ISSN 3105-6849 (print)
ISSN 3105-6857 (online)

衰老与再生医学

Aging and Regenerative Medicine

2025年 第1卷 第1期（双月刊）

CODEN:SYZYAL
（国际标准连续出版物标识符·全球唯一标识符）
分配机构：美国化学文摘社(CAS)

国图集团 CIBTC
进口备案刊号:G015Z135



MACAU SINO-FOREIGN MEDICAL
PUBLISHING LIMITED

ISSN 3105-6849 01
9 773105 684000

doi

OPEN ACCESS

www.SciOnline.com

扫码阅读


敬畏自然，方能生生不息
Awe nature, to achieve endless life.
地球是共同家园，守护需同心协力
The earth is a common home, protection requires joint efforts.

ISSN 3105-6849 (Print)
ISSN 3105-6857 (Online)

CODEN：SYZYAL

（国际标准连续出版物标识符·全球唯一标识符）
分配机构：美国化学文摘社（CAS）

中文名 衰老与再生医学
英文名 Aging and Regenerative Medicine
主办 澳门中外医药出版社
出版频率 双月刊
出版语言 中文，英语
出版机构 澳门中外医药出版社（MSFMP Ltd.）
编辑单位 《衰老与再生医学》编辑部
地址 澳门巴掌围斜巷19号7楼D
电话 +853 6881 9699
网址 slyzsyx.scionline2025.com
广告服务 QuestPress@hotmail.com
出版时间 2025年10月

版权所有
© 澳门中外医药出版社
（MSFMP Ltd.）

版权与许可声明
本期刊整体版权归属澳门中外医药出版社所有。所有发表文章均依据“知识共享署名 4.0 国际许可协议”（CC BY 4.0）进行授权发布。

许可链接
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

文章版权
单篇文章的著作权由作者与澳门中外医药出版社共同享有。

使用授权
著作权人已同意依据CC BY 4.0协议授予文章使用许可，使用者可在遵循协议条款（主要为署名要求）的前提下进行转载、改编或用于其他用途。

权责声明
1.本刊所发表文章中的观点、数据和结论仅代表作者个人立场，不代表本刊及出版机构的意见。
2.对于因使用文章任何内容（包括正文及引述材料）而可能引发的任何直接或间接损失，本刊及出版机构不承担任何法律责任。
3.本刊的出版行为不构成对文中提及任何产品、方法或技术的商业性能、有效性或特定用途适用性的任何形式担保或推荐。
4.本刊内容仅供学术与信息参考，不替代专业判断。读者在依据文章内容做出任何决策前，建议咨询相关领域专业人士。

编委会

主编 黎子辰

副主编 宋明哲 汤 丽 蔡 琪
郑庆阳 吴京京 张国栋
唐思琪 尹 琳 余 静

编委 柳 娜 宁夏医科大学总医院

编委会助理 杜 翔

Journal import
期刊进口
备案刊号：G015Z135

CIBTC 中国国际图书贸易集团公司
China International Book Trading Corporation

全球索引/检索/存档
Global Indexing/Retrieval/Archiving

扫二维码检索阅读
Scan QR Code to Search and Read

DOI 数字对象唯一标识符（英国）

Crossref 交叉引用（美国）

ICI 哥白尼期刊数据库（波兰）

EuroPub 欧洲学术出版中心数据库（英国）

ACADEMIA.EDU 学术界（美国）

J-Gate 开放获取期刊门户（印度）

CNKI 中国知网（中国）

WanFang 万方数据（中国）

CVIP 维普期刊（中国）

RCCSE 中国学术期刊目录（中国·武汉大学）

Baidu Scholar 百度学术（中国）

CJWK 长江文库（中国）

591adb 中邮阅读·万章期刊（中国）

OpenAlex 全球开源学术平台（加拿大）

全球索引/检索/存档
Global Indexing/Retrieval/Archiving

扫二维码检索阅读
Scan QR Code to Search and Read

SCRIBD 在线图书馆（美国）

Magzter 跨平台数字期刊（美国）

SlideShare 知识共享平台（美国）

EBSCO 学术数据库（美国）

RePEc 经济研究文献数据库（美国）

OUCI 开放乌克兰科学（乌克兰）

R Discovery 研究者发现平台（印度）

The Lens 透镜学术（澳大利亚）

Google Scholar 谷歌学术（美国）

Microsoft Bing 微软学术（美国）

ResearchGate 研究之门（德国）

Portico 学术文献保存库（美国）

ASCI 亚洲科学引文索引（美国）

Semantic Scholar 语义学术（美国）

全球索引/检索/存档
Global Indexing/Retrieval/Archiving

扫二维码检索阅读
Scan QR Code to Search and Read

ISSN（法国）

BOOKAN 博看（中国）

Issuu 数字出版平台（丹麦）

WorldCat 世界编目数据库（美国）

SPI-Hub 范德比尔特大学(美国)

MDPI scilit 科学与学术数据库（瑞士）

ProQuest 科睿唯安数据库（美国）

Research Commons 科睿唯安·研究共享平台（美国）

Scite（美国）

BASE 比勒费尔德学术搜索（德国）

ERIH+ 欧洲人文社会科学索引（挪威）

Yahoo!Search（美国）

Naver 搜遍（韩国）

LivRe! 开放期刊门户（巴西）

全球索引/检索/存档
Global Indexing/Retrieval/Archiving

扫二维码检索阅读
Scan QR Code to Search and Read

ResearchBib 研究者索引（日本）

KIND CONGRESS（阿塞拜疆）

TOGETHER WE REACH THE GOAL
SJIF 科学期刊影响因子（印度）

IP Indexing IP索引

Journament 质量评估与索引

RJIF 研究期刊影响因子

Road 开放科学学术资源路线图（法国）

COSMOS 期刊评价指标（印度）

CiteFactor 指标与信任索引（印度）

ADL 亚洲数字图书馆（巴基斯坦）

Secret 搜索引擎实验室（芬兰）

Academindex 学术索引（土耳其）

RootIndexing 根索引与影响因子

EZB 电子期刊图书馆（德国）

全球索引/检索/存档
Global Indexing/Retrieval/Archiving

扫二维码检索阅读
Scan QR Code to Search and Read

ISI 国际科学索引平台（阿联酋迪拜）

Sci Online 科学在线（中国澳门）

Baidu Baike 百度百科（中国）

OALib 开放存取资源图书馆（美国）

ESJI 欧亚科学期刊索引（哈萨克斯坦）

衰老与再生医学

Aging and Regenerative Medicine

2025 年 10 月 第 1 卷 第 1 期（双月刊）

目　次

肠道菌群代谢产物激活炎症通路在衰老相关疾病发生发展中的机制运用论述

Discussion on the Application of the Mechanism by Which Gut Microbiota Metabolites Activate Inflammatory Pathways in the Development of Aging-Related Diseases

彭小江，饶英华 ..... (1)

AI 时代器官功能重构与机体元气稳态重建——基于衰老与再生医学视角的新思考

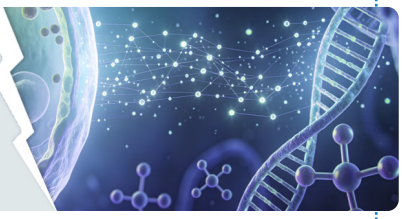
AI Era: Organ Function Reconstruction and Reestablishment of the Body’s Primordial Qi Homeostasis ——New Perspectives from Aging and Regenerative Medicine

张弘驰 ..... (5)

衰老与再生医学

Aging and Regenerative Medicine
CODEN:SYZYAL
ISSN 3105-6849(P) ISSN 3105-6857(O)

https://doi.org/10.66106/syzyal.20250101



肠道菌群代谢产物激活炎症通路在衰老相关疾病发生发展中的机制运用论述

彭小江[1]，饶英华[2*]
1.肇庆医学院，广东肇庆，526000；2.广州医科大学附属脑科医院，广东广州，510000

摘要：肠道菌群作为人体微生态系统的核心组成部分，其结构组成与代谢功能的稳定与否，会直接作用于人体机能调节与心理状态平衡，进而影响人民群众的身心健康。机体肠道菌群一旦发生紊乱，则会对哺乳动物雷帕霉素靶蛋白信号通路造成一定干扰，而这一通路则会营养代谢、细胞生长的调控密切相关，进一步导致神经系统性疾病、肾病、脂肪肝以及糖尿病等年龄相关性疾病，并最终对机体衰老进展造成影响。本文主要分析了肠道菌群代谢产物激活炎症通路在衰老相关疾病发生发展中的机制，希望能为衰老相关疾病防治工作的开展提供参考。

关键词：衰老相关疾病；炎症通路；代谢产物；肠道菌群

Discussion on the Application of the Mechanism by Which Gut Microbiota Metabolites Activate Inflammatory Pathways in the Development of Aging-Related Diseases

Xiaojiang Peng[1],Yinghua Rao[2*]
1.Zhaoqing Medical College, Zhaoqing Guangdong 526000，China；2.Affiliated Brain Hospital of Guangzhou Medical University, Guangzhou Guangdong 510000，China

Abstract: The gut microbiota, as a core component of the human micro-ecosystem, plays a critical role in regulating physiological functions and maintaining psychological balance, thereby significantly influencing both physical and mental health. Disruption of the gut microbiota can interfere with the mammalian target of rapamycin (mTOR) signaling pathway, which is closely associated with the regulation of nutrient metabolism and cell growth. Such disruptions may contribute to the development of aging-related diseases, including neurological disorders, kidney diseases, fatty liver disease, and diabetes, ultimately influencing the aging process. This paper analyzes the mechanism by which gut microbiota metabolites activate inflammatory pathways in the development and progression of aging-related diseases, aiming to provide insights for the prevention and treatment of such conditions.

Keywords: Aging-related diseases; Inflammatory pathways; Metabolites; Gut microbiota

在人民群众生活水平逐渐提升、预期寿命逐渐延长的过程中，人民群众也开始更加关注衰老问题[1]。衰老属于自然现象之一，其具体是指器官组织功能不断丧失，同时各类相关疾病频繁发生。机体内外环境会直接影响衰老进程，如饮食改变、肠道菌群失衡、胰岛素及生长激素等异常、胆固醇及血糖水平等代谢变化。综合分析发现，有多种信号通路均可能会在一定程度上影响细胞衰老，而这些信号通路与蛋白质稳态失衡、营养代谢、细胞周期及应激调控、DNA损伤应答等密切相关[2]。哺乳动

OPEN ACCESS

物雷帕霉素靶蛋白信号通路与人民群众预期寿命存在显著相关性，现阶段已受到越来越多的关注。哺乳动物雷帕霉素靶蛋白不但能有效调节细胞增殖功能，而且也能有效调节其生长及存活功能[3]。对过度激活的哺乳动物雷帕霉素靶蛋白信号通路进行抑制，能让衰老进程明显延缓，同时也通过深入研究松萝酸、白藜芦醇、雷帕霉素等哺乳动物雷帕霉素靶蛋白抑制剂验证了这一结论[4]。哺乳动物雷帕霉素靶蛋白信号通路在对衰老进程进行调控时，可能有肠道菌群及其代谢产物的参与。本文深入分析了论述了在衰老相关疾病发生发展中，肠道菌群代谢产物激活炎症通路的具体作用机制，希望能更好防治衰老相关疾病。

1 肠道菌群与衰老相关疾病

肠道菌群的分布区域主要在肠道黏膜，具体的组成成分包括了变形菌门、放线菌门、拟杆菌门以及厚壁菌门，无论是肠道菌群的种类，亦或者是其数量均维持良好的动态平衡[5]。肠道菌群不但能促进维生素合成、消化食物，让肠道维持良好的稳态，而且还能将病原体排除，并对免疫系统进行调节和刺激，但是影响肠道菌群动态平衡的因素却较多，如应用抗生素、摄入益生元及益生菌、年龄、饮食方式等，肠道菌群动态平衡一旦被破坏，则会激活机体免疫反应及炎症反应，对人民群众的身心健康造成严重影响。

对肠道菌群进行深入分析发现，无论是其多样性，亦或者是其稳定性，均会在年龄逐渐增长的过程中表现出下降趋势，在一定程度上损伤肠道屏障功能，不仅会导致非健康衰老，而且也会导致各种衰老相关疾病[6]。相比于其他年龄段的人群，老年人群的蛋白质分解相关细菌明显增加，而糖酵解细菌以及产抗炎短链脂肪酸细菌则明显减少，增加了次优势物种的吩咐，降低了厚壁菌门/拟杆菌门比例，增加炎症性衰老以及免疫衰老的发生风险。但是对于年龄大于100岁的老年人群来讲，其肠道菌群却具有自身特点，同时具有老年人群和年轻人群的肠型特点，而且具有类似于年轻人群的特征[7]。年龄大于100岁的老年人群，肠道具有丰富的气味杆菌科细菌和粪副拟杆菌，能产生大量的异戊基石胆酸，其属于抗炎胆汁酸代谢物，能对革兰氏阳性致病菌的生长及繁殖进行有效抑制，以进一步延长预期寿命。除此之外，年龄大于100岁的老年人群，肠道内也具有丰富的有益菌，如脆弱拟杆菌、细枝真杆菌，且明显增加了菌种多样性，能有效预防各种慢性炎症及衰老相关疾病。

衰老相关疾病的发生发展与肠道菌群存在显著相关性，因此在对衰老进程进行干预时，对肠道菌群进行调节是非常重要的一项干预对策[8]。例如摄入各种益生菌，能有效提升肠道稳定性，以有效减轻相关的炎症反应，预防发生衰老相关疾病，进而来对糖尿病、高血脂、高血压等进行有效预防。除此之外，利用粪菌移植、限制卡路里、益生菌口服等，也能对肠道菌群进行调节，以有效减轻免疫衰老及年龄相关炎症，让人民群众能实现长寿及健康。

2 肠道菌群代谢产物在衰老相关疾病发生发展中的机制

2.1 肠道菌群代谢产物激活炎症反应

机体衰老与炎症反应存在显著相关性。肠道菌群动态平衡一旦被破坏，则会增加释放各种有害代谢产物，进而异常激活导致衰老的潘氏细胞哺乳动物雷帕霉素靶蛋白信号，并降低相关基因转录调节蛋白活性，肠上皮细胞通透性明显增加，进一步增加体液循环当中的相关有害代谢产物含量，而且肠道干细胞在发生损伤后不能有效修复，也会对其再生功能造成明显影响，最终对组织造成一定损伤，并引起机体炎症反应[9]。

有益菌及代谢产物SCFAs等含量的增加与免疫炎性衰老的发生密切相关，进一步导致下游哺乳动物雷帕霉素靶蛋白信号以及AKT信号、PI3K信号传导降低，不仅会让细胞凋亡速度加快，而且会在一定程度上减轻免疫炎症反应[10]。对于老年人群来讲，其肠道菌群动态平衡一旦被破坏，则会导致免疫失调，并对AMPK信号造成抑制，对底物NF-kB磷酸化及下游哺乳动物雷帕霉素靶蛋白信号进行上调，免疫细胞水平明显增加，如树突状细胞、巨噬细胞、B淋巴细胞、T细胞等，导致各种衰老相关疾病以及慢性低度炎症[11]。益生菌能有效抑制分泌

LPS，通过能促进SCFAs的分泌，以有效改善细胞氧化应激。

2.2 肠道菌群代谢产物影响机体代谢

机体代谢一旦发生紊乱，则会导致衰老进程速度加快，导致各种衰老相关疾病，如糖尿病、脂肪肝等。肠道菌群及其代谢产物会利用哺乳动物雷帕霉素靶蛋白信号通路，会对代谢过程造成直接影响，如蛋白质、糖、脂质等[12]。从脂质代谢方面进行分析可知，当老年人群处于健康状态时，肠道内的产丁酸盐菌比较丰富，进而让氧化物酶体增殖物激活受体 α 激活，同时上调肝脏内的成纤维细胞生长因子21表达，其能对酮体产生进行控制，以促进底物结节性硬化症蛋白复合体及调控细胞代谢及能量状态的关键蛋白AMPK的磷酸化，激活细胞凋亡相关蛋白沉默信息调节因子2相关酶1，减少生成哺乳动物雷帕霉素靶蛋白的磷酸化，促进生成调节生酮和 β 氧化的酶，减少肝细胞内所累积的甘油三酯及生成的脂肪含量[13]。分泌大量的肠道菌群代谢产物丙酸盐，会减少哺乳动物雷帕霉素靶蛋白磷酸化，并将底物乙酰辅酶A羧化酶、AMPK等磷酸化有效激活，并对磷脂以及脂肪酸的合成进行有效调节[14]。增加肠道内的另枝菌属及杜博氏菌等丰度，降低固醇调节元件结合蛋白及哺乳动物雷帕霉素靶蛋白信号传导，进一步让心血管疾病有效减轻，如动脉粥样硬化、血脂异常等。

2.3 肠道菌群代谢产物影响细胞自噬

自噬对于保证细胞稳定性非常关键，自噬异常则会引起各种衰老相关疾病，如糖尿病、脂肪肝、阿尔茨海默病等。肠道菌群及其代谢产物会利用哺乳动物雷帕霉素靶蛋白信号通路让自噬更有效的清除受损细胞，进而来对衰老相关疾病进行改善，同时自噬功能得到改善后，会促进分泌各种抗菌化合物，减少产生各种促炎细胞因子，让肠道能维持良好的稳态。肠道菌群代谢物尿石素A能对哺乳动物雷帕霉素靶蛋白磷酸化进行有效抑制，将自噬有效激活，让大脑衰老、阿尔茨海默病有效减轻[15]。肠道菌群代谢产物丁酸盐能将p-AMOK水平上调，并对下游及AKT磷酸化进行抑制，促进产生各种自噬相关蛋白，进而让肝癌细胞实现自噬。给予丁酸盐口服，能将AMPK/哺乳动物雷帕霉素靶蛋白信号通路有效激活，以增加自噬，进而来对机体肾损伤进行显著改善。通过对自噬功能进行改善，不但能肠道屏障功能保持完整，让肠道能维持良好的稳态，而且能让炎症反应明显减轻，让机体保持健康。

2.4 肠道菌群代谢产物与肠-脑轴

肠-脑轴属于双向通讯网络，大脑、肠道两者在不同的途径下能实现相互之间的双向交流，不但能维持中枢神经系统稳定性，而且也能让胃肠道系统及肠道菌群维持良好的稳定性。肠道菌群会促进相关活性代谢物的释放，以此来影响大脑。而大脑不但能促进释放各种活性物质，而且还能有效调节肠道蠕动，对肠道屏障通透性进行改善，最终来调节肠道菌群。现阶段大部分临床研究已证实，肠道菌群能代谢及合成神经递质，例如，芽孢杆菌能促进多巴胺的分泌，厌氧菌、乳酸菌能促进 γ-氨基丁酸的分泌[16]；而念珠菌、链球菌、大肠杆菌则能促进5-羟色胺的分泌。但是上述神经递质因为无法直接穿透血脑屏障而到达大脑，所以并不会对大脑造成直接影响。在对神经递质进行合成的过程中，肠道菌群代谢产物是非常重要的前体物质，其能通过改善神经递质水平，让机体维持良好的健康状态。

3 讨论

在机体处于健康状态时，肠道菌群则会保持良好的动态平衡，但是应用抗生素、摄入益生元及益生菌、年龄、饮食习惯等因素俊辉对肠道菌群造成影响。肠道菌群及其代谢产物紊乱不仅会引起全身慢性炎症，而且也会增加肠道通透性，而哺乳动物雷帕霉素靶蛋白信号通路与这一过程密切相关，会对机体衰老造成影响，引起各种衰老相关疾病，而具体的作用机制主要表现为以下几方面：首先是将下游NF-kB、MLKL信号及哺乳动物雷帕霉素靶蛋白信号激活，导致体液循环中的促炎因子水平增加，让机体炎症反应加重，引起细胞氧化应激凋亡或损失；其次将下游哺乳动物雷帕霉素靶蛋白信号及AKT信号激活，引起细胞蛋白质、糖类及脂质代谢异常；将AMPK信号激活，对下游哺乳动物雷帕霉素靶蛋白信号及AKT信号进行抑制，促进相关蛋白质调节自噬过程，明显提升细胞稳定性。

OPEN ACCESS

参考文献

[1] 冯滢璇,叶悠扬,郭敏,等.两歧双歧杆菌CCFM1359缓解D-半乳糖诱导的衰老表型及伴生的肠道菌群失调[J].食品科学,2025,46(16):1-12.

[2] 陈玉玉,彭文婷,宋歌,等.矢车菊素-3-葡萄糖苷通过调控肠道菌群改善自然衰老小鼠脑组织损伤[J].食品科学,2025,46(5):170-181.

[3] 张春生,李冰,王鲁豫,等.肉苁蓉多糖通过改善肠道菌群稳态产生抗衰老作用的研究[J].中华中医药学刊,2025,43(3):92-95,后插20-后插24.

[4] 洪伟,张婉晴,吕心雨,等.基于肠道菌群和代谢组学探究二至丸延缓衰老的作用机制[J].时珍国医国药,2025,36(13):2453-2460.

[5] 刘玉倩,杨雯茜,王海涛.有氧运动对自然衰老小鼠肠道菌群和成年海马神经发生相关因子的影响[J].中国运动医学杂志,2025,44(2):119-127.

[6] 张超,加秀凤,黄万凌,等.首乌丸调节肠道菌群延缓D-半乳糖模型大鼠脑衰老作用及机制研究[J].北京中医药大学学报,2023,46(1):65-76.

[7] 李晓盎,段丽萍.基于16SrRNA测序分析淫羊藿苷对衰老雌性与雄性小鼠肠道菌群调节作用的研究[J].中国药学杂志,2025,60(9):915-922.

[8] 王晶,王振娟,康甲超,等.联合微生物组学和代谢组学研究党参水提物调节衰老小鼠肠道屏障和菌群代谢的作用机制[J].中华中医药学刊,2025,43(7):29-34,后插9-后插15.

[9] 史凯蕾,郑松柏.老年人肠道菌群的改变与动脉粥样硬化[J].中华老年心脑血管病杂志,2025,27(10):1430-1433.

[10] 王心怡,陆守荣,王鸿超,等.不同来源蛋白对小鼠衰老和肠道菌群的影响[J].食品与发酵工业,2022,48(12):16-23.

[11] 刘芳,玛依拉·吐尔逊,周建梅.老年人群肠道菌群、胃肠功能及其与认知功能的相关性[J].脑与神经疾病杂志,2025,33(6):372-377.

[12] 董雯,孙杰,刘奔,等.富硒植物乳植杆菌SAL干预衰老小鼠氧化应激损伤及肠道菌群失调[J].中国微生态学杂志,2025,37(1):10-19.

[13] 谢卓君,马光宇,陈鹏宇,等.生命周期不同阶段肠道菌群的影响因素[J].暨南大学学报（自然科学与医学版）,2024,45(3):248-255,262.

[14] 蒋维一,孙亚菲,张明喆,等.高原缺氧脱习服小鼠学习记忆能力与肠道菌群变化的肠脑轴研究[J].空军军医大学学报,2025,46(1):81-87.

[15] 董雯,刘奔,伦永志,等.长期不同热量饮食对增龄小鼠胰岛素抵抗及肠道菌群的影响[J].现代预防医学,2023,50(16):2944-2951.

[16] 黄思莹,黄春萍,刘旭,等.桑叶槲皮素对D-半乳糖致衰老小鼠抗氧化能力及肠道菌群的影响[J].四川师范大学学报（自然科学版）,2020,43(3):373-377.

第一作者：彭小江（1986-），男，汉族，籍贯：江西吉安，硕士研究生学历，外科学副教授，研究方向：神经外科。

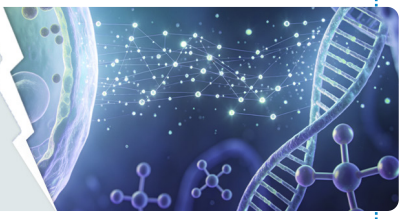
*通讯作者：饶英华（1981-），男，汉族，籍贯：江西广昌，硕士学历，副主任医师，研究方向：神经外科。

依托课题项目：广东省教育科学规划领导小组办公室2023年度教育科学规划课题（高等教育专项）：“科教融合”背景下基于全仿真手术实训教学平台构建外科实训教学新模式的探索研究（课题编号：2023GXJK998）。

Copyright © 2025 by author(s) and Macau Sino-Foreign Medical Publishing Limited.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License(CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

衰老与再生医学

Aging and Regenerative Medicine
CODEN:SYZYAL
ISSN 3105-6849(P) ISSN 3105-6857(O)



https://doi.org/10.66106/syzyal.20250102

AI时代器官功能重构与机体元气稳态重建——基于衰老与再生医学视角的新思考

张弘驰
中俄体育俱乐部黑龙江有限公司，黑龙江哈尔滨，150026

摘要：人口老龄化背景下，衰老相关多器官退行性病变、组织修复能力下降等问题成为再生医学核心研究方向。传统临床干预以机械代偿、异物植入、外源药物为主，虽能实现局部功能补偿，却存在创伤大、干扰组织微环境、破坏机体整体稳态、无法激活自体再生潜能等局限。人工智能与脑机接口、干细胞定向调控、生物3D打印、无创神经内分泌调节等技术深度融合，推动器官修复从“外源替代型”向“自体再生型”转变。本文从衰老与再生医学视角，分析传统器官替代技术的临床短板，阐述AI技术在器官功能重建中的应用价值，并结合现代生物学理论对中医元气稳态进行科学化诠释。研究表明，AI技术无法直接构建生命本源动力，但可通过清除再生障碍、优化修复微环境、疏通神经内分泌与循环通路，辅助机体重建自体修复能力与整体生理稳态，为衰老干预、器官功能再生及健康老龄化实现提供全新理论支撑与实践路径。

关键词：人工智能；再生医学；衰老机制；器官功能重建；干细胞再生；元气稳态；脑机接口；神经-内分泌-免疫网络

AI Era: Organ Function Reconstruction and Reestablishment of the Body’s Primordial Qi Homeostasis ——New Perspectives from Aging and Regenerative Medicine

Hongchi Zhang
Heilongjiang Sino-Russian Sports Club Co.,Ltd.,Harbin Heilongjiang 150026,China

Abstract: Against the backdrop of population aging, aging-related multi-organ degenerative diseases and declined tissue repair capacity have become core research directions in regenerative medicine. Traditional clinical interventions mainly rely on mechanical compensation, foreign body implantation and exogenous drugs. Although they can achieve partial functional compensation, they have limitations such as high trauma, disturbance of the tissue microenvironment, disruption of the body’s overall homeostasis, and failure to activate the body’s own regenerative potential.The deep integration of artificial intelligence with brain-computer interfaces, targeted stem cell regulation, biological 3D printing, non-invasive neuroendocrine regulation and other technologies has driven the transformation of organ repair from exogenous substitution to autologous regeneration. From the perspective of aging and regenerative medicine, this paper analyzes the clinical shortcomings of traditional organ replacement technologies, expounds the application value of AI technology in organ function reconstruction, and provides a scientific interpretation of traditional Chinese medicine’s Primordial Qi homeostasis based on modern biological theories.Studies show that AI technology cannot directly construct the fundamental driving force of life, but it can assist the body in rebuilding its self-repair ability and overall physiological homeostasis by removing regenerative obstacles, optimizing the repair microenvironment, and unblocking neuroendocrine and circulatory pathways.

OPEN ACCESS

This provides a new theoretical support and practical approach for aging intervention, organ function regeneration and the realization of healthy aging.

Keywords: Artificial Intelligence; Regenerative Medicine; Aging Mechanism; Organ Function Reconstruction; Stem Cell Regeneration; Primordial Qi Homeostasis; Brain-Computer Interface; Neuro-Endocrine-Immune Network

全球人口老龄化的持续加深，使衰老相关器官功能进行性减退、组织再生能力生理性下降、慢性退行性疾病发生率显著升高，对现代医学干预理念与技术体系提出更高临床要求[1]。传统医疗针对器官结构破坏或功能丧失的干预，以人工耳蜗、种植牙、外源性激素补充等机械代偿、假体植入手段为主，这类方式在急性功能缺损应急修复中具备一定价值，但从再生医学核心理念来看，其本质是“外源替代”而非“自体生理性修复”，难以实现受损器官的结构与功能双重再生，且长期应用易对局部组织微环境、全身神经内分泌节律及机体整体稳态产生不可逆负面影响[2]。

近年来，人工智能技术在医疗影像精准分析、干细胞命运定向调控、神经电生理信号解码、个体化治疗方案动态优化等领域展现出强大技术潜力[3]。基于深度学习与大数据建模的AI系统，可实现多维度生理信号实时整合、动态病理机制精准解析、靶向组织无创调控与再生修复路径个体化优化，为器官功能重建、衰老进程逆转提供全新技术支撑。在此背景下，器官局部结构重建与机体整体生命力恢复的协同关系、外源技术干预与内源性修复潜能激活的平衡关系，成为再生医学与人工智能交叉领域的重要研究命题。

本文以衰老与再生医学基础理论与临床需求为框架，结合AI技术前沿研究进展，系统探讨传统外源替代模式的核心局限性、AI驱动器官再生的技术优势与转化路径，以及机体元气稳态在再生修复中的核心调控地位，旨在构建更符合衰老机体生理特征的现代修复体系，推动再生医学向“精准、无创、自体、整体”的临床方向发展。

1 传统器官替代与代偿技术的临床局限

传统器官替代与代偿技术是应对器官功能缺损的经典手段，但其核心思路聚焦“功能替代”而非“自体再生”，与衰老机体生理特征及再生医学核心理念存在本质差异，临床应用中存在诸多难以克服的局限性。

1.1 听觉代偿：人工耳蜗的机械性与非生理性局限

人工耳蜗是重度至极重度感音神经性耳聋的主流治疗手段，通过体外声音采集、电信号转换及耳蜗神经电刺激实现听觉代偿[4]。但从衰老与再生医学视角看，其非生理性局限显著：装置依赖外置磁吸与体内电极固定，长期佩戴易导致老年患者局部皮肤压迫、微循环障碍及软组织慢性炎症，并发症发生率显著升高；人工数字化声音编码与人体耳蜗生理性解析存在本质差异，对音色、韵律、空间声的识别能力有限，无法还原自然听觉；仅能实现外周听觉通路机械代偿，无法逆转衰老导致的听觉中枢皮层神经元退行性改变，也难以改善老年机体神经可塑性下降、突触连接功能减退等核心问题[4]；电极植入的有创操作会破坏耳蜗局部修复微环境，抑制残余毛细胞与神经细胞的代偿性修复，违背再生医学“微创修复”原则。

1.2 口腔修复：种植牙的异物属性与衰老骨代谢矛盾

种植牙以钛合金植入体的骨结合作用实现咀嚼功能替代，是口腔修复的主流方案[5]。但其异源性属性与衰老机体骨代谢特征存在难以调和的矛盾：钛合金植入体无生物活性，缺乏天然牙齿的牙周膜结构、神经感知与生理性应力反馈，长期使用易引发种植体周围骨应力性吸收；老年患者普遍存在增龄性牙槽骨吸收、成骨细胞活性下降、微循环灌注不足，骨结合效率与稳定性显著降低，60岁以上患者种植牙5年松动率较中青年高出15%~20%[5]，易诱发种植体周围炎、松动等远期并发症；牙槽骨备洞、牙龈切开等有创操作会激活局部炎症反应，释

放TNF-α、IL-6等促炎因子，破坏骨修复微环境，抑制成骨细胞增殖分化；仅聚焦咀嚼功能替代，忽视口腔黏膜、牙周韧带、牙髓组织的整体性再生，与再生医学“牙体-牙周-牙髓一体化再生”目标相悖。

1.3 生殖性腺干预：侵入性操作与外源药物的稳态干扰

针对生殖器官发育异常、创伤缺损或衰老相关性腺功能减退，传统干预以假体植入、注射填充或外源性激素替代为主，虽能短期改善局部形态或激素指标，却存在显著潜在风险[6]：侵入性操作易引发局部慢性炎症、组织纤维化、血管栓塞，对生殖系统微循环敏感人群可能造成不可逆功能损伤；长期外源性激素补充会干扰下丘脑-垂体-性腺轴（HPG轴）生理性负反馈调节，抑制机体自身激素分泌功能，形成药物依赖，甚至干扰青少年生殖系统正常发育；干预仅聚焦局部形态或单一激素指标，忽视衰老、微循环障碍、神经内分泌网络失衡等整体因素，属于“对症治疗”，与再生医学整体观存在本质冲突。

1.4 传统技术的共性缺陷与理念冲突

综合各类传统替代技术，其核心共性缺陷可归纳为四方面：干预理念上，以机械、异源性材料或外源药物实现被动功能代偿，未将激活自体修复与再生潜能作为核心目标；干预范围上，过度重视局部器官结构与功能恢复，忽视全身衰老状态、干细胞活性、炎症-氧化应激平衡、神经内分泌网络等整体因素对修复效果的调控；干预方式上，多采用有创操作或外源物质长期介入，不可避免干扰局部微环境与全身生理稳态，甚至诱发新的病理改变；干预效果上，仅能实现基础功能暂时性补偿，难以实现生理性再生，远期并发症发生率高，且无法延缓机体整体衰老进程。

再生医学的核心目标是通过激活内源性干细胞潜能、优化修复微环境、重建器官结构与功能完整性，实现受损器官的生理性再生[2]，而传统替代技术的干预理念与路径均与这一目标相悖，这也是AI时代再生医学模式亟待转型的关键依据。

2 AI驱动的器官再生与功能重建：从代偿到自愈

人工智能的核心优势在于多维度数据实时整合、复杂病理机制精准解析、靶向干预动态优化及个体化方案智能设计，其与脑机接口、干细胞技术、生物3D打印、无创神经内分泌调控等生物医学技术深度融合，打破了传统替代技术的临床局限，推动器官修复从“外源被动代偿”向“内源主动自愈”的根本性转变。

2.1 AI+脑机接口：中枢层面感知功能精准重建

针对衰老或创伤导致的全盲、全聋等外周器官不可逆病变，AI赋能的脑机接口（BCI）技术实现了感知功能从“外周代偿”向“中枢重建”的跨越[7]。其核心路径为：通过高灵敏度外置传感器采集视觉、听觉信号，经深度学习AI模型实时精准解码与优化编码后，通过植入式或非侵入式电极阵列刺激大脑相应皮层功能区，直接在中枢层面实现感知信号解析与重构，完全绕过受损外周器官。

与传统代偿技术相比，该模式具备显著临床优势：无需依赖外置装置或异源性植入体，对局部微环境干扰极低，符合“无创干预”原则；AI算法可根据机体神经可塑性变化动态自适应调整，持续提升信号识别精度与还原度，使全盲患者实现室内自主行走、物体精准识别，准确率达85%以上[7]；可直接激活大脑皮层神经突触连接，促进神经可塑性重建，实现“感知功能重建”与“中枢神经保护”双重效果；随着高密度柔性电极与新一代深度学习模型的研发，高分辨率、高还原度人工感知功能逐步实现，为衰老相关感知功能衰退提供了非侵入、非代偿的新型解决方案。

2.2 AI+干细胞与生物3D打印：器官生理性组织再生

AI技术在干细胞命运定向调控、生物材料优化、再生微环境模拟等方面具有独特优势，其与干细胞、生物3D打印技术的融合，成为器官生理性再生的核心驱动力[3]。基于基因组、转录组等多组学大数据的AI模型，可实现再生修复个体化方案

OPEN ACCESS

设计：精准筛选干细胞定向分化的关键调控因子与浓度组合，实现口腔干细胞向成牙本质细胞、牙周膜细胞高效诱导，推动天然牙一体化自体再生，从根本上替代种植牙[5]；根据机体组织解剖结构、力学特征与代谢水平，优化生物3D打印支架的微观孔隙、降解速率与生物相容性，解决传统支架与自体组织融合性差、力学不匹配等问题；结合个体年龄、衰老程度、干细胞活性与炎症水平，动态调整诱导强度与支架生物活性，避免干细胞异常增殖或分化不全，实现再生修复的精准化、个体化调控。

此类技术以自体细胞为基础、AI为智能调控工具、再生微环境优化为核心，真正契合衰老与再生医学“自体再生、精准修复、整体调控”的核心理念。

2.3 AI+无创神经内分泌调控：生殖性腺功能稳态化修复

在生殖性腺功能干预领域，AI驱动的无创神经内分泌调控技术打破了传统外源性激素替代与侵入性操作的局限，实现了从“外源强制干预”向“内源稳态修复”的转变[6]。其核心路径为：通过多模态可穿戴设备，无创实时监测机体激素节律、自主神经功能、局部微循环灌注及炎症因子水平，经AI模型动态分析后，精准识别神经内分泌网络失衡节点，再通过经颅磁刺激、经皮电神经刺激等无创物理手段，靶向调节HPG轴、交感-副交感神经平衡及局部微循环，唤醒机体自身神经内分泌调节能力，实现激素水平生理性稳态恢复。

该技术的临床优势显著：不直接补充外源性激素，避免HPG轴负反馈抑制与药物依赖，保护内源性激素分泌功能；无创物理干预无手术创伤、无药物副作用，降低局部炎症、纤维化等并发症风险；AI模型可动态调整干预参数，实现“个体化、动态化、稳态化”修复；同步改善自主神经功能、微循环灌注与炎症平衡，实现局部器官修复与全身稳态优化的协同进行。

2.4 AI对系统性衰老与多器官协同再生的整合调控

衰老是全身性、渐进性、多系统协同退变的生理过程，核心机制涉及基因组不稳定性、干细胞耗竭、细胞衰老、炎症反应等九大衰老标志[1]。传统分科医疗聚焦单一器官干预，难以实现系统性衰老整体调控，而AI的多维度数据整合与大数据建模能力，为系统性衰老干预与多器官协同再生提供了全新可能。

AI可整合机体神经、循环、内分泌、免疫、代谢、干细胞等多维度数据，构建全身性衰老程度量化评估模型，精准识别衰老核心调控节点与多器官退变的协同关系；在此基础上，同步设计局部器官修复与全身抗衰调控方案，在修复靶器官的同时，通过靶向调控炎症-氧化应激平衡、激活内源性干细胞、优化线粒体能量代谢、改善全身微循环，实现多器官协同再生与衰老进程整体延缓；此外，AI可对再生修复过程进行实时动态监测，根据机体修复反应及时调整干预方案，确保局部再生与全身稳态的平衡，避免单一器官过度修复导致的机体资源耗竭，实现“局部修复、全身获益、协同抗衰”的目标。

3 元气稳态的现代医学诠释与再生修复的核心地位

中医理论中的“元气”是人体生命活动的本源动力，是推动生长、发育、修复、抗衰的核心物质基础，具有整体性、内源性、稳态性特征。在现代生物医学框架下，元气可被系统性、科学化诠释，其本质是机体多系统整合的生理功能状态，是再生修复与衰老干预的核心调控因素。

3.1 元气稳态的现代生物学基础

从现代医学视角，中医“元气稳态”并非单一物质或指标，而是机体多系统、多层面的生理功能整合状态，核心生物学基础包括四方面：其一，神经–内分泌–免疫网络（NEI）的协同稳定性[8]，下丘脑作为核心中枢，通过神经、激素通路实现三大系统的协同调控，是元气稳态的核心调控体系，其平衡稳定是机体正常生理功能与损伤修复的基础；其二，下丘脑-垂体各轴系（HPG轴、HPA轴、HPT轴）的节律平衡，HPA轴调控应激与炎症平衡，HPT轴调控能量代谢，各轴系节律平衡是元气充

足的重要标志；其三，干细胞活性、线粒体能量代谢与炎症-氧化应激平衡水平[9]，内源性干细胞是组织再生的“种子细胞”，线粒体是细胞“能量工厂”，炎症-氧化应激平衡维持微环境稳定，三者共同构成元气稳态的细胞与分子基础；其四，全身微循环灌注与组织修复微环境的通畅度，微循环是物质交换、营养供应与代谢废物排出的基本通路，其正常灌注为组织再生提供良好微环境，是元气在机体局部的具体体现。

简言之，“元气充足”对应机体NEI网络稳定、神经内分泌轴系平衡、干细胞活性良好、线粒体代谢高效、炎症-氧化应激平衡、微循环灌注通畅，机体自我修复与再生潜能处于最佳状态；而“元气亏虚”则表现为多系统功能失衡，自体修复与再生潜能显著下降。

3.2 传统干预方式对元气稳态的干扰机制

传统替代技术的有创操作、异源性植入与外源药物干预，可通过多途径破坏元气稳态，对应中医“耗伤气血、扰动气机、损伤元气”的病理过程[8]，这也是传统技术远期效果有限、并发症较多的内在生物学机制：异源性植入体作为“异物”，持续激活固有免疫反应，释放促炎因子，打破炎症-氧化应激平衡，导致慢性低度炎症，进而耗竭干细胞、损伤线粒体功能、破坏微循环，造成元气稳态持续失衡；手术创伤与侵入性操作破坏局部解剖结构与微循环，激活机体应激反应，使HPA轴过度激活、皮质醇水平升高，抑制免疫功能、干扰神经内分泌节律、降低干细胞活性，形成“创伤-应激-稳态失衡”的恶性循环；外源药物长期使用，直接干扰神经内分泌轴系负反馈调节，抑制内源性功能，同时影响线粒体代谢与免疫细胞功能，导致机体自我调节与修复能力进行性减退，最终表现为元气亏虚。

3.3 AI不创造元气，但可重建元气生发的生理条件

元气是机体内源性、整体性、自组织的生命状态，依赖机体自身多系统协同作用形成与维持，无法由AI或任何外源技术直接创造或替代[10]。但AI技术可通过精准、无创、整体的干预方式，清除再生修复病理障碍，优化元气生发的生理微环境，为元气稳态自主恢复创造核心条件：以无创干预替代传统异源性植入与有创操作，避免异物诱导的慢性炎症与手术创伤导致的微循环障碍，同时靶向调控炎症-氧化应激平衡，清除慢性低度炎症，为元气稳态恢复奠定基础；通过无创神经内分泌调控，精准调节下丘脑-垂体各轴系节律平衡，修复NEI网络调控功能，重建机体整体调控体系，恢复元气核心调控机制；整合全身微循环数据，精准识别灌注障碍部位，通过无创手段靶向改善局部与全身微循环，优化干细胞归巢与分化微环境，激活内源性干细胞潜能，为元气充盈提供细胞基础；通过线粒体功能与营养代谢的大数据分析，精准识别代谢失衡节点，结合个体化营养调控与无创物理干预，优化线粒体能量代谢，提升机体能量供应能力，为元气生发提供能量基础。

AI技术在再生医学中的核心作用是“疏通气机、清除瘀阻、优化环境”，而非“创造元气”，其通过精准干预清除元气生发的病理因素，最终依靠机体自组织、自修复能力实现元气稳态的自主恢复，这与中医“扶正固本、疏瘀通络、自愈为本”的整体医学思想高度契合[8]。

4 AI时代衰老与再生医学的发展方向

AI与生物医学技术的深度融合，不仅打破了传统再生医学的技术局限，更重塑了其干预理念与发展方向。未来，衰老与再生医学将以“自体生理性再生”为核心目标，以“整体稳态调控”为核心原则，以“精准、无创、个体化”为核心特征，实现从局部修复到系统抗衰、从外源替代到内源自愈、从技术主导到技术服务生命的根本性转变。

4.1 从机械替代走向自体生理性再生

未来AI技术将持续推动器官修复模式的革命性变革，逐步淘汰传统机械代偿与异源性植入技术，实现器官自体生理性再生：感知功能重建领域，AI+脑机接口将替代人工耳蜗、人工视网膜等外周假体，实现中枢层面高分辨率感知重建；口腔修复领域，AI+干细胞+生物3D打印将实现天然牙一体化再生，从根本上替代种植牙；运动功能修复

OPEN ACCESS

领域，AI优化干细胞诱导与骨、软骨再生方案，实现关节软骨生理性再生，替代人工关节；内分泌调控领域，AI+无创神经内分泌调控将完全替代外源性激素治疗，实现神经内分泌轴系生理性稳态恢复。

未来器官修复的核心原则将统一为：以自体细胞为基础、以生理性再生为目标、以无创或微创为方式、以整体稳态为核心，彻底摆脱对异源性材料与外源药物的依赖，实现器官结构与功能的双重再生。

4.2 从局部器官治疗走向系统性衰老调控

衰老的全身性、协同性特征决定了单一器官局部修复无法实现真正的健康老龄化，未来AI时代的再生医学将打破分科医疗局限，实现“局部器官再生”与“系统性衰老调控”协同进行。AI通过构建全身性衰老量化评估模型，精准解析多器官退变的协同机制与核心调控节点，在修复靶器官的同时，同步实施全身性抗衰干预：靶向调控炎症-氧化应激平衡，清除慢性低度炎症，延缓细胞衰老；激活内源性干细胞，补充干细胞库，提升整体再生潜能；优化线粒体能量代谢，改善全身能量供应，提升机体生命力；修复NEI网络调控功能，重建整体稳态，延缓多器官协同衰老进程。

未来再生医学的干预目标将不再局限于单一器官功能恢复，而是实现“局部修复、全身抗衰、多器官协同再生”的综合目标，最终实现健康老龄化，让老年机体在衰老过程中维持良好的生理功能与生活质量。

4.3 技术服务生命，而非替代生命

AI技术在衰老与再生医学中的核心定位是“生命辅助系统”，其终极价值不在于构建人工生命、替代机体自主生理功能，而在于通过精准技术干预，清除衰老与损伤带来的病理阻碍，最大限度释放人体自身的自愈与再生潜能，实现技术与生命规律的高度统一[10]。

未来的AI再生医学技术将始终遵循“生命为本”原则，所有研发与临床应用均以适应生命规律、保护生命潜能、维护生命稳态为前提，避免过度干预导致的机体功能紊乱与元气耗伤；同时，AI技术将实现与机体的“动态自适应”，根据机体生理状态、修复反应与衰老程度实时调整干预参数，确保技术始终处于“辅助”而非“主导”地位，让机体自身修复能力成为再生与抗衰的核心动力。

5 讨论

本文立足于衰老与再生医学的学科基础与临床需求，系统对比传统外源替代技术与AI驱动再生修复模式的核心差异，将中医元气稳态理论与现代神经内分泌、干细胞生物学、微循环学、炎症调控等理论深度融合，提出“AI清除障碍、机体自主再生、整体稳态决定修复效果”的核心观点。

传统假体植入、外源药物等干预模式，虽能短期改善器官基础功能，但其异源性、有创性与局部性特征，不可避免对衰老机体脆弱的内环境稳定与长期再生能力产生负面影响，与衰老机体生理特征及再生医学核心理念存在本质冲突；而AI技术与脑机接口、干细胞等技术的深度融合，以精准化、无创化、整体化、个体化的技术优势，为自体修复与再生提供了最优生理条件，实现了器官局部结构重建与机体整体生命力恢复的协同进行，真正契合衰老与再生医学的临床需求。

将中医元气稳态理论纳入再生医学评价与干预框架，是现代再生医学与传统中医理论的创新性融合，有助于弥补现代医学过度聚焦局部结构、忽视整体功能状态的学科短板，构建更符合衰老疾病规律的整合干预模式。元气稳态作为机体再生能力与整体生命力的综合体现，是再生修复与衰老干预的核心调控因素，其自主恢复与提升是实现器官生理性再生与健康老龄化的关键，而AI技术则是推动元气稳态重建的核心技术手段。

本研究仍存在一定局限性：目前AI技术在再生医学中的临床应用多处于早期转化阶段，其长期临床效果、安全性及成本控制仍需大样本、长期临床随访验证；同时，元气稳态的现代医学量化评估体系尚未完全建立，如何实现元气稳态的精准量化、动态监测与靶向调控，仍是未来跨学科研究的重要命题。

6 结论

传统器官替代技术以机械代偿、异源性植入、外源药物为核心，存在干扰组织微环境、破坏机体整体稳态、无法激活自体再生潜能、远期并发症发生率高等固有局限，其干预理念与路径与衰老机体生理特征及再生医学核心理念相悖，难以实现器官生理性再生与健康老龄化目标。

AI技术与脑机接口、干细胞定向调控、生物3D打印、无创神经内分泌调控等前沿技术深度融合，可实现多器官生理性功能重建，其精准化、无创化、整体化、个体化的技术特征，是未来衰老干预与器官功能再生的主流发展方向。

中医元气是机体多系统整合的生理功能状态，核心生物学基础为NEI网络协同稳定、神经内分泌轴系节律平衡、干细胞与线粒体正常功能及全身微循环通畅，元气稳态无法由AI直接创造，但可在AI辅助下通过清除再生障碍、疏通生理通路、优化修复微环境实现自主恢复。

AI时代衰老与再生医学的核心发展方向，是构建以自体生理性再生为核心、以整体元气稳态为目标、以精准无创为原则的整合干预体系，实现局部器官功能重建与系统性衰老调控的协同进行，最终推动健康老龄化的实现。

未来科技的迭代升级，本质是为生命服务，永远无法创造生命的本源动力。人的根本生命力，始终源于自身内在的元气、稳态与自体修复潜能。因此，AI时代再生医学的终极健康目标，并非构建“人体+机械外挂”的半机械形态，而是通过精准技术干预，清除机体损伤与瘀阻，疏通生理通路，修复微环境稳态，使机体回归干净、通畅、完整的本然生理状态，进而自主充盈元气、恢复生命本真动力，这也是再生医学面向未来最根本的学科价值与临床追求。

参考文献

[1] López-Otín C,Blasco MA,Partridge L,etal.The hallmarks of aging[J].Cell,2023,186(2):200-232.

[2] 周琪,王秀杰.中国再生医学发展战略研究[J].中国科学:生命科学,2022,52(5):890-904.

[3] Esteva A,etal.A guide to deep learning in healthcare[J].Nature Medicine,2021,27(1):361-375.

[4] Wilson BJ,etal.Cochlear implants:current status and future directions[J].Lancet Neurology,2022,21(3):249-262.

[5] Zhang Y,etal.Current status and challenges in tooth regeneration[J].Journal of Dental Research,2023,102(6):623-632.

[6] Tena-Sempere M.Neuroendocrine regulation of puberty[J].Nature Reviews Endocrinology,2022,18(4):215-232.

[7] Ajayi A,etal.Brain-computer interfaces for sensory restoration[J].Cell Reports Medicine,2024,5(2):101189.

[8] 吴以岭.气络学说与神经-内分泌-免疫网络调控[J].中国中西医结合杂志,2021,41(2):131-136.

[9] López-OtínC,KroemerG.Hallmarksofhealth[J].Cell,2022,185(12):2197-2220.

[10] 陆广莘.中医健康医学与元气论的现代意义[J].中国中医基础医学杂志,2020,26(7):861-864.

Copyright © 2025 by author(s) and Macau Sino-Foreign Medical Publishing Limited.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License(CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

OPEN ACCESS

长江文库
综合性学术知识服务平台

·长江文库·
智汇知识·赋能学术

期刊·图书·古籍·学位论文·地方志·会议文献
覆盖全学科·服务全机构



「长江文库」一个汇聚海量学术资源的综合性知识服务平台。集期刊、古籍、地方志、图书、年鉴、会议论文、报纸于一体，覆盖自然科学、农业科学、医药科学、工程与技术科学、人文与社会科学五大学科。从专业出版服务到公共知识传播，我们连接历史与未来，服务全球学术研究与文化传承。

访问官网：www.cjwk.cn

龙源网APP

「名刊甄选」套餐会员



读杂志，就上龙源网

可回溯往期杂志，还可阅享1000多种精品期刊数字内容

【限时活动】订阅「龙源网」app“名刊甄选套餐”年会员，可专享 “第二年会费1元”

【套餐介绍】套餐内囊括180+种热门杂志

详细杂志清单可扫描右侧二维码了解

【费用说明】首年会费198元/年，第二年1元，合计199元

扫码立即订阅



龙源网阅读卡专门针对机构以及企业用户采购使用。内含付费阅读余额可购买龙源期刊网网页端以及移动端相关知识付费服务内容。并享受企业用户采购折扣价。

订卡企业微信