

健身环境中微生物群落特征、驱动因素及其健康风险研究进展

李智超

山东大学齐鲁医学院公共卫生学院, 山东 济南

收稿日期: 2025年11月29日; 录用日期: 2025年12月22日; 发布日期: 2025年12月30日

摘要

随着全民健身的普及, 公共健身环境微生物污染及其健康风险日益受到关注。本综述系统总结了当前健身环境微生物群落特征、驱动因素及潜在健康风险的研究进展。研究表明, 室内健身环境颗粒物浓度时有超标, 对运动者构成显著健康风险。健身器材表面及空气中存在以厚壁菌门(*Firmicutes*)、变形菌门(*Proteobacteria*)和放线菌门(*Actinobacteria*)为主的复杂微生物群落, 其中常检出金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、不动杆菌属等条件致病菌, 且耐药性问题突出, 表明健身环境是病原体潜在传播源。器材类型、人体接触方式、室内外环境及环境因子等多因素共同驱动该环境微生物群落结构。尽管室内健身中心微生物组研究已取得进展, 户外健身设施的微生物暴露风险仍认知不足。未来需加强对户外健身环境的深入研究, 量化环境驱动因子, 解析耐药基因传播, 为制定针对性清洁消毒策略与公共健康风险管理提供科学依据。

关键词

健身器材, 微生物多样性, 影响因素, 健康风险

Research Progress on the Characteristics, Driving Factors, and Health Risks of Microbial Communities in Fitness Environments

Zhichao Li

School of Public Health, Cheeloo College of Medicine, Shandong University, Jinan Shandong

Received: November 29, 2025; accepted: December 22, 2025; published: December 30, 2025

文章引用: 李智超. 健身环境中微生物群落特征、驱动因素及其健康风险研究进展[J]. 临床医学进展, 2026, 16(1): 50-57. DOI: 10.12677/acm.2026.161007

Abstract

With the growing popularity of nationwide fitness activities, microbial contamination and associated health risks in public fitness environments have received increasing attention. This review systematically summarizes current research on the microbial community characteristics, influencing factors, and potential health risks of fitness environments. Evidence indicates that particulate matter concentrations in indoor fitness facilities often exceed recommended limits, posing significant health risks to exercisers. Complex microbial communities dominated by *Firmicutes*, *Proteobacteria*, and *Actinobacteria* have been detected on equipment surfaces and the air, with frequent identification of opportunistic pathogens such as *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, and *Acinetobacter*. The presence of antimicrobial resistance further suggests that fitness environments may serve as potential reservoirs and transmission sources of pathogens. The structure of fitness environment microbial community is jointly shaped by multiple factors, including equipment type, patterns of human contact, indoor-outdoor environment, and environmental variables. Although progress has been made in characterizing indoor fitness microbiomes, our understanding of microbial exposure risks associated with outdoor fitness facilities remains limited. Future research should focus more on outdoor fitness environments, quantify key environmental drivers, elucidate antimicrobial resistance gene transmission, and provide scientific basis for targeted cleaning and disinfection strategies as well as public health risk management.

Keywords

Fitness Equipment, Microbial Diversity, Influencing Factors, Health Risks

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

建成环境作为人类活动的主要载体，其涵盖交通系统、公共健身场所等各类人造设施或建筑[1] [2]。现有研究表明，当代建成环境正逐步削弱对人类健康与福祉至关重要的微生物多样性，并可能加剧人类慢性疾病的发展[3]。在这一背景下，体育锻炼场所的微生物暴露风险应值得关注。当前《“健康中国 2030”规划纲要》与《“十四五”体育发展规划》等国家政策的积极推动下，全民健身参与度显著提升。“公共体育场馆”、“健身路径”、“广场空地或道路”以及“社区体育场地”等公共健身设施，已逐渐成为我国成年人及老年人群体进行体育锻炼的重要空间支撑体系[4]。

然而，蓬勃发展的健身热潮背后潜藏着不容忽视的公共卫生风险。已有研究通过传统培养方法在健身环境的空气或器材表面检出多种潜在病原微生物，如金黄色葡萄球菌(包括耐甲氧西林金黄色葡萄球菌 MRSA)、大肠杆菌和肠球菌等[5] [6]。而基于高通量测序的研究进一步揭示了健身环境中微生物群落的组成结构与多样性[7]，并指出公共健身房及其他运动设施可能是社区获得性细菌感染的潜在传播源[8]。因此，系统研究健身环境中的微生物多样性，有助于推动制定动态健康协议与针对性清洁策略，从而构建微生物传播风险更低的健身设施，促进健康城市建设，提升整体公共卫生水平。然而，该领域的既往研究多集中在室内健身中心的微生物组分析，对户外建成环境中运动相关微生物的分布特征及其健康风险仍关注不足。本文旨在综述当前健身环境中空气质量、微生物群落的组成、驱动因素及其潜在公共卫生风险的相关研究进展，以期为该领域的深入探索提供参考。

2. 健身环境的空气质量

2.1. 健身环境颗粒物浓度

在体育活动中,人体主要通过口腔呼吸,绕过了鼻腔原有的过滤功能(如截留大颗粒及可溶性气溶胶),导致更多污染物直接进入呼吸道。与此同时,增加的呼吸流速会将颗粒物、微生物等带入气道更深处,从而对运动者构成显著健康风险[9]。研究表明室内健身环境的总颗粒物浓度介于 0.0445 mg/m^3 至 0.0841 mg/m^3 之间,且以 $\text{PM}_{2.5}$ 占主导[10]。某大学学术体育与教育中心的调查显示,在下午健身高峰时段,攀岩馆和游泳馆更衣室内 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 的浓度经常超过世界卫生组织规定的标准值,且同时间在篮球场和羽毛球球场,下午时段 $\text{PM}_{2.5}$ 的值也超过了允许的限值,为 0.06 mg/m^3 [9]。这些颗粒物主要源于运动过程中的人为活动(如扬尘),其浓度与场地使用强度及空气流动状况密切相关。

2.2. 健身环境空气微生物组

不同地点的健身设施中空气中微生物的浓度存在差异。多项和基于传统培养方法的研究显示,中国台湾某室内健身环境的空气微生物浓度范围在 $2.49 \times 10^2 \sim 8.12 \times 10^2 \text{ CFU/m}^3$ 之间[11];某大学体育馆内空气中细菌数量平均为 $38 \sim 1036 \text{ CFU/m}^3$ [12];某体育中心内空气气溶胶浓度为 $5.80 \times 10^1 \sim 2.00 \times 10^4 \text{ CFU/m}^3$ [9];波兰一所高中体育馆的细菌浓度变化范围为 $4.20 \times 10^2 \sim 8.75 \times 10^2 \text{ CFU/m}^3$ [13];而该国某市的一家健身俱乐部的微生物空气污染程度更高,其细菌浓度范围在 $7.17 \times 10^2 \sim 1.68 \times 10^3 \text{ CFU/m}^3$ [10]。此外,有研究证明了室内体育设施中的空气细菌浓度高于户外运动场[12]。这些差异可能与建筑结构、建筑材料、通风方式以及自然通风、湿度、温度等环境因素密切相关[14]。然而,健身中心内部的细菌浓度不仅受环境和建筑条件的影响,还与人类活动强度密切相关。以某体育馆为例,课间时细菌气溶胶平均浓度为 $(4.20 \times 10^2 \pm 49.19) \text{ CFU/m}^3$,而在上课期间则升至 $(8.75 \times 10^2 \pm 121.39) \text{ CFU/m}^3$ [13]。这一变化说明随着使用人数增加,细菌生物气溶胶浓度显著上升,该现象与 Marta 等人[12]关于健身场所生物气溶胶动态变化的研究结果一致,进一步印证了人类活动对微生物气溶胶负荷的直接贡献。值得注意的是,在空气气溶胶已检出金黄色葡萄球菌(*S. aureus*),其浓度在游泳池更衣室下午时段最高($6.1 \times 10^2 \sim 2.4 \times 10^3 \text{ CFU/m}^3$),攀岩墙附近次之($3.8 \times 10^1 \sim 3.1 \times 10^2 \text{ CFU/m}^3$) [9]。此外,该研究在五个健身场所中均分离出葡萄球菌(*Staphylococcus*),其中武术室内空气中的葡萄球菌浓度最高,而游泳池和户外运动场中最低,且这些分离出的葡萄球菌对四环素和红霉素表现出较高耐药性,耐药率高达 40%。

基于高通量测序技术对攀岩室内生物气溶胶的微生物群落组成进行分析,发现在门水平上以放线菌门(*Actinobacteria*)和变形菌门(*Proteobacteria*)为主;属水平则以纤维微菌属(*Cellulosimicrobium*)、寡养单胞菌属(*Stenotrophomonas*)、不动杆菌属(*Acinetobacter*)、埃希氏杆菌属(*Escherichia*)和乳酸杆菌属(*Lactobacillus*)为主要类群。其中,*Stenotrophomonas*、*Acinetobacter* 常被认为是条件致病菌,提示其在特定环境下可能具有潜在健康风险。

3. 健身器材表面的微生物组

3.1. 健身器材表面的主要微生物及耐药分析

健身器材表面与空气及人体之间存在广泛的微生物交换,可能成为多种病原体的潜在传播媒介。Boonrattanakij 等人[11]对部分体育器材(如自行车把手、哑铃和仰卧起坐凳)表面进行了微生物检测,结果显示器材表面上的细菌数量范围为 $3.9 \times 10^2 \sim 3.7 \times 10^3 \text{ CFU/m}^2$ 。另一项针对波兰某市健身中心器材表面微生物污染状况的研究表明细菌污染最严重的区域是鞋柜和接待区供等候人员使用的桌子(3.8 CFU/m^2),而健身车坐垫和存放个人物品的储物柜底部则未检出细菌[10]。

当前基于传统细菌培养方法对健身器材表面的细菌检测, 主要集中于对 *S. aureus* 的检出及耐药性分析。多项研究显示, 该病原体在健身环境中普遍存在, 但检出率存在地域差异。例如, 马来西亚三家健身房中 73.81% 的样本检测出 *S. aureus*; 美国中部某健身场所 92% 的拭子样本中检测出 *Staphylococcus*, 且在健身中心储物间的地板和长凳上检出 *S. aureus* [8]; 美国东北部 16 家健身场所的 288 个样本中, *S. aureus* 检出率为 38%, 其中 36.3% 的分离株呈多重耐药, 且 11% 的样本检测出 MRSA [5]; Markley 等人 [15] 在某体育馆采集了 16 种不同类型的表面样本, 发现 10% 的样本被 *S. aureus* 污染。这些差异可能与健身场所类型、使用人群或卫生管理措施有关。此外, 在尼日利亚健身中心的器械表面还检出了多种病原体, 包括 *S. aureus* (38.7%)、芽孢杆菌(*Bacillus* spp., 35.5%)、克雷伯菌(*Klebsiella* spp., 12.9%), 大肠杆菌(*Escherichia coli*, 6.45%)、腐生葡萄球菌(*Staphylococcus saprophyticus*, 6.45%)以及肠球菌(*Enterococcus* spp., 3.23%), 所有分离株均对阿莫西林和阿莫西林克拉维酸耐药[6]。还有研究同时在室外单杠上检出多重耐药的泛菌属(*Pantoea*), 从室内健身器材上检出 4 株多重耐药的 *Staphylococcus* [7]。以上结果表明, 健身器材表面不仅存在多种潜在致病菌, 且其耐药性问题突出, 可能通过手-表面接触途径传播病原体。因此, 建议在公共健身场所中加强手卫生(如经常使用洗手液洗手), 并在活动前后对设备表面进行消毒, 以降低潜在病原微生物的传播风险。

近年来, 高通量测序技术和相关生物信息学工具为人们全面揭示健身中心环境中微生物的组成特征提供了技术支撑。多项研究在不同地区和类型的健身场所中展开了系统调查, 结果呈现出一定的共性与差异。在美国四家室内健身中心的微生物群落分析显示, 器材表面以厚壁菌门(*Firmicutes*)为主, 其次是 *Proteobacteria* 和 *Actinobacteria*。主要细菌属包括假单胞菌属(*Pseudomonas*)、*Pantoea*、微球菌属(*Micrococcus*)、葡萄球菌属(*Staphylococcus*)、肠杆菌属(*Enterobacter*)、克雷伯菌属(*Klebsiella*)和芽孢杆菌属(*Bacillus*) [16]。其中 *Staphylococcus* 在力量骑行器上检出较多, 而 *S. aureus* 和 *Staphylococcus epidermidis* 普遍存在于所有测试表面。芝加哥地区三所大学健身房进行的研究发现, *Pseudomonas* (9.6%)和 *Acinetobacter* (9.3%)为最优势的菌属。其次为 *Staphylococcus*、棒状杆菌(*Corynebacterium*)和 *Micrococcus* [17]。Zhang 等人[7]在在中国青岛某大学的室外运动场与室内体育馆采样比较后发现, 在门水平上, 优势类群包括 *Proteobacteria*、*Actinobacteria*、*Firmicutes*、氧光菌门(*Oxyphotobacteria*)、古菌门-热球菌门(*Deinococcus-Thermus*)、拟杆菌门(*Bacteroidetes*)。与室外器材相比, 室内器材表面 *Proteobacteria* 和 *Firmicutes* 的相对丰度显著增加, 而 *Proteobacteria* 的相对丰度显著降低。研究者推测室外风雨等环境因素可能减少了人类活动对设备微生物组成的影响。在属水平上, 体操器材表面检出多种环境来源细菌, 包括甲基杆菌属(*Methylobacillum*)、鞘氨醇杆菌属(*Sphingobacterium*)、水生菌属(*Hydrophilus*)和蓝藻属(*Cynobacterium*), 以及条件致病菌如 *Acinetobacter*、*Staphylococcus* 和 *Enterobacter*。

然而, 并非所有研究结果均一致。例如, 对波兰室内健身器材表面沉降灰尘的测序数据显示[10] *Cyanobacteria* 占主导地位(46%)。进一步通过 NCBI 核苷酸数据库进行序列比对发现, 这些序列主要来源于松树的叶绿体 DNA, 提示样本可能受到花粉污染。尽管该研究也检出若干致病菌属, 但其相对丰度较低。此外, Turkskani 等人[18]对沙特阿拉伯两所健身房中分离出细菌进行了系统发育分析, 确定检出的细菌主要属于: *Bacillus*、短状杆菌属(*Brachybacterium*)、地芽孢杆菌属(*Geobacillus*)、细杆菌属(*Microbacterium*)、*Micrococcus* 和 *Staphylococcus*。

综合多项研究可见, 健身环境中的微生物组成复杂多样, 普遍存在以 *Firmicutes*、*Proteobacteria* 和 *Actinobacteria* 为主的核心菌群, 并在不同地区、室内外环境及器材类型间呈现一定差异, 且条件致病菌在多个健身环境中被检出。未来研究需进一步结合环境参数与使用频率等因素, 深化对健身环境微生物暴露与健康风险的理解。

3.2. 抗性基因及功能预测

Liang 等人[19]使用 Faprotax 对健身房微生物群落进行了功能预测。结果显示,化能异养、好氧化能异养、发酵作用、锰氧化、叶绿体相关功能及硝酸盐还原是该环境中细菌的主要功能。基于 Bugbase 的表型预测进一步证实健身房存在潜在的人类病原体,且这些细菌携带可移动遗传元件,可能参与耐药性或毒力因子的水平转移。此外,功能预测分析发现丛毛单胞菌属(*Comamonas*)、*Klebsiella*、罗氏菌属(*Rothia*)、*Acinetobacter*、*Micrococcus* 与癌症的发生和发展具有潜在关联。

为评估体操器材中抗生素耐药性传播的潜力,一项研究[7]针对以下基因进行了定量分析:16S rDNA 基因(代表总细菌水平)、整合酶基因 *int1*、磺胺类耐药基因 *sul1* [20]以及 β -内酰胺类耐药基因 *bla* TEM [21]。结果显示,双杠、哑铃和杠铃表面的整合酶基因 *int1* 显著增, *sul1* 基因在双杠表面显著富集,而 *bla* TEM 的丰度在单杠、哑铃、杠铃和仰卧起坐凳表面显著增加。以上结果表明,运动器材可以显著富集耐药基因,促进其传播,并可能导致耐药性的扩散。

4. 健身环境中微生物群落多样性

随着高通量测序技术的发展,健身环境中微生物多样性的研究取得了显著进展。现有研究揭示了健身器材类型影响微生物群落多样性[17]。如美国健身中心发现不同设备表面的物种丰富度依次为:固定自行车 > 哑铃 > 椭圆机 > 下蹲机 > 跑步机 > 力量训练器 > 动感单车[16]。另一项研究指出攀爬架的微生物群落丰富度和多样性在所有器材中最高,而单杠则最低[7]。

除了健身器材表面类型[7],人类接触也是影响微生物群落结构的重要因素。Wood 等人[17]根据主要人类接触方式将健身器材表面分为“手接触”(如椭圆机把手、自由重量和长凳)和“鞋接触”(如地板和垫子)两类。研究结果显示,这两类表面所形成的微生物群落结构存在显著差异,并呈现明显聚类。其中,“鞋接触”表面拥有更大的核心微生物,其丰富度和均匀度均高于“手接触”表面。此外,比较室内与室外健身器材的研究表明[7],两者表面的微生物群落具有显著区别。这一发现明确提示,室内健身环境中的微生物研究结果不能直接外推广至室外环境,在制定清洁和消毒策略时需区别对待。总体而言,健身环境中的微生物群落结构受器材类型、人体接触方式及室内外环境等多重因素的影响。未来研究应进一步关注这些因素之间的交互效应,以推动更具针对性的卫生管理策略的制定,从而有效保障运动环境的微生物安全。

5. 健身环境中微生物群落驱动因素

有研究利用基于地球微生物组项目数据库训练的 SourceTracker 工具,对健身房表面微生物的来源环境进行了追溯分析。结果显示,健身器材表面的细菌群落最可能来源于人体皮肤[17];室内与室外健身环境微生物群落结构的差异进一步支持了这一结论[7]。健身过程中用户大量出汗导致的潮湿环境、剧烈运动扬起的尘埃,以及频繁接触器械表面、地垫和扶手等行为,均可促进微生物的生长与传播[10],凸显人类活动是塑造健身环境微生物群落结构的关键驱动因素。

鉴于当前环境因子对健身环境微生物组成的影响尚缺乏研究,本节将通过讨论建成环境细菌群落的环境影响因素,进而延伸探讨可能塑造室内外健身环境的关键驱动因子。建筑环境的复杂性意味着其内部存在着多种潜在选择性压力,这些压力深刻影响着微生物群落的结构与多样性。现有研究证实,建筑内微生物群落通常由多种因素共同塑造,包括地理区位[22]、建筑设计与材料[23]、通风条件[24]、气象因素[25]、使用时间及人类活动水平[26] [27]等多因素共同塑造[14] [28]。此外,建筑组件(如防渗材料、密封构件、空气过滤器、空调系统、不可开启窗户)构成有效的物理屏障,显著限制了室外环境条件(如温

湿度、空气流通)和生物多样性向室内的渗透[3],形成独特的“建筑微生物屏障效应”。一项关于新建建筑在建设 and 投入使用过程中微生物群落的追踪研究表明[29],室内温度、相对湿度和 CO₂ 水平与细菌群落丰富度和多样性存在显著相关性。值得注意的是,在建筑启用后,室内细菌群落的丰富度和多样性普遍呈现下降趋势,这一现象通常与室外(细菌群落更具多样性)菌群输入受限以及室内环境的选择性压力有关。对于室外微生物群落的研究,大量研究聚焦于季节更替对微生物群落结构和组成的显著影响。例如,校园户外表面微生物群落的整体模式在季节间存在显著差异,并通过统计分析(皮尔逊相关系数)揭示了季节性差异与气压和紫外线指数密切相关[30]。西班牙一项为期两年的不同季节性的同步调查表明,细菌群落的丰富度在春季/冬季显著低于比秋季/夏季,且驱动这种季节性动态变化的首要环境因素是温度,其次是空气中颗粒物(PM₁₀)浓度和平均风速[31]。

综上,基于建成环境的研究可推测出健身环境微生物群落可能受人类活动、环境因子等多种因素驱动。一方面,健身者与器材表面的直接接触贡献了器材表面最主要的微生物来源(人体皮肤菌群),且运动中产生的汗液湿环境、扬尘以及持续接触性进一步强化了微生物传播效率。另一方面,建筑自身的物理特性(如密闭性、通风设计)构成了关键的“屏障效应”,显著调节着室外环境对室内微生物组的影响。同时,动态变化的环境参数(如温湿度、CO₂、以及 PM₁₀ 等空气污染物)不仅直接影响室内外微生物的分布特征,更能解释其季节性变异。因此,全面理解健身环境卫生风险,应将环境因子的调控作用(建筑微气候、季节更替)与已知的人类活动影响整合评估,从而为精准的环境干预策略提供理论基础。

6. 结论与展望

健身环境微生物群落分布特征与影响因素的研究已取得一定成果,其微生物组成具有显著的空间异质性和时间动态性,人类活动、环境因子和气候条件共同塑造了微生物群落结构。重要病原微生物的检出及其耐药性特征的发现,凸显了环境微生物在疾病传播中的潜在风险。此外,健身环境的微生物可能并非直接的机会性病原体,而是与癌症发生发展相关。然而,当前研究仍存在明显局限性,户外健身环境的研究还缺乏探索。未来研究需扩大对象范围,加强对户外健身设施(如社区广场、健身路径)的系统调查,深化机制研究,量化环境因子(温湿度、UV 辐射)与微生物群落动态的关系,结合宏基因组学解析耐药基因传播路径,为健身化境安全管理与全民健身公共卫生策略提供科学支撑,助力健康城市建设。

参考文献

- [1] Nabaweesi, R., Hanna, M., Muthuka, J.K., Samuels, A.D., Brown, V., Schwartz, D., *et al.* (2023) The Built Environment as a Social Determinant of Health. *Primary Care: Clinics in Office Practice*, **50**, 591-599. <https://doi.org/10.1016/j.pop.2023.04.012>
- [2] Bole, A., Bernstein, A., White, M.J., Bole, A., Balk, S.J., Byron, L.G., *et al.* (2024) The Built Environment and Pediatric Health. *Pediatrics*, **153**, e2023064772. <https://doi.org/10.1542/peds.2023-064772>
- [3] Bosch, T.C.G., Wigley, M., Colomina, B., Bohannan, B., Meggers, F., Amato, K.R., *et al.* (2024) The Potential Importance of the Built-Environment Microbiome and Its Impact on Human Health. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **121**, e2313971121. <https://doi.org/10.1073/pnas.2313971121>
- [4] Bulletin of the 2020 National Fitness Activity Survey. <https://www.sport.gov.cn/n315/n329/c24335053/content.html>
- [5] Dalman, M., Bhatta, S., Nagajothi, N., Thapaliya, D., Olson, H., Naimi, H.M., *et al.* (2019) Characterizing the Molecular Epidemiology of Staphylococcus Aureus across and within Fitness Facility Types. *BMC Infectious Diseases*, **19**, Article No. 69. <https://doi.org/10.1186/s12879-019-3699-7>
- [6] Fadare, O.S. and Durojaye, O.B. (2019) Antibiotic Susceptibility Profile of Bacteria Isolated from Fitness Machines in Selected Fitness Centers at Akure and Elizade University in Ondo State Nigeria. *Microbiology Research Journal International*, **26**, 1-9. <https://doi.org/10.9734/mrji/2018/v26i630084>
- [7] Zhang, M., Ma, Y., Xu, H., Wang, M. and Li, L. (2023) Surfaces of Gymnastic Equipment as Reservoirs of Microbial Pathogens with Potential for Transmission of Bacterial Infection and Antimicrobial Resistance. *Frontiers in Microbiology*,

- 14, Article 1182594. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1182594>
- [8] Kiborus, L.J., Altheide, S.T. and Marion, J.W. (2025) Characterization of the Prevalence and Antibiotic Resistance of Staphylococcus Species in an Exercise Facility in Central Kentucky, USA. *Hygiene*, 5, Article 2. <https://doi.org/10.3390/hygiene5010002>
 - [9] Szulc, J., Cichowicz, R., Gutarowski, M., Okrasa, M. and Gutarowska, B. (2023) Assessment of Dust, Chemical, Microbiological Pollutions and Microclimatic Parameters of Indoor Air in Sports Facilities. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20, Article 1551. <https://doi.org/10.3390/ijerph20021551>
 - [10] Szulc, J., Okrasa, M., Ryngajłło, M., Pielech-Przybylska, K. and Gutarowska, B. (2023) Markers of Chemical and Microbiological Contamination of the Air in the Sport Centers. *Molecules*, 28, Article 3560. <https://doi.org/10.3390/molecules28083560>
 - [11] Boonrattanakij, N., Yomchinda, S., Lin, F., Bellotindos, L.M. and Lu, M. (2021) Investigation and Disinfection of Bacteria and Fungi in Sports Fitness Center. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 52576-52586. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14323-5>
 - [12] Małecka-Adamowicz, M., Kubera, Ł., Jankowiak, E. and Dembowska, E. (2019) Microbial Diversity of Bioaerosol Inside Sports Facilities and Antibiotic Resistance of Isolated Staphylococcus spp. *Aerobiologia*, 35, 731-742. <https://doi.org/10.1007/s10453-019-09613-y>
 - [13] Brągoszewska, E., Biedroń, I. and Mainka, A. (2020) Microbiological Air Quality in a Highschool Gym Located in an Urban Area of Southern Poland-Preliminary Research. *Atmosphere*, 11, Article 797. <https://doi.org/10.3390/atmos11080797>
 - [14] Saini, J., Dutta, M. and Marques, G. (2020) A Comprehensive Review on Indoor Air Quality Monitoring Systems for Enhanced Public Health. *Sustainable Environment Research*, 30, Article No. 6. <https://doi.org/10.1186/s42834-020-0047-y>
 - [15] Markley, J.D., Edmond, M.B., Major, Y., Bearman, G. and Stevens, M.P. (2012) Are Gym Surfaces Reservoirs for *Staphylococcus aureus*? A Point Prevalence Survey. *American Journal of Infection Control*, 40, 1008-1009. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2012.01.015>
 - [16] Mukherjee, N., Dowd, S., Wise, A., Kedia, S., Vohra, V. and Banerjee, P. (2014) Diversity of Bacterial Communities of Fitness Center Surfaces in a U.S. Metropolitan Area. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11, 12544-12561. <https://doi.org/10.3390/ijerph111212544>
 - [17] Wood, M., Gibbons, S.M., Lax, S., Eshoo-Anton, T.W., Owens, S.M., Kennedy, S., et al. (2015) Athletic Equipment Microbiota Are Shaped by Interactions with Human Skin. *Microbiome*, 3, Article No. 25. <https://doi.org/10.1186/s40168-015-0088-3>
 - [18] Turkstani, M.A., Sultan, R.M.S., Al-Hindi, R.R. and Ahmed, M.M.M. (2021) Molecular Identification of Microbial Contaminations in the Fitness Center in Makkah Region. *Bioscience Journal*, 37, e37020. <https://doi.org/10.14393/bj-v37n0a2021-50400>
 - [19] Liang, Z., Dong, C.B., Liang, H., Zhen, Y.X., Zhou, R.L., Han, Y.F., et al. (2022) A Microbiome Study Reveals the Potential Relationship between the Bacterial Diversity of a Gymnastics Hall and Human Health. *Scientific Reports*, 12, Article No. 5663. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09355-x>
 - [20] Razavi, M., Marathe, N.P., Gillings, M.R., Flach, C., Kristiansson, E. and Joakim Larsson, D.G. (2017) Discovery of the Fourth Mobile Sulfonamide Resistance Gene. *Microbiome*, 5, Article No. 160. <https://doi.org/10.1186/s40168-017-0379-y>
 - [21] Browne, A.J., Chipeta, M.G., Haines-Woodhouse, G., Kumaran, E.P.A., Hamadani, B.H.K., Zarea, S., et al. (2021) Global Antibiotic Consumption and Usage in Humans, 2000-18: A Spatial Modelling Study. *The Lancet Planetary Health*, 5, e893-e904. [https://doi.org/10.1016/s2542-5196\(21\)00280-1](https://doi.org/10.1016/s2542-5196(21)00280-1)
 - [22] Chase, J., Fouquier, J., Zare, M., Sonderegger, D.L., Knight, R., Kelley, S.T., et al. (2016) Geography and Location Are the Primary Drivers of Office Microbiome Composition. *mSystems*, 1, 1-18. <https://doi.org/10.1128/msystems.00022-16>
 - [23] Inkpen, S.A. (2019) Health, Ecology and the Microbiome. *eLife*, 8, e47626. <https://doi.org/10.7554/elife.47626>
 - [24] Brągoszewska, E. and Biedroń, I. (2018) Indoor Air Quality and Potential Health Risk Impacts of Exposure to Antibiotic Resistant Bacteria in an Office Rooms in Southern Poland. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15, Article 2604. <https://doi.org/10.3390/ijerph15112604>
 - [25] Amato, P., Besaury, L., Joly, M., Penaud, B., Deguillaume, L. and Delort, A. (2019) Meta-Transcriptomic Exploration of Microbial Functioning in Clouds. *Scientific Reports*, 9, Article No. 4383. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41032-4>
 - [26] Feng, Z., Shen, H., Nie, Y. and Wu, X. (2021) The Impacts of the Occupants on the Bacterial Communities of Classrooms. *Current Microbiology*, 78, 2112-2121. <https://doi.org/10.1007/s00284-021-02451-7>

-
- [27] An, X.L., Xu, J.X., Xu, M.R., *et al.* (2023) Dynamics of Microbial Community and Potential Microbial Pollutants in Shopping Malls. *mSystems*, **8**, e0057622. <https://doi.org/10.1128/msystems.00576-22>
- [28] Rai, S., Singh, D.K. and Kumar, A. (2021) Microbial, Environmental and Anthropogenic Factors Influencing the Indoor Microbiome of the Built Environment. *Journal of Basic Microbiology*, **61**, 267-292. <https://doi.org/10.1002/jobm.202000575>
- [29] Young, G.R., Sherry, A. and Smith, D.L. (2023) Built Environment Microbiomes Transition from Outdoor to Human-Associated Communities after Construction and Commissioning. *Scientific Reports*, **13**, Article No. 15854. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-42427-0>
- [30] Chen, C., He, R., Cheng, Z., Han, M., Zha, Y., Yang, P., *et al.* (2019) The Seasonal Dynamics and the Influence of Human Activities on Campus Outdoor Microbial Communities. *Frontiers in Microbiology*, **10**, Article 1579. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01579>
- [31] Núñez, A., García, A.M., Moreno, D.A. and Guantes, R. (2021) Seasonal Changes Dominate Long-Term Variability of the Urban Air Microbiome across Space and Time. *Environment International*, **150**, Article 106423. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106423>