·环境与职业卫生·

尘肺病患者肺康复效果及运动能力影响因素分析

吴昊鑫，徐娇，温滨滨，张雨，周丁子，杜文，彭莉君
四川大学华西公共卫生学院 / 华西第四医院，四川 成都 610041

摘要：目的　评估尘肺病患者肺康复效果，并探讨其影响因素。**方法**　提取四川省尘肺病康复站信息系统 2023 年 1 月—2025 年 3 月的尘肺病患者数据，涵盖人口学特征、疾病分期、康复干预数据及肺康复前后的肺功能与运动耐力评估结果。采用协方差分析评估疾病分期与方案完成度对康复结局的影响，并用广义可加混合效应模型探讨六分钟步行距离（six-minute walk distance，6MWD）的影响因素。**结果**　与基线相比，患者静息脉搏血氧饱和度（pulse oxygen saturation，SpO_2）水平改善（V=231 758.500，$P<0.001$），6MWD 增加（V=341 253.500，$P<0.001$），第 1 秒用力呼气容积（forced expiratory volume in 1 second，FEV1）/ 用力肺活量（forced vital capacity，FVC）显著改善（V=323 841.000，$P<0.001$），最大吸气压力（maximal inspiratory pressure，MIP）提高（V=2 183 903.000，$P=0.001$）；尘肺叁期患者的各项指标均显著低于壹期和贰期（$P<0.05$），而壹期与贰期之间差异均无统计学意义（$P>0.05$）；完整执行康复方案患者的 FEV1/FVC（$F=9.085$，$P=0.003$）和最大呼气压力（maximal expiratory pressure，MEP）（$F=5.541$，$P=0.019$）改善显著优于不完整全执行患者。尘肺病患者的 6MWD 受尘肺病类型（煤工尘肺：$t=2.729$，$P=0.006$；矽肺 $t=2.230$，$P=0.026$）、年龄（$F=42.672$，$P<0.001$）、基础 6MWD（$F=36.756$，$P<0.001$）、随访时间（$F=3.975$，$P<0.001$）的影响。**结论**　尘肺病康复站康复治疗可有效促进患者运动能力和肺功能的改善，患者经康复后的 6MWD 受到尘肺类型、年龄、基础能力、随访时间的影响。

关键词：尘肺病；肺康复；六分钟步行距离；肺功能；尘肺病康复站
中图分类号：R135.2　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1003-8507（2026）19-3512-07
DOI：10.20043/j.cnki.MPM.202604363

Effects of pulmonary rehabilitation and influencing factors of exercise capacity in patients with pneumoconiosis

WU Hao-xin, XU Jiao, WEN Bin-bin, ZHANG Yu, ZHOU Ding-zi, DU Wen, PENG Li-jun
West China School of Public Health/West China Fourth Hospital, Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610041, China

Abstract: Objective To assess the pulmonary rehabilitation effects in patients with pneumoconiosis and explore their influencing factors. **Methods** Data of pneumoconiosis patients (Jan 2023—Mar 2025) were extracted from Sichuan rehabilitation stations, encompassing demographics, disease staging, rehabilitation intervention parameters, and pre/post-rehabilitation pulmonary function and exercise tolerance. ANCOVA evaluated the effects of disease stage and program completion level on outcomes, while a generalized additive mixed model (GAMM) explored factors influencing the 6-minute walk distance (6MWD). **Results** Compared with baseline, patients showed improvements in resting peripheral oxygen saturation (SpO_2) (V=231 758.500, $P<0.001$), 6MWD (V=341 253.500, $P<0.001$), forced expiratory volume in 1 second (FEV1)/forced vital capacity (FVC) (V=323 841.000, $P<0.001$), and maximal inspiratory pressure (MIP) (V=2 183 903.000, $P=0.001$). Patients with stage III pneumoconiosis had significantly lower values for all indicators compared with those in stages I and II ($P<0.05$), while no significant differences were observed between stages I and II ($P>0.05$). Patients who fully completed the rehabilitation program demonstrated significantly greater improvements in FEV1/FVC ($F=9.085$, $P=0.003$) and maximal expiratory pressure (MEP) ($F=5.541$, $P=0.019$) than those with incomplete program implementation. The 6MWD of pneumoconiosis patients was influenced by pneumoconiosis type (coal workers' pneumoconiosis: $t=2.729$, $P=0.006$; silicosis: $t=2.230$, $P=0.026$), age ($F=42.672$, $P<0.001$), baseline 6MWD ($F=36.756$, $P<0.001$), and follow-up time ($F=3.975$, $P<0.001$). **Conclusion** Rehabilitation therapy at pneumoconiosis rehabilitation stations effectively improves exercise capacity and pulmonary function in patients. Post-rehabilitation 6MWD is influenced by pneumoconiosis type, age, baseline functional capacity, and follow-up duration.

Keywords: Pneumoconiosis; Pulmonary rehabilitation; Six-minute walk distance; Pulmonary function; Pneumoconiosis rehabilitation station

尘肺病是长期吸入生产性矿物性粉尘所致的以肺纤维化为主的肺部疾病[1]，尚无治愈手段，患者长期面对症状反复、活动受限及生活质量下降等问题，疾病负担较重[2-5]。肺康复作为慢性呼吸系统疾病的重

基金项目：四川省卫生健康委员会医学科技项目（23LCYJ009）
作者简介：吴昊鑫（2002—），男，硕士在读，研究方向：公共卫生
通信作者：彭莉君，E-mail：penglijun711@163.com

要综合干预措施，在全面评估的基础上，通过运动、呼吸训练和健康教育等方式改善患者功能状态和整体健康水平[6]。为加强尘肺病患者的健康管理，国家卫生健康委员在患者比较集中的乡镇或社区建立了尘肺病康复站，为患者提供肺康复治疗和健康指导。

本研究基于四川省尘肺病康复站数据，评估基层患者康复效果，并识别影响其运动能力的关键因素，以期为优化康复站建设、完善尘肺病基层连续健康管理模式提供科学依据。

1　对象与方法

1.1　研究对象　本研究数据来源于四川省尘肺病康复管理信息系统，该系统汇总了全省尘肺病康复站点的数据信息。尘肺病康复站依据整体规划分批次建立，本研究选取 2023 年 1 月—至 2025 年 3 月为数据提取窗口，以首批康复站中登记在册的尘肺病患者作为初始研究人群，进行回顾性分析。

纳入标准：（1）经医疗机构明确诊断为尘肺病[7]；（2）身份证号完整，可支持数据溯源；（3）有明确记录的肺康复训练项目及完成情况。初始符合纳入标准的患者共 2 437 例。

排除标准：（1）尘肺期别、类型等疾病特征变量缺失，且溯源无法补充；（2）六分钟步行试验（six-minute walk test，6MWT）或肺功能检查记录中任何一项的记录次数不足 2 次；（3）存在有测试禁忌症患者数据[8]。

依据排除标准对初始人群进行逐步筛选。首先排除疾病特征变量缺失者 308 例；接着排除仅有单次 6MWT 或肺功能记录者 901 例；最后排除存在测试禁忌症者 139 例，最终纳入 1 089 例尘肺病患者数据用于分析。本次研究通过四川大学华西第四医院伦理审查（编号：HXSY-EC-KS2021005）。

1.2　干预措施　尘肺病康复站依托基层医疗机构，配备专职医务人员与标准化训练场地，贯彻个体化精细康复理念。患者入站后接受一般健康状况、静息心肺生理指标、肺功能及运动耐力等系统基线评估，医生据此定制个体化康复处方。干预项目要点如下：

（1）呼吸功能训练：涵盖吸气肌与呼气肌训练。根据基线肺功能及气道受限程度设定初始干预参数，包括训练模式（手动 / 自动模式）、阻力难度（依据耐受度调节）、单次训练次数、当日总训练频次。

（2）综合肢体训练：含固定自行车、上肢功率车及常规阻力训练。依据运动耐力及 Borg 评分设定参数，包括训练模式（有氧耐力 / 抗阻）、阻力挡位、单次有效训练时长（min）、当日训练频次。

（3）医护人员结合肺功能、6MWD 等定期复评结果，动态升级并个性化调整设备参数，训练前后均进行规范化量表评估与随访观察。同时，康复站落实健康教育与自我管理干预，涵盖尘肺病知识、日常呼吸技巧、饮食营养、规范用药及心理疏导，从而构建生理与心理并重的全周期综合康复体系。

1.3　康复方案执行情况定义　康复站标准流程中，入站评估后患者均被制定包含呼吸训练和肢体训练的个体化康复处方。但分析实际执行记录发现，患者仅呈现两种模式：同时完成呼吸与肢体训练，或仅完成肢体训练且无呼吸训练记录；未见仅完成呼吸训练者。据此将执行情况作为二分类变量分组：完整执行组（有呼吸和肢体训练记录）与不完整执行组（仅有肢体训练记录）。该分组基于系统操作记录，真实反映康复方案执行差异。

1.4　康复效果评定指标

1.4.1　6MWT 患者在平坦硬质地面上尽力行走 6 min，记录行走的总直线距离作为 6MWD[9]，测得 6MWD 越短，提示患者的运动能力越差。测试期间使用指夹式脉搏血氧仪连续监测脉搏血氧饱和度（pulse oxygen saturation，SpO_2）。

1.4.2　Borg 量表是广泛应用于评估主观用力感知的工具，采用 10 级量表评价患者的呼吸努力程度，分值越高表明呼吸困难越重[10]。

1.4.3　肺功能指标　通过测量特定时间内的气体吸入与呼出能力以评估治疗干预效果[11]，使用指标包括第 1 秒用力呼气容积（forced expiratory volume in 1 second，FEV1）、用力肺活量（forced vital capacity，FVC），以及二者的比值 FEV1/FVC（一秒率）。

1.4.4　呼吸肌功能指标[12]反映膈肌等吸气肌力量的最大吸气压力（maximal inspiratory pressure，MIP），评估腹肌与肋间肌等呼气肌力量的最大呼气压力（maximal expiratory pressure，MEP）。

1.5　统计学方法　所有统计分析均使用 R 4.5.1 完成，显著性阈值 α=0.05。

1.5.1　缺失数据处理　原始数据存在完全随机缺失，采用 R 包 mice 基于随机森林算法（miss-forest）[13]进行多重插补，生成 5 个插补数据集，并依据 Rubin 合并规则对分析结果进行整合。

1.5.2　描述性统计与干预前后比较　基线特征采用描述性统计方法，经 Shapiro-Wilk 检验判断正态性后，正态连续变量以（$\bar{x} \pm s$）表示，非正态以［$M(P_{25}, P_{75})$］表示，分类变量以频数（%）表示。肺康复前后 6MWD、Borg 评分、静息 SpO_2 及肺功能指标的变化，对符合正态分布者采用配对 t 检验，非正态分布者采用 Wilcoxon 符号秩检验。

1.5.3　协方差分析　为控制基线差异对结局的潜在影响，采用协方差分析（analysis of covariance，

ANCOVA）模型[14]，以各结局指标末次随防值为因变量，对应基线值作为协变量进行调整。

（1）尘肺分期效应分析：以尘肺期别（壹期、贰期、叁期）作为固定效应因素，分析不同分期患者在调整基线后的结局差异。若总体效应具有统计学意义（$P<0.05$），进一步采用 Tukey 法进行事后两两比较。

（2）康复方案完成度效应分析：以肺康复方案的执行情况（完整执行、不完整执行）作为固定效应，分析肺康复方案完成度对各项心肺及运动耐力指标改善效益的差异。

效应量采用偏 η 平方（partial eta squared，η_p^2）进行评估，0.01、0.06 及 0.14 分别代表小、中及大效应量[15]。

1.5.4　广义可加混合效应模型　为探讨 6MWD 的影响因素并考虑重复测量及个体内相关性[16]，构建广义可加混合效应模型（generalized additive mixed models，GAMM）[17]。模型形式如下：

$$g(\mu_i)=\beta_0+f_1(x_{1ij})+f_2(x_{2ij})+\cdots+f_p(x_{pij})+Z_{ij}b_i+\varepsilon_{ij}$$

下标 i 和 j 表示层次结构，i 代个体/组别，j 代表个体/组别内的重复测量。Z_{ij} 是随机效应的设计矩阵，b_i 是随机效应，$f_p(.)$是平滑函数，用于捕捉每个预测变量与响应变量之间的非线性关系。ε 是误差项，β_0 是常数。

模型以尘肺类型及分期为固定效应，连续协变量采用薄板回归样条平滑拟合，并对收缩压与舒张压设置交互平滑项。同时纳入总体时间平滑项、个体特异性时间平滑项及患者随机结局，以刻画总体时间趋势、个体差异与个体内相关性。平滑项复杂度由有效自由度（effective degrees of freedom，edf）评估：edf=1 为线性，edf>1 为非线性，且值越大非线性越强。模型基于 R 包 mgcv（1.9.3）拟合，基维数经诊断确定，平滑参数以 REML 方法估计。

2　结　果

2.1　数据资料基线特征　本研究纳入的尘肺病患者全部为男性，其中位年龄为 59.6（54.7，68.8）岁，中位身体质量指数（body mass index，BMI）为 23.6（21.6，25.7）kg/m^2。患者的具体尘肺类型与期别见表 1。

表 1　尘肺类型 / 期别

Table 1　Pneumoconiosis type/stage

尘肺类型 / 期别	例数（%）
尘肺类型	
煤工尘肺	847（77.14）
矽肺	245（22.31）
其他类型尘肺	6（0.55）
尘肺期别	
尘肺壹期	665（60.56）
尘肺贰期	338（30.78）
尘肺叁期	95（8.66）

注：其他类型尘肺包含 1 例电焊工尘肺；1 例石棉肺；3 例水泥尘肺；1 例陶工尘肺。

2.2　尘肺患者肺康复训练效果比较　肺康复前后指标比较结果见表 2，6MWT 前 Borg 评分显著升高，静息 SpO_2、6MWD、FEV_1/FVC 及 MIP 均显著改善，FVC 显著下降；FEV1 在康复前后基本持平（差异有统计学意义但无临床意义），MEP 差异无统计学意义。

表 2　肺康复前后比较结果［$M(P_{25},P_{75})$］

Table 2　Comparison of measurements before and after pulmonary rehabilitation［$M\ (P_{25},\ P_{75})$］

变量	肺康复前	肺康复后	V 值	P 值
Borg	0.5（0，2）	1（0.5，2.0）	172 658.000	<0.001
静息 SpO_2（%）	96（95，98）	97（96，98）	231 758.500	<0.001
6MWD（m）	350（276，407）	365（300，420）	341 253.500	<0.001
FVC（L）	2.84（2.27，3.46）	2.76（2.03，3.39）	236 226.500	<0.001
FEV_1（L）	2.01（1.47，2.52）	2.00（1.39，2.52）	264 966.500	0.048
FEV_1/FVC	0.72（0.61，0.79）	0.74（0.64，0.81）	323 841.000	<0.001
MEP（cm H_2O）	56（34，82）	58（34，84）	2 146 010.00	0.132
MIP（cm H_2O）	40（28，56）	42（29，57）	2 183 903.000	0.001

注：肺康复前指首次评估数据，肺康复后指肺康复训练后数据。

2.3　不同期别尘肺患者肺康复效果比较　校正基线协变量后的 ANCOVA 结果显示：尘肺期别对静息 SpO_2、静息心率、6MWD 及 FVC 的改善无显著主效应，但对通气功能与呼吸肌力指标（FEV1、FEV1/FVC、MEP 及 MIP）主效应显著。事后比较表明，壹期与贰期在上述四项指标调整后均值上无显著差异，且均显著优于叁期。见表 3。

2.4　不同方案完成度对肺康复训练效果的影响　不同方案完成度患者结局指标的 ANCOVA 分析结果显示，调整基线后，两组 FEV1/FVC、MEP 差异显著，静息 SpO_2、静息心率、Borg 评分、血压、FEV_1、FVC、MIP 差异均无统计学意义；完整执行方案组的患者在 FEV1/FVC 和 MEP 的改善显著优于不完整执行方案组。见表 4。

表 3　不同期别患者康复指标分析结果[adjusted mean(95%*CI*)]

Table 3　Analysis of rehabilitation metrics among patients with different disease stages [adjusted mean (95% *CI*)]

变量	尘肺壹期	尘肺贰期	尘肺叁期	*P* 值	η_p^2
静息 SpO_2	96.46 (96.31 ~ 96.61)	96.51 (96.29 ~ 96.72)	96.54 (96.14 ~ 96.94)	0.870	<0.001
静息心率(次 /min)	82.9 (82.0 ~ 83.7)	84.4 (83.3 ~ 85.5)	83.2 (81.1 ~ 85.4)	0.350	0.004
6MWD(m)	363 (357 ~ 369)	363 (354 ~ 373)	347 (330 ~ 364)	0.087	0.003
FVC(L)	2.73 (2.66 ~ 2.79)	2.75 (2.67 ~ 2.83)	2.61 (2.45 ~ 2.77)	0.120	0.002
FEV_1(L)	1.96 (1.91 ~ 2.01)[a]	1.98 (1.91 ~ 2.05)[a]	1.75 (1.62 ~ 1.88)[b]	0.003	0.009
FEV_1/FVC	0.72 (0.71 ~ 0.73)[a]	0.72 (0.70 ~ 0.73)[a]	0.65 (0.62 ~ 0.68)[b]	<0.001	0.019
MEP(cm H_2O)	63.48 (61.23 ~ 65.72)[a]	64.84 (61.69 ~ 67.99)[a]	54.87 (48.92 ~ 60.82)[b]	0.004	0.008
MIP(cm H_2O)	46.74 (45.26 ~ 48.23)[a]	47.34 (45.26 ~ 49.42)[a]	41.36 (37.44 ~ 45.28)[b]	0.008	0.007

注：调整后均值(95% *CI*)由协方差分析校正基线后估计；*P* 值反映分组主效应；不同字母表示事后两两比较差异显著，相同字母表示差异不显著。

表 4　不同方案完成组间指标差异[adjusted mean(95%*CI*)]

Table 4　Differences in rehabilitation metrics among groups with different program completion levels [adjusted mean (95% *CI*)]

变量	不完整执行方案组	完整执行方案组	*F* 值	*P* 值	η_p^2
静息 SpO_2(%)	96.21(95.86 ~ 96.55)	96.56(96.4 ~ 96.71)	3.671	0.056	0.016
静息心率(次 /min)	84.34(82.58 ~ 86.11)	84.93(84.14 ~ 85.72)	0.974	0.324	0.035
收缩压(mm Hg)	124.73(122.27 ~ 127.20)	122.92(121.82 ~ 124.02)	3.799	0.052	0.060
舒张压(mm Hg)	80.17(78.68 ~ 81.65)	79.17(78.51 ~ 79.84)	3.891	0.049	0.061
Borg	1.14(0.99 ~ 1.29)	1.19(1.13 ~ 1.26)	1.163	0.281	0.277
FVC(L)	2.73(2.61 ~ 2.86)	2.71(2.65 ~ 2.76)	0.258	0.612	0.266
FEV_1(L)	1.89(1.79 ~ 1.99)	1.96(1.92 ~ 2.01)	2.388	0.123	0.284
FEV_1/FVC	0.69(0.66 ~ 0.71)	0.72(0.71 ~ 0.73)	9.085	0.003	0.029
MEP(cm H_2O)	45.58(44.19 ~ 46.97)	49.65(46.54 ~ 52.76)	5.541	0.019	0.106
MIP(cm H_2O)	62.63(60.53 ~ 64.72)	65.32(60.64 ~ 70.01)	1.026	0.311	0.238

注：调整后均值(95% *CI*)由协方差分析校正基线后估计。

2.5　6MWD 影响因素相关性分析　模型中纳入变量的方差膨胀因子(variance inflation factor,VIF)均小于 10，无多重共线性。模型调整平滑参数后解释了 75.5%的调整方差。尘肺类型中煤工尘肺(t=2.729，P=0.006)和矽肺(t=2.230，P=0.026)与 6MWD 显著相关，期别无显著效应。

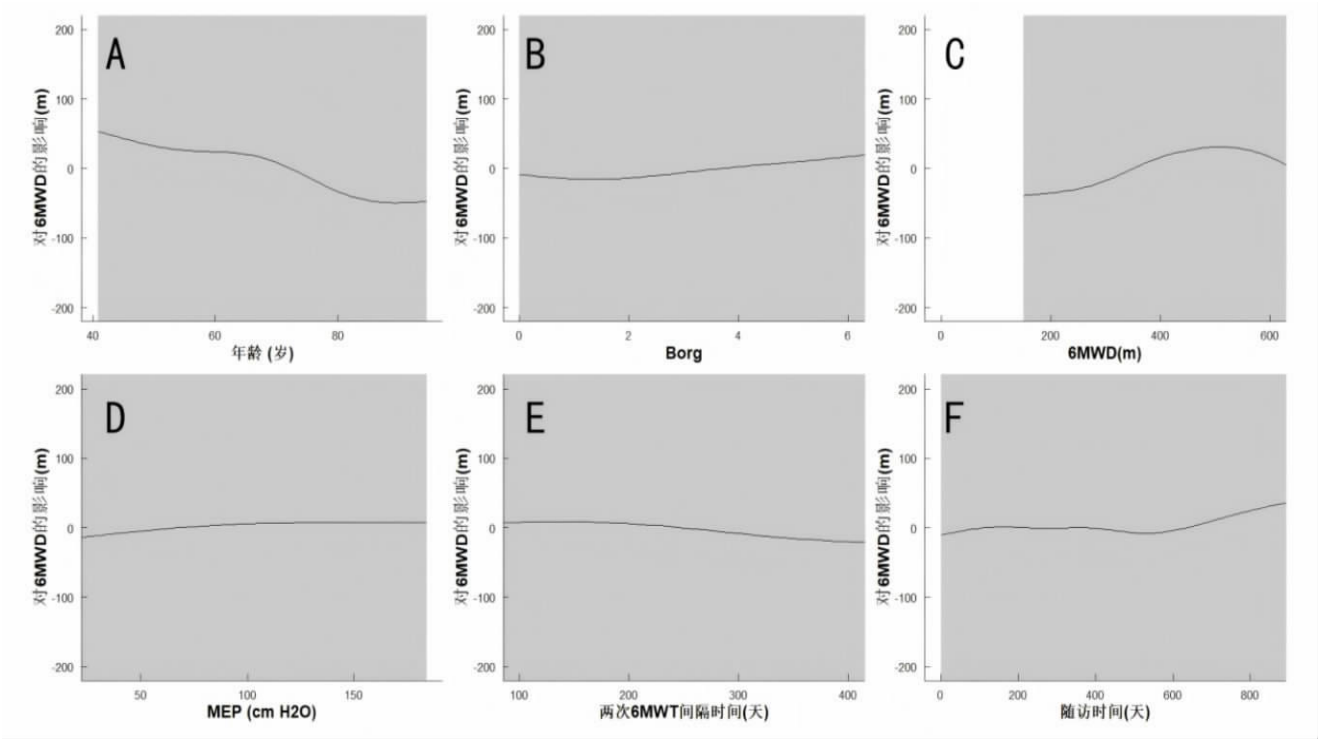
平滑项结果见表 5，显著平滑项偏效应图见图 1。年龄对 6MWD 呈显著非线性负效应；基线 6MWD 呈显著非线性正效应；Borg 评分、基线 MEP 及两次 6MWT 间隔时间虽有显著非线性效应，但曲线平坦，影响较小；随访时间效应显著且非线性，呈前期快速上升、中期平稳微降、后期再上升的阶段性特征。

表 5　平滑项结果

Table 5　Results of smooth terms

变量	有效自由度	参考自由度	*F* 值	*P* 值
年龄(岁)	3.665	3.781	42.672	<0.001
BMI(Kg/m^2)	1.000	1.000	1.478	0.224
静息 SpO_2(%)	1.650	2.001	0.560	0.567
心率(次 /min)	1.898	2.304	0.859	0.378
血压(mm Hg)	3.684	5.069	1.758	0.117
Borg	2.469	2.800	2.350	0.044
基础 6MWD(m)	5.049	5.811	36.756	<0.001
FVC(L)	1.000	1.000	0.002	0.969
FEV_1(L)	1.000	1.000	0.000	0.999
FEV_1/FVC	1.001	1.002	0.906	0.342
MEP(cm H_2O)	2.217	2.770	3.965	0.008
MIP(cm H_2O)	1.000	1.000	2.300	0.130
两次 6MWT 间隔时间(d)	3.866	4.572	4.789	<0.001
随访时间(d)	5.452	6.466	3.975	<0.001

注：基础 6MWD 指患者首次 6MWT 测试的结果；随访时间(d)指患者每次 6MWT 评估距离首次 6MWT 的天数。



注：A～F 为相应变量对 6MWD 变化的偏效应（GAMM平滑项）；A 为年龄（岁）；B 为 Borg 评分；C 为基础6MWD（m）；D 为基线 MEP（cm H_2O）；E 为两次6MWT 间隔时间（d）；F 为随访时间（d）。

图 1　模型显著平滑项效应图

Figure 1　Effects of significant smooth terms in the model

3　讨　论

缺乏有效干预的时，尘肺病患者生理功能呈进行性下降，6MWD 缩短与死亡率升高相关[18-19]，规范康复治疗可缓解功能衰退、改善生活质量[20]。本研究显示，患者经康复后 SpO_2、6MWD、FEV1/FVC、MIP 均显著改善，Borg 评分提高。既往研究证实肺康复可以提高间质性肺疾病患者 6MWD（t=−4.374，P<0.001）[21]，并使慢性阻塞性肺疾病（chronic obstructive pulmonary disease,COPD）合并阻塞性呼吸睡眠暂停患者 6MWD 增加（47.8 m，P=0.003）[22]。肺康复中 6MWD 改善常伴随 Borg 下降[23-24]，但本研究未观察到该现象，可能与评估人员更替及问卷填写、数据收集质量差异有关。此外，仅 MIP 改善而 MEP 无变化，提示吸气肌与呼气肌训练效果不均衡；因本研究为回顾性且未量化训练强度与专项内容，尚不能直接判定呼气肌训练不足，仅提示后续方案需强化呼气肌的针对性设计。

ANCOVA 校正基线后，FEV_1、FEV_1/FVC、MEP、MIP 在不同尘肺期别间差异显著，壹期与贰期优于叁期，壹期与贰期间无差异，提示随着尘肺病分期进展尤其至叁期，患者通气与呼吸肌损害可能进一步加重。叁期患者小气道功能障碍风险更高，气道损害可能更广泛[25]，而壹期和贰期患者肺部病变较轻、功能损害程度接近[26]，因此相关指标未见统计学差异。本研究发现，完整执行组的 FEV_1/FVC 及呼吸肌力改善显著优于不完整组，提示康复方案完成度对尘肺患者肺功能和呼吸肌的获益至关重要[27]。COPD 研究亦证实，在肢体运动基础上落实吸气肌训练与拉伸，能进一步增加膈肌厚度、提高吸气肌活动效率并减轻呼吸困难[28-29]。这也提示在基层实践中需建立依从性管理机制，以保障康复模块的完整执行，从而实现患者临床收益的最大化。

GAMM 分析显示，尘肺病患者的 6MWD 受尘肺病类型、年龄、基础 6MWD、随访时间影响；Borg 评分、MEP、两次 6MWT 间隔虽有统计学意义，但实际效益较小。煤工尘肺和矽肺在肺功能损伤和影像学上存在异质性[30-31]：与矽肺以纯二氧化硅细胞毒性及上皮损伤为核心不同，煤工尘肺还叠加混合粉尘暴露下的 IL-11 促纤维化信号及中性粒细胞 NETosis 介导的免疫调节异常[32-33]，提示两类尘肺的炎症与分子机制不同，从而可能通过影响肺功能损害与病理进展方式导致功能表现差异。本研究发现年龄与 6MWD 呈非线性负向关联，与既往负相关的报道[34]一致，单纯线性模型可能掩盖功能随年龄变化的趋势细节，这一发现为理解尘肺患者年龄相关功能变化提供更精细视角。

本研究发现，尘肺患者康复初期 6MWD 明显提高，随后进入平台期，但延长康复时间可进一步改善。

既往研究中肺康复项目通常持续 9～12 周，停止锻炼后获益渐降至肺康复前水平[35]，COPD 研究亦显示，大部分患者接受肺康复治疗后，其 6MWD 的改善在 12 个月内会消失，但重复肺康复可维持获益[36]，慢性肺疾病患者需要长时间的肺康复以获得最大功能获益。此外，本研究发现康复后 6MWD 与基础 6MWD 有关，既往 COPD 和间质性肺疾病研究也证实基线功能显著影响肺康复后 6MWD 或其变化[37-38]，这提示实践中需根据患者初始功能状态制定个体化康复方案。

本研究存在一定的局限性。一是，回顾性研究设计限制了因果推断的可靠性。二是，受样本量和数据分布制约，本研究仅描述了 6MWD 相关因素的非线性趋势，未能对效应曲线的具体拐点进行精确检验。此外，营养状况、心理状态等潜在混杂因素未纳入模型，可能影响结果的稳健性。

综上，尘肺病康复站的建立显示出积极的临床效果，站内肺康复训练可有效提升患者运动耐力并改善 FEV1/FVC。患者康复后的 6MWD 受尘肺类型、年龄、基础能力及随访时间等因素影响，提示训练方案需根据患者初始状态进行个体化定制，并重视持续随访及长期康复管理。同时，康复依从性会影响患者的最终临床获益，未来需完善全周期依从性管理，以最大化尘肺病康复的疗效。

利益冲突声明　本研究不存在任何利益冲突

参考文献

[1] 孙贵范. 职业卫生与职业医学[M]. 8 版. 北京：人民卫生出版社，2017.
Sun GF. Occupational health and occupational medicine[M]. 8th ed. Beijing: People's Medical Publishing House, 2017.(In Chinese)

[2] 国家卫生健康委员会. 中国卫生健康统计年鉴 -2023[M]. 北京：中国协和医科大学出版社，2024.
National Health Commission of the People's Republic of China. 2023 China Health Statistical Yearbook [M]. Beijing: Peking Union Medical College Press, 2024.(In Chinese)

[3] 国家卫生健康委员会. 2024 年我国卫生健康事业发展统计公报 [EB/OL]. [2026-08-10]. https://www.nhc.gov.cn/guihuaxxs/c100133/202512/f1c3a3c617484a27a1a26a468afbaeee.shtml.
National Health Commission of the People's Republic of China. Statistical Bulletin on the Development of Health Undertakings in China (2024) [EB/OL]. [2026-08-10]. https://www.nhc.gov.cn/guihuaxxs/c100133/202512/f1c3a3c617484a27a1a26a468afbaeee.shtml.(In Chinese)

[4] 董国强，张莹，乔利春，等. 1990-2021 年中国煤工尘肺疾病负担分析及未来趋势预测:基于 2021 年全球疾病负担研究[J]. 环境与职业医学，2025，42(10)：1162-1169.
Dong GQ, Zhang Y, Qiao LC, et al. Analysis of the disease burden of coal workers' pneumoconiosis in China from 1990 to 2021 and prediction of future trends: based on the Global Burden of Disease Study 2021[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2025, 42(10): 1162-1169.(In Chinese)

[5] 王小哲，汪婷，张华东，等. 重庆市尘肺病高发区县尘肺患者直接医疗费用及影响因素分析[J]. 工业卫生与职业病，2025，51(4)：312-316.
Wang XX, Wang T, Zhang HD, et al. Analysis of direct medical costs and influencing factors of pneumoconiosis patients in high-incidence districts and counties of Chongqing [J].Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2025, 51(4): 312-316.(In Chinese)

[6] Spruit MA, Singh SJ, Garvey C, et al. An official American Thoracic Society/European Respiratory Society statement: key concepts and advances in pulmonary rehabilitation [J]. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 2013, 188(8): e13-e64.

[7] 上海市质量技术监督局. DB31/T 1115-2018 职业性尘肺病的诊断路径[S]. 上海：上海市卫生健康委员会，2018.
Shanghai Municipal Bureau of Quality and Technical Supervision. DB31/T 1115-2018 Diagnostic pathway of occupational pneumoconiosis [S]. Shanghai: Shanghai Municipal Health Commission, 2018.(In Chinese)

[8] 中华医学会心血管病学分会，中国康复医学会心肺预防与康复专业委员会，中华心血管病杂志编辑委员会. 六分钟步行试验临床规范应用中国专家共识[J]. 中华心血管病杂志，2022，50(5)：432-442.
Chinese Society of Cardiology, Cardiopulmonary Prevention and Rehabilitation Committee of Chinese Association of Rehabilitation Medicine, Editorial Board of Chinese Journal of Cardiology. Chinese expert consensus on the clinical standardized application of 6-minute walk test [J]. Chinese Journal of Cardiology, 2022, 50(5): 432-442.(In Chinese)

[9] ATS Committee on Proficiency Standards for Clinical Pulmonary Function Laboratories. ATS statement: guidelines for the six-minute walk test [J]. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 2002, 166(1): 111-117.

[10] Scherr J, Wolfarth B, Christle JW, et al. Associations between Borg's rating of perceived exertion and physiological measures of exercise intensity [J]. European Journal of Applied Physiology, 2013, 113(1): 147-155.

[11] Graham BL. Standardization of spirometry 2019 update[J]. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 2019, 200: e70-e88.

[12] American Thoracic Society/European Respiratory Society. ATS/ERS statement on respiratory muscle testing [J]. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 2002, 166(4): 518-624.

[13] Stekhoven DJ, B ü hlmann P. MissForest--non-parametric missing value imputation for mixed-type data[J]. Bioinformatics, 2012, 28(1): 112-118.

[14] Khammar A, Yarahmadi M, Madadizadeh F. What is analysis of covariance (ANCOVA)and how to correctly report its results in medical research?[J]. Iranian Journal of Public Health, 2020, 49(5): 1016-1017.

[15] Lakens D. Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: a practical primer for t-tests and ANOVAs[J]. Frontiers in Psychology, 2013, 4: 863.

[16] Wood SN. Generalized additive models: an introduction with R[M]. 2nd ed. London: Chapman and Hall/CRC, 2017.

[17] Wood SN. Generalized additive models [J]. Annu Rev Stat Appl,

2025, 12: 497–526.

[18] 李欣,戴伟荣,刘文峰,等. 尘肺病患者三年肺功能变化研究[J]. 中华劳动卫生职业病杂志,2020,38(12):891–894.
Li X, Dai WR, Liu WF, et al. Study on changes of pulmonary function in patients with pneumoconiosis in three years [J]. Chinese Journal of Industrial Hygiene and Occupational Diseases, 2020, 38 (12): 891–894.(In Chinese)

[19] Vecchi E, Kilbey T, Sheth M, et al. The 6 minute walk test as a predictor of mortality in idiopathic pulmonary fibrosis: a systematic review[J]. Respiratory Investigation, 2025, 63(3): 334–341.

[20] 葛建文,薛婷,李志敏,等. 基于运动训练的呼吸康复治疗尘肺病患者疗效 meta 分析 [J]. 中国职业医学,2024,51(3):285–291.
Ge JW, Xue T, Li ZM, et al. Meta–analysis on the effects of exercise training–based respiratory rehabilitation therapy in pneumoconiosis patients[J]. China Occupational Medicine, 2024, 51(3): 285–291.(In Chinese)

[21] Pehlivan E, Çetinkaya E, Karaahmetoğlu FS, et al. The impact of different pulmonary rehabilitation approaches on fibrotic interstitial lung disease: a comparative randomized trial [J]. Expert Review of Respiratory Medicine, 2025, 19(9): 1027–1035.

[22] Shen HH, Xu YM, Zhang Y, et al. Efficacy of pulmonary rehabilitation in patients with chronic obstructive pulmonary disease and obstructive sleep apnea; a randomized controlled trial[J]. Journal of Rehabilitation Medicine : Official Journal of the UEMS European Board of Physical and Rehabilitation Medicine, 2024, 56: jrm23757.

[23] Xu JL, Li X, Zeng J, et al. Effect of Baduanjin Qigong on postoperative pulmonary rehabilitation in patients with non–small cell lung cancer: a randomized controlled trial[J]. Supportive Care in Cancer, 2023, 32(1): 73.

[24] Shui LL, Cai JJ, Zhong XQ, et al. Chronic obstructive pulmonary disease patients with high peripheral blood eosinophil counts have better predicted improvement in 6MWD after rehabilitation: a preliminary study[J]. Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention, 2023, 43(2): 122–128.

[25] Fan YL, Ma RM, Du XQ, et al. Small airway dysfunction in pneumoconiosis: a cross–sectional study [J]. BMC Pulmonary Medicine, 2022, 22(1): 167.

[26] Kakavas S, Kotsiou OS, Perlikos F, et al. Pulmonary function testing in COPD: looking beyond the curtain of FEV1 [J]. NPJ Prim Care Respir Med, 2021, 31(1): 23.

[27] Aubrat P, Albert E, Perreaux M, et al. Pulmonary telerehabilitation in COPD patients:a systematic review to analyse patients'adherence [J]. Healthcare, 2025, 13(15): 1818.

[28] Liu S, Yang A, Yu Y, et al. Exercise prescription training in chronic obstructive pulmonary disease:benefits and mechanisms [J]. International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease, 2025, 20: 1071–1082.

[29] Çelik Z, Güzel NA, Allahverdiyeva S, et al. Effects of simultaneous aerobic and inspiratory muscle training on diaphragm function, respiratory muscle strength, endurance, and fatigue index: randomized–controlled trial [J]. European Journal of Applied Physiology, 2025, 125(12): 3769–3783.

[30] Vanka KS, Shukla S, Gomez HM, et al. Understanding the pathogenesis of occupational coal and silica dust–associated lung disease [J]. European Respiratory Review: an Official Journal of the European Respiratory Society, 2022, 31(165): 210250.

[31] Matyga AW, Chelala L, Chung JH. Occupational lung diseases: spectrum of common imaging manifestations [J]. Korean Journal of Radiology : Official Journal of the Korean Radiological Society, 2023, 24(8): 795–806.

[32] Yang BJ, Liu XM, Peng C, et al. Silicosis: from pathogenesis to therapeutics[J]. Frontiers in Pharmacology, 2025, 16: 1516200.

[33] Jenkins I, Takubo T, Lernhardt W, et al. Coal workers' pneumoconiosis in the 21st century: emerging trends, treatment Gaps, and prognostic uncertainties in a resurgent occupational lung disease[J]. Am J Biomed Sci Res, 2026, 31(3): 329–336.

[34] De soomer K, Geubels K, Mendoza H, et al. New reference values for the 6–minute walk distance in a European population across the full adult age range[J]. Respiratory Medicine, 2025, 245: 108205.

[35] Moy ML.Maintenance pulmonary rehabilitation: an update and future directions[J]. Respiratory Care, 2024, 69(6): 724–739.

[36] Al CY, Bailly S, Amroussia I, et al. Trajectories of COPD patients' response to repeated pulmonary rehabilitation programs [J]. Respiratory Medicine, 2021, 190: 106678.

[37] Al CY, Bailly S, Veale D, et al. Predictors of changes in 6–min walking distance following pulmonary rehabilitation in COPD patients: a retrospective cohort analysis [J]. European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine, 2022, 58(2): 251–257.

[38] Brunetti G, Malovini A, Maniscalco M, et al.Pulmonary rehabilitation in patients with interstitial lung diseases:Correlates of success [J]. Respiratory Medicine, 2021, 185: 106473.

收稿日期:2026–04–23

(上接第 3484 页)

level and major adverse cardiovascular events in patients with percutaneous coronary intervention[J]. Cardiovascular Diagnosis and Therapy, 2024, 14(4): 621–629.

[21] Vayá A, Rivera L, De LER, et al. Red blood cell distribution width and erythrocyte deformability in patients with acute myocardial infarction [J]. Clinical Hemorheology and Microcirculation, 2015, 59 (2): 107–114.

[22] Luo J, Thomassen JQ, Nordestgaard BG, et al. Neutrophil counts and cardiovascular disease [J]. European Heart Journal, 2023, 44(47): 4953–4964.

[23] Dzubur A, Gacic E, Mekic M. Comparison of patients with acute myocardial infarction according to age [J]. Med Arch, 2019, 73(1): 23–27.

收稿日期:2026–06–03