shao Qingmei, Wu Bingbing, Jin Jingfen

Endoscopy Center, The Second Affiliated Hospital, Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou 310009,

ChinaCorresponding author: Jin Jingfen, Email: zrjzkhl@zju.edu.cn

在全球气候极端化的背景下,环保日益成为全球议题,医护人员也更加重视环境责任,希望减少医疗活动中的碳足迹(carbon footprint, CF)<sup>[1]</sup>。碳足迹也称温室气体足迹,指的是由个人、事件、机构、服务、地点或产品产生的温室气体排放总量,以二氧化碳当量(CO<sub>2</sub>e)表示<sup>[2]</sup>。消化内镜对环境的影响逐渐成为焦点,被认为是医疗机构中的第3大废物产生者,亦是增加碳足迹的主要来源<sup>[3-5]</sup>。消化内镜不仅日常检查量多,且使用一次性器械或器械去污染、再处理,以及患者、家属为接受检查而需多次往返医院,各环节均可产生大量不可再生废物,对环境造成影响<sup>[6]</sup>。

医护人员通过发展可持续的临床实践来减轻医疗系统对环境的影响具有重要作用<sup>[7]</sup>。国外已广泛开展消化内镜领域碳足迹的系统性研究,国内2019年有学者首次对中国医疗保健系统的碳足迹进行深入探索,但相关研究较少,未引起医护人员的关注<sup>[8]</sup>。因此,本文对消化内镜领域的碳足迹进行综述,以期为消化内镜医护人员开展相关研究、优化实践策略提供借鉴和参考,促进医疗行业向更加可持续发展的方向发展。

#### 一、碳足迹的概述

##### 1. 起源

碳足迹源自 Wackernagel 和 Rees<sup>[9]</sup>于1996年提出的生态足迹概念,是一种衡量人类活动对环境资源消耗和废物

处理需求的工具。随着全球气候变化问题的加剧,科学家和政策制定者开始特别关注温室气体排放,尤其是CO<sub>2</sub>。碳足迹逐渐从生态足迹的框架中独立出来,成为衡量个人、组织、产品或活动的CO<sub>2</sub>排放总量的工具<sup>[10]</sup>。

##### 2. 组成部分

碳足迹涵盖了从原材料获取、生产、使用到废弃处理整个生命周期的碳排放<sup>[11]</sup>,包括以下组成:范围一(直接排放),这是企业或个体在自身运营过程中直接产生的温室气体排放,包括燃烧化石燃料、工业生产过程中的排放以及交通工具的尾气排放;范围二(间接排放),这是通过购买的电力、蒸汽、热力和制冷等所产生的温室气体排放(尽管这些排放不是直接由企业产生的,但它们是由于企业的能源需求而间接产生的);范围三(其他间接排放),这是企业供应链上下游各环节所产生的温室气体排放,包括供应商生产的原材料、产品运输、废物处理及员工的通勤和出差等<sup>[12-13]</sup>。

##### 3. 测算方法

通用的碳足迹计算公式:碳足迹(CO<sub>2</sub>e)=∑(活动数据×排放因子)。活动数据指的是与某一活动相关的量度数据,例如燃料消耗量、电力使用量、出行距离等。排放因子指的是每单位活动数据所产生的温室气体排放量,通常由权威机构提供<sup>[14]</sup>。实际应用时,还需要考虑具体活动、行业的特

DOI: 10.3760/cma.j.cn321463-20250207-00304

收稿日期 2025-02-07 本文编辑 周昊

引用本文:陈俐娜,邵青梅,吴冰冰,等.消化内镜碳足迹的研究进展[J].中华消化内镜杂志,XXXX,XX(X): 1-6. DOI: 10.3760/cma.j.cn321463-20250207-00304.



殊性,并参考具体的排放因子。例如,电力生产的区域性排放因子(不同地区的电力生产方式不同,排放因子也不同)、不同交通工具(汽车、飞机、火车等)的排放因子等。要计算具体的碳足迹,需要查阅最新的、权威的排放因子数据库,如国际能源署(IEA)、环境保护署(EPA)、温室气体协议(GHG Protocol)等。此外,政府、非营利组织、慈善机构或私营公司开发了大量在线碳足迹计算器,帮助测算<sup>[15]</sup>。

## 二、各学会关于消化内镜领域的碳足迹声明

世界胃肠病学组织(world gastroenterology organisation, WGO)通过其成立的气候变化工作组(climate change working group, CCWG)指出了消化内镜对环境影响的担忧。该工作组正积极探讨减少医院或机构温室气体排放的策略,其中包括推广可重复使用的内镜设备以及重新设计教育活动等,以降低碳足迹<sup>[16]</sup>。

美国胃肠内镜学会(American society for gastrointestinal endoscopy, ASGE)认识到医疗保健对温室气体排放和全球变暖的影响。对此,ASGE成立了可持续内镜检查工作组,提出减少消化内镜环境影响的方法,并制定和实施减少医疗废物和碳排放的临床实践<sup>[17]</sup>。

欧洲胃肠内镜学会(European society of gastrointestinal endoscopy, ESGE)和欧洲胃肠病和内镜护理学会(European society of gastroenterology and endoscopy nurses and associates, ESGENA)联合发布了减少消化内镜的碳足迹立场声明。ESGE建议立即采取行动,通过遵守指南、审核消化内镜适应证的适当性、避免不必要的医疗程序和合理使用药物来减少消化内镜的碳足迹。此外,声明中还提倡数字化医疗、远程医疗、优化诊疗流程、门诊手术、可持续建筑设计、利用可再生能源、3R(减少、再利用和回收)计划重新审视废物管理,并尽量减少一次性设备的使用<sup>[18]</sup>。

英国胃肠病学会(British society of gastroenterology, BSG)、联合认证小组(joint accreditation group, JAG)和可持续健康中心(centre for sustainable health, CSH)就消化内镜环境可持续性的实用措施达成联合共识,并提出了一系列具体措施,旨在减少内镜操作对环境的影响。这些措施适用于内镜单位和从业者,并鼓励他们积极采用,以促进医疗实践的创新和该专业的可持续发展<sup>[19]</sup>。

意大利医院胃肠病学家和消化内镜医师协会(Italian association of hospital gastroenterologists and digestive endoscopists, AIGO)认为,采取措施减少温室气体排放并改善患者预后是至关重要的。他们建议科学协会、医院管理层和内镜单位共同制定卫生政策和投资策略,建立“绿色内镜”模式。AIGO强调了消化内镜专业人员作为可持续医疗倡导者的角色,并认为“绿色内镜”有助于塑造一个更加可持续、公平、智能且健康的医疗服务体系,以应对气候变化带来的挑战<sup>[20]</sup>。

尽管消化内镜对环境有显著影响,但临床仍然缺乏关于如何提高消化内镜的碳足迹意识及实施具体干预措施的有效指导。因此,消化内镜医护人员需要积极参与跨学科

合作与政策倡导,开展更多的临床研究,以探索如何有效降低消化内镜领域碳足迹。

## 三、消化内镜的碳足迹分析

### 1. 内镜的诊疗

**(1)消化内镜诊疗中产生的碳足迹:**在美国,Namburam等<sup>[21]</sup>对两个学术医疗中心的278例消化内镜进行了为期5 d的审计,发现每次消化内镜会产生2.1 kg废物,64%被填埋,28%为生物危害废物,9%被回收。以此估计美国每年所有消化内镜产生的总废物重达38 000吨,这将使117个足球场填满1 m深的废物。Gayam<sup>[22]</sup>报道美国西弗吉尼亚大学医学系平均每次内镜手术产生约1.5 kg的塑料垃圾,其中仅0.3 kg为可回收垃圾。这一数字外推到美国全国,估计每年产生13 500吨塑料垃圾。据统计,平均每100个消化内镜项目会产生303 kg固体废物和1 385加仑液体废物,并消耗1 980千瓦时能源<sup>[23]</sup>。在意大利,有学者探讨了胃镜和结肠镜的碳成本,分别为5.43 kg和6.71 kg CO<sub>2</sub><sup>[24]</sup>。不适当的胃镜和结肠镜检查每年产生4 133吨CO<sub>2</sub>,相当于1 760 446 L汽油的消耗。在欧洲,这一碳足迹估计为30 804吨。研究结果强调了减少碳足迹和降低不适当检查率的必要性。

**(2)非消化内镜诊疗中产生的碳足迹:**根据法国门诊消化内镜中心的一项研究,该中心的温室气体排放总量估计达到241.4吨。在这些排放中,最主要的来源是患者和中心工作人员的通勤和交通,占据了总排放的45%。其他排放来源依次为医疗与非医疗设备(32%)、能源消耗(12%)、消耗品(7%)、废物处理(3%)、货运(0.4%)以及医疗气体的使用(0.005%)<sup>[25]</sup>。与其他医疗学科类似,内镜诊疗过程中的各个环节都会产生温室气体,包括诊疗化验、门诊咨询、药物使用以及手术操作等。这些环节均涉及患者和医护人员的出行。同时,医护人员参与的教育和研究活动,如国内外学术会议,也会产生相应的排放<sup>[26]</sup>。值得注意的是,手术室因其对供暖、通风和空调系统的较高需求,其能耗往往为医院其他区域3至6倍<sup>[27]</sup>。内镜中心作为“第二手术室”,同样对供暖、通风和空调有着较大的需求,从而产生大量的碳排放。

### 2. 内镜的清洗消毒

内镜的清洗消毒过程通常包含预处理、检测泄漏、清洗、漂洗、消毒(灭菌)、最终漂洗和干燥等步骤,在消毒过程中常用的化学品包括戊二醛、邻苯二甲醛、过氧乙酸、过氧化氢和次氯酸等,这些过程需要大量的水、清洁剂和化学品,可能会导致空气和水的污染,同时设备的能耗也非常显著。为节能环保,需要使所有步骤更加高效。使用的化学品应在保证临床有效性的同时,尽可能减少对环境的影响。建议使用具备以下特点的化学品:pH中性、可生物降解以及对海洋生物安全的认证。此外,还应考虑所用化学品对参与去污的人员的安全性,以开发此类新产品<sup>[25]</sup>。内镜清洗消毒中,指南和标准的执行依赖于医护人员的正确操作<sup>[28]</sup>。医护人员作为内镜清洗消毒的直接管理者,在确保医疗安全的前提下,必须综合各方面努力,推动可持续医疗

的实现。

### 3. 一次性物品的使用

**(1) 一次性耗材的使用:**消化内镜对一次性耗材有显著需求。这些耗材取决于具体的手术,但通常以塑料为主,单独包装且不回收。每位患者可能需要氧气管、咬口器、袋子(用于存放个人物品)、静脉留置针和敷贴。此外,消化内镜过程中通常需要吸气管、内镜按钮和塞子、塑料盖/罩以及可能的活钳。在治疗性手术中,大多数附件也是一次性且不可回收的,通过焚烧或填埋处理,例如,圈套器、负极板和标本瓶等<sup>[29-30]</sup>。目前,除非由制造商声明,否则无法准确估算一次性耗材的碳足迹。一次性用品的广泛使用不仅增加了医疗废物的处理难度,还显著提高了消化内镜的整体碳足迹。然而,出于预防感染的考虑,临床上仍大规模使用一次性耗材。

**(2) 一次性内镜的使用:**近年来,内镜相关感染的担忧以及对便利性和避免内镜再处理的重视,导致了对一次性、可抛弃内镜的商业兴趣增加。在胃肠道领域,已有一次性胃镜、肠镜和十二指肠镜<sup>[31-32]</sup>。当前的研究主要集中于一次性十二指肠镜。在过去十年中,人们越来越认识到与十二指肠镜相关的感染爆发问题,特别是与多重耐药细菌相关的感染,如铜绿假单胞菌和超广谱 $\beta$ -内酰胺酶肠杆菌等<sup>[33-35]</sup>。2019年,美国食品和药物管理局(FDA)批准了首款一次性十二指肠镜。前瞻性和随机研究的数据表明,一次性十二指肠镜的性能与可重复使用的十二指肠镜相似,但其对环境的影响也不容忽视<sup>[36]</sup>。有研究指出,使用一次性十二指肠镜进行ERCP会释放36.3~71.5 kg CO<sub>2</sub>当量,约为可重复使用十二指肠镜(1.53 kg)的24~47倍,其中91%~96%的排放源自制造环节<sup>[37]</sup>。在使用一次性内镜时,需要充分考虑安全性、经济效益和社会效益。

### 4. 由范围三排放产生的碳足迹

医疗系统还有其独特的“范围三”排放,包括药物和医疗设备。对于所有行业来说,确定范围三排放都是一项挑战,因为这需要整个供应链提供关于他们排放的数据,通常涉及特定产品。从探索制药公司、医疗设备公司以及其他医疗保健供应商的网站可以看出,大多数医疗保健供应链的排放计算才刚刚起步<sup>[38]</sup>。有学者评估了通过减少消化内镜中的器械使用、更换替代产品和回收包装材料来降低碳足迹的效果。研究在德国的一个中型学术内镜中心进行,制造商回答了关于生产、来源、包装和运输的问卷。40家公司中有26家回答了问卷。322种产品中有229种被列为不利产品。对于47/229个项目(20.5%),有可能转换为替代项目<sup>[39]</sup>。目前,学者更注重产品回收和逆向物流全生命周期的闭环供应链运营模式<sup>[40]</sup>。

### 5. 内镜医护人员对碳足迹的认知

ESGE绿色内镜工作组进行了一项横断面研究。大多数参与者(86%)认同气候变化是现实且由人类活动引起的。改善内镜程序的适当性(41%)和减少一次性附件使用(34%)被认为是减少消化内镜环境影响的最重要策略<sup>[41]</sup>。

Poo等<sup>[42]</sup>学者调查了英国12个地区内镜碳足迹情况,发现大多数参与者(83%)高度关注气候变化,71%的人认识到内镜检查会产生大量的碳足迹。在单变量logistic回归分析中, $\geq 10$ 年内镜检查经验者比 $< 10$ 年内镜检查经验者更关注气候变化( $OR=2.621, 95\%CI: 1.122\sim 6.125, P=0.026$ )。在亚太地区的一项在线调查中,79.5%的参与者同意将绿色消化内镜纳入他们的实践中。对绿色内镜检查的理解水平是其接受度的唯一重要因素<sup>[43]</sup>。调查发现,实施绿色内镜的潜在障碍包括医疗成本增加、感染风险、员工意识和知识不足、难以获得可回收设备,以及缺乏政策和行业支持。研究优先领域包括减少不必要的消化内镜程序和一次性与可重复使用附件的比较研究<sup>[41-43]</sup>。

## 四、消化内镜实践的优化策略

### 1. 开展医护人员教育和培训

系统的培训和教育对于实现消化内镜的可持续发展至关重要。培训能提高医护人员的环保意识,使他们理解和支持减少碳足迹的重要性。一项前瞻性研究通过实施分阶段的干预措施,包括团队教育和优化废物处理。结果显示,从范围一到范围三,平均总废物和生物危害废物分别减少了12.9%和41.4%,碳排放总量减少了31.6%<sup>[44]</sup>。然而,培训效果在很大程度上取决于管理层的支持和资源的充分投入。医护人员需要制定长期的培训计划,并确保培训内容的持续更新和实用性。目前消化内镜减少碳足迹的措施仅限于短期干预效果的评估,缺乏对长期效果的跟踪,而且对于培训内容也尚无统一标准。

### 2. 使用可重复的仪器设备

减少一次性物品的使用并推广可重复使用的设备是降低碳足迹的有效措施<sup>[45]</sup>。一次性物品在使用后直接被丢弃会产生大量的医疗废物。在消化内镜中使用的塑料占一次性非生物危害废物的一半以上,而回收塑料废物是一个易于实施的小步骤。内镜单元产生的废物中约有10%是可回收的塑料<sup>[46]</sup>。通过培训干预,医护人员能够过滤出所有可能的可回收废物。研究指出,可以在内镜器械上标注一个位置,用于识别哪些部分可以回收。通过这种方式,工作人员可以在操作后轻松识别和分离可回收的部件,从而提高内镜器械的回收率<sup>[47]</sup>。此外,有学者指出一些器械中如圈套器的手柄没有与患者直接接触,可以回收,而不是作为医学废物处理<sup>[48]</sup>。尽管可重复使用设备的初期投资较高,且严格的消毒和维护要求对医护人员进行专业培训,但从长远来看,这些投资可以减少甚至抵消废物处理成本,带来经济效益。

### 3. 应用人工智能

在减少碳足迹的措施中,应用人工智能(artificial intelligence, AI)是一项具有巨大潜力的策略。AI能够提高诊断准确性,降低消化内镜的碳足迹。例如,常规胃肠活检的组织病理学处理过程的碳足迹非常大。每处理3个病理罐的碳排放量相当于普通汽车行驶2英里(1英里=1.61 km)的碳排放量<sup>[49]</sup>。在活检不太可能改变患者管理方案的情况

下, AI可以提供基于图像分析提供诊断支持并识别病变<sup>[50]</sup>。这种有针对性的方法将减少活检数量, 减少对组织样本运输和进一步分析的需求, 从而减少资源消耗和废物产生<sup>[51]</sup>。同时, AI可以快速分析内镜图像, 从而缩短检查时间, 减少设备使用的能源消耗。初期引入 AI可能需要较高的投入, 因此需要评估其经济可行性, 并寻找合适的支持方案。此外, 在使用 AI时, 必须确保数据的隐私和安全。

#### 4. 加强“范围三”的管理

Henniger 等<sup>[39]</sup>于 2024 年进行了一项前瞻性研究, 评估减少胃肠内镜单元“范围三”相关碳排放的措施效果。研究发现, 通过减少每次操作中使用的仪器数量、回收包装材料以及转换到替代产品, 可以在不影响内镜操作流程的情况下, 有效降低碳排放。该研究提供了一个实际案例, 展示了通过加强“范围三”管理减少碳足迹的可行性和有效性。有学者建议, 可以选择更本地化的供应商或使用替代产品, 从而减少航空运输带来的碳排放<sup>[52]</sup>。在汽车行业, 绿色供应链已成为标准。但是在制造和销售内镜附件的公司中, 只有不到三分之一的参与者似乎意识到环境问题。目前, 内镜“范围三”的数据获取和评估困难, 缺乏详细的碳足迹报告和标准化的评估方法。此外, “范围三”还面临采购时优先选择低排放产品、运输或分发过程中采用低排放替代方案, 以及从实现净零排放的供应商处采购可能遇到的财务障碍和技术限制<sup>[53]</sup>。未来, 消化内镜医护人员可以通过选择可持续供应商、优化供应链流程、推广环保设备和耗材、实施碳足迹监测, 以推动更大规模和更有效的环保实践。

#### 5. 使用远程在线平台

一项纳入 48 项研究的 meta 分析, 涉及 68 465 481 次远程医疗咨询, 结果显示患者使用汽车的次数减少, 节省了时间和金钱, 共减少了 691 825 吨温室气体排放和 3 318 464 047 km 的行驶距离<sup>[54]</sup>。但是远程医疗咨询对减少消化内镜的碳足迹的研究还比较少, 有研究通过绿色内镜在线 (green endoscopy online, GEO) 平台进行教育和咨询, 发现减少了患者往返医院的次数, 总共节省了 9 586 个工作日的患者和医护人员时间, 相当于 1 917.2 个工作周<sup>[55]</sup>。通过在线平台可以减少患者和医护人员的出行需求, 从而降低交通产生的碳足迹。但目前存在数据和方法标准化不足、环境影响评估不全面、技术和操作挑战以及成本效益分析不足等问题, 需要进一步探索和改进, 以充分发挥远程在线平台在减少内镜碳足迹方面的优势。

#### 五、小结

随着人们对气候变化影响的认识不断加深, 消化内镜的碳足迹问题日益受到关注。本综述探讨了消化内镜在操作过程中产生碳足迹的各个方面。通过采取有效措施, 如对医护人员进行培训和教育、使用可重复使用的仪器设备、加强“范围三”的管理以及利用远程在线平台等, 均可减少消化内镜对环境的影响。当前在消化内镜的碳足迹领域, 存在许多研究空白和挑战, 迫切需要根据患者安全、诊治质量和环境可持续性, 确定可立即实施的优先措施<sup>[56]</sup>, 并收集

数据, 研究减少碳足迹的新技术和新方法<sup>[57]</sup>, 为应对全球气候危机贡献力量。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

#### 参 考 文 献

- [1] Redulla R. Climate change, sustainability, and health: What can nurses do? [J]. *Gastroenterol Nurs*, 2022, 45(6): 393-394. DOI: 10.1097/SGA.0000000000000710.
- [2] Pandey D, Agrawal M, Pandey JS. Carbon footprint: current methods of estimation[J]. *Environ Monit Assess*, 2011, 178(1-4):135-160. DOI: 10.1007/s10661-010-1678-y.
- [3] Sonaiya S, Marino R, Agollari K, et al. Environmentally sustainable gastroenterology practice: Review of current state and future goals[J]. *Dig Endosc*, 2024, 36(4): 406-420. DOI: 10.1111/den.14688.
- [4] Baddeley R, Aabakken L, Veitch A, et al. Green endoscopy: Counting the carbon cost of our practice[J]. *Gastroenterology*, 2022, 162(6):1556-1560. DOI: 10.1053/j.gastro.2022.01.057.
- [5] Vaccari M, Tudor T, Perteghella A. Costs associated with the management of waste from healthcare facilities: An analysis at national and site level[J]. *Waste Manag Res*, 2018, 36(1): 39-47. DOI: 10.1177/0734242X17739968.
- [6] Park SB, Cha JM. Gastrointestinal endoscopy's carbon footprint[J]. *Clin Endosc*, 2023, 56(3):263-267. DOI: 10.5946/ce.2023.003.
- [7] Maurice JB, Rochford A, Marshall S, et al. Green endoscopy: using quality improvement to develop sustainable practice[J]. *Frontline Gastroenterol*, 2022, 13(4):342-345. DOI: 10.1136/flgastro-2021-101874.
- [8] Wu R. The carbon footprint of the Chinese health-care system: an environmentally extended input-output and structural path analysis study[J]. *Lancet Planet Health*, 2019, 3(10): e413-e419. DOI: 10.1016/S2542-5196(19)30192-5.
- [9] Wackernagel M, Rees WE. Our ecological footprint: Reducing human impact on the earth [M]. Gabriola Island, BC: New Society Publishers, 1996.
- [10] Solarin S A , Gil-Alana L A , Lafuente C . Persistence in carbon footprint emissions: an overview of 92 countries[J]. *Carbon Management*, 2019, 10(4): 405-415. DOI: 10.1080/17583004.2019.1620038.
- [11] Bozoudis V, Sebos I, Tsakanikas A. Action plan for the mitigation of greenhouse gas emissions in the hospital-based health care of the Hellenic Army[J]. *Environ Monit Assess*, 2022, 194(3):221. DOI: 10.1007/s10661-022-09871-3.
- [12] Rodríguez-Jiménez L, Romero-Martín M, Spruell T, et al. The carbon footprint of healthcare settings: A systematic review[J]. *J Adv Nurs*, 2023, 79(8):2830-2844. DOI: 10.1111/jan.15671.
- [13] Tennison I, Roschnik S, Ashby B, et al. Health care's response to climate change: a carbon footprint assessment of the NHS in England[J]. *Lancet Planet Health*, 2021, 5(2): e84-e92. DOI: 10.1016/S2542-5196(20)30271-0.
- [14] Griffiths J, Fox L, Williamson PR. Quantifying the carbon footprint of clinical trials: guidance development and case studies[J]. *BMJ Open*, 2024, 14(1): e075755. DOI: 10.1136/bmjopen-2023-075755.
- [15] Mulrow J, Machaj K, Deanes J, et al. The state of carbon footprint calculators: An evaluation of calculator design and user interaction features[J]. *Sustain Prod Consum*, 2019, 18: 33-40. DOI:10.1016/j.spc.2018.12.001.

- [16] Leddin D, Omary MB, Veitch A, et al. Uniting the global gastroenterology community to meet the challenge of climate change and nonrecyclable waste[J]. *J Clin Gastroenterol*, 2021, 55(10): 823-829. DOI: 10.1097/MCG.0000000000001619.
- [17] Pohl H, de Latour R, Reuben A, et al. GI multisociety strategic plan on environmental sustainability[J]. *Gastroenterology*, 2022, 163(6):1695-1701.e2. DOI: 10.1053/j.gastro.2022.09.029.
- [18] Rodríguez de Santiago E, Dinis-Ribeiro M, Pohl H, et al. Reducing the environmental footprint of gastrointestinal endoscopy: European society of gastrointestinal endoscopy (ESGE) and European society of gastroenterology and endoscopy nurses and associates (ESGENA) position statement [J]. *Endoscopy*, 2022, 54(8): 797-826. DOI: 10.1055/a-1859-3726.
- [19] Sebastian S, Dhar A, Baddeley R, et al. Green endoscopy: British society of gastroenterology (BSG), Joint accreditation group (JAG) and centre for sustainable health (CSH) joint consensus on practical measures for environmental sustainability in endoscopy[J]. *Gut*, 2023, 72(1):12-26. DOI: 10.1136/gutjnl-2022-328460.
- [20] Bortoluzzi F, Sorge A, Vassallo R, et al. Sustainability in gastroenterology and digestive endoscopy: position paper from the Italian association of hospital gastroenterologists and digestive endoscopists (AIGO)[J]. *Dig Liver Dis*, 2022, 54(12): 1623-1629. DOI: 10.1016/j.dld.2022.08.018.
- [21] Namburam S, von Renteln D, Damianos J, et al. Estimating the environmental impact of disposable endoscopic equipment and endoscopes[J]. *Gut*, 2022, 71(7): 1326-1331. DOI: 10.1136/gutjnl-2021-324729.
- [22] Gayam S. Environmental impact of endoscopy: "Scope" Of the problem[J]. *Am J Gastroenterol*, 2020, 115(12): 1931-1932. DOI: 10.14309/ajg.0000000000001005.
- [23] Desai M, Campbell C, Perisetti A, et al. The environmental impact of gastrointestinal procedures: A prospective study of waste generation, energy consumption, and auditing in an endoscopy unit[J]. *Gastroenterology*, 2024, 166(3):496-502.e3. DOI: 10.1053/j.gastro.2023.12.006.
- [24] Elli L, La Mura S, Rimondi A, et al. The carbon cost of inappropriate endoscopy[J]. *Gastrointest Endosc*, 2024, 99(2): 137-145.e3. DOI: 10.1016/j.gie.2023.08.018.
- [25] Lacroute J, Marcantoni J, Petitot S, et al. The carbon footprint of ambulatory gastrointestinal endoscopy[J]. *Endoscopy*, 2023, 55(10):918-926. DOI: 10.1055/a-2088-4062.
- [26] Pohl H, Baddeley R, Hayee B. Carbon footprint of gastroenterology practice[J]. *Gut*, 2023, 72(12): 2210-2213. DOI: 10.1136/gutjnl-2023-331230.
- [27] MacNeill AJ, Lillywhite R, Brown CJ. The impact of surgery on global climate: a carbon footprinting study of operating theatres in three health systems[J]. *Lancet Planet Health*, 2017, 1(9):e381-e388. DOI: 10.1016/S2542-5196(17)30162-6.
- [28] Chapman W. Endoscope decontamination: making the guidance work in practice[J]. *Gastrointestinal Nursing*, 2019, 17(6):28-37. DOI:10.12968/gasn.2019.17.6.28.
- [29] Siau K, Hayee B, Gayam S. Endoscopy's current carbon footprint[J]. *Tech Innov Gastrointest Endosc*, 2021, 23(4): 344-352. DOI:10.1016/j.tige.2021.06.005.
- [30] Siddhi S, Dhar A, Sebastian S. Best practices in environmental advocacy and research in endoscopy[J]. *J Gastroenterol*, 2021, 35(4): 123-130. DOI: 10.1016/j.tige.2021.06.002.
- [31] Eqbal A, Wickremeratne T, Turner S, et al. One-stop shop for variceal surveillance: integration of unsedated ultrathin endoscopy into the routine clinic visit[J]. *Frontline Gastroenterol*, 2021, 12(7): 545-549. DOI: 10.1136/flgastro-2020-101680.
- [32] Larsen S, Kalloo A, Hutfless S. The hidden cost of colonoscopy including cost of reprocessing and infection rate: the implications for disposable colonoscopes[J]. *Gut*, 2020, 69(2):197-200. DOI: 10.1136/gutjnl-2019-319108.
- [33] Verfaillie CJ, Bruno MJ, Voor in 't Holt AF, et al. Withdrawal of a novel-design duodenoscope ends outbreak of a VIM-2-producing *Pseudomonas aeruginosa*[J]. *Endoscopy*, 2015, 47(6):493-502. DOI: 10.1055/s-0034-1391886.
- [34] Cimen C, Bathoorn E, Loeve AJ, et al. Uncovering the spread of drug-resistant bacteria through next-generation sequencing based surveillance: transmission of extended-spectrum  $\beta$ -lactamase-producing Enterobacterales by a contaminated duodenoscope[J]. *Antimicrob Resist Infect Control*, 2024, 13(1):31. DOI: 10.1186/s13756-024-01386-5.
- [35] Rubin ZA, Kim S, Thaker AM, et al. Safely reprocessing duodenoscopes: current evidence and future directions[J]. *Lancet Gastroenterol Hepatol*, 2018, 3(7): 499-508. DOI: 10.1016/S2468-1253(18)30122-5.
- [36] Lee T, Enslin S, Kaul V. Single-Use duodenoscopes for ERCP: rationale, feasibility, cost, and environmental impact[J]. *Gastroenterol Hepatol (N Y)*, 2022, 18(5):248-291.
- [37] Hernandez LV, Le NNT, Patnode C, et al. Comparing the impact of reusable and single-use duodenoscopes using life cycle assessment[J]. *Gastrointest Endosc*, 2021, 93(6 suppl): AB29.
- [38] Booth A. Carbon footprint modelling of national health systems: Opportunities, challenges and recommendations[J]. *Int J Health Plann Manage*, 2022, 37(4): 1885-1893. DOI: 10.1002/hpm.3447.
- [39] Henniger D, Lux T, Windsheimer M, et al. Reducing scope 3 carbon emissions in gastrointestinal endoscopy: results of the prospective study of the 'Green Endoscopy Project Würzburg' [J]. *Gut*, 2024, 73(3): 442-447. DOI: 10.1136/gutjnl-2023-331024.
- [40] Du Q, Zhou J. Evolution of low carbon supply chain research: A systematic bibliometric analysis[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2022, 19(23):15541. DOI: 10.3390/ijerph192315541.
- [41] Cunha Neves JA, Rodriguez de Santiago E, Pohl H, et al. Perspectives and awareness of endoscopy healthcare professionals on sustainable practices in gastrointestinal endoscopy: results of the LEAFGREEN survey[J]. *Endoscopy*, 2024, 56(5):355-363. DOI: 10.1055/a-2240-9414.
- [42] Poo S, Kader R, Kronsten V, et al. O72Survey of the endoscopy workforce's perception of sustainability[J]. *Gut*, 2023, 72(Sup2):1. DOI:10.1136/gutjnl-2023-BSG.71.
- [43] Ho J, Lui RN, Ho SH, et al. Asia-Pacific survey on green endoscopy[J]. *J Gastroenterol Hepatol*, 2024, 39(1): 133-140. DOI: 10.1111/jgh.16409.
- [44] Cunha Neves JA, Roseira J, Queirós P, et al. Targeted intervention to achieve waste reduction in gastrointestinal endoscopy[J]. *Gut*, 2023, 72(2): 306-313. DOI: 10.1136/gutjnl-2022-327005.
- [45] Pohl H. Transitioning to sustainable care and green endoscopy [J]. *Gastroenterol Hepatol (N Y)*, 2023, 19(4):233-236.
- [46] de Jong D, Volkers A, de Ridder E, et al. Steps toward a

- greener endoscopy unit[J]. *Clin Gastroenterol Hepatol*, 2023, 21(11):2723-2726.e2. DOI: 10.1016/j.cgh.2023.06.007.
- [47] López-Muñoz P, Martín-Cabezuelo R, Lorenzo-Zúñiga V, et al. Life cycle assessment of routinely used endoscopic instruments and simple intervention to reduce our environmental impact[J]. *Gut*, 2023, 72(9): 1692-1697. DOI: 10.1136/gutjnl-2023-329544.
- [48] Martín-Cabezuelo R, Vilarinho-Feltrer G, Campillo-Fernández AJ, et al. Materials science toolkit for carbon footprint assessment: A case study for endoscopic accessories of common use[J]. *ACS Environ Au*, 2024, 4(1): 42-50. DOI: 10.1021/acsenvironau.3c00044.
- [49] Gordon IO, Sherman JD, Leapman M, et al. Life cycle greenhouse gas emissions of gastrointestinal biopsies in a surgical pathology laboratory[J]. *Am J Clin Pathol*, 2021, 156(4):540-549. DOI: 10.1093/ajcp/aqab021.
- [50] Jain M .Environmentally sustainable endoscopy practices[J]. *J Dig Endosc*, 2023, 14(3): 144-148. DOI: 10.1055/s-0043-1775873.
- [51] Mascarenhas M, Ribeiro T, Afonso J, et al. Smart endoscopy is greener endoscopy: Leveraging artificial intelligence and blockchain technologies to drive sustainability in digestive health care[J]. *Diagnostics (Basel)*, 2023, 13(24): 3625. DOI: 10.3390/diagnostics13243625.
- [52] Henniger D, Windsheimer M, Beck H, et al. Assessment of the yearly carbon emission of a gastrointestinal endoscopy unit[J]. *Gut*, 2023, 72(10): 1816-1818. DOI: 10.1136/gutjnl-2023-329940.
- [53] Blom IM, Eissa M, Mattijsen JC, et al. Effectiveness of greenhouse gas mitigation intervention for health-care systems: a systematic review[J]. *Bull World Health Organ*, 2024, 102(3):159-175B. DOI: 10.2471/BLT.23.290464.
- [54] Rodler S, Ramacciotti LS, Maas M, et al. The impact of telemedicine in reducing the carbon footprint in health care: A systematic review and cumulative analysis of 68 million clinical consultations[J]. *Eur Urol Focus*, 2023, 9(6):873-887. DOI: 10.1016/j.euf.2023.11.013.
- [55] Ding Y, Chincilla G, Vandeleur A, et al. Sustainability in endoscopy: online endoscopy education platform significantly reduces carbon footprint of patient travel[J]. *Clin Med (Lond)*, 2023, 23(Suppl 6):125-126. DOI: 10.7861/clinmed.23-6-s125.
- [56] Hernandez LV, Agrawal D, Skole KS, et al. Meeting the environmental challenges of endoscopy: a pathway from strategy to implementation[J]. *Gastrointest Endosc*, 2023, 98(6):881-888.e1. DOI: 10.1016/j.gie.2023.07.031.
- [57] Perisetti A, Desai M, Bourke MJ, et al. Production and possible reduction of greenhouse gases produced during GI endoscopy activity: a systematic review of available literature [J]. *Gut*, 2023, 72(3): 493-500. DOI: 10.1136/gutjnl-2022-328369.