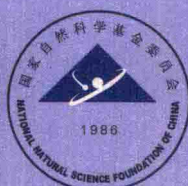


学术引领系列



国家科学思想库

“十二五”国家重点图书出版规划项目

中国学科发展战略

再生医学研究与转化应用

国家自然科学基金委员会
中国科学院



科学出版社

学术引领系列



国家科学思想库

“十二五”国家重点图书出版规划项目

中国学科发展战略

再生医学研究 与转化应用

国家自然科学基金委员会
中国科学院



科学出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

再生医学研究与转化应用/国家自然科学基金委员会,中国科学院编.
—北京:科学出版社,2018.1
(中国学科发展战略)
ISBN 978-7-03-054851-1

I. ①再… II. ①国… ②中… III. ①细胞-再生-生物医学工程-
学科发展-发展战略-中国 IV. ①R318-12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 255249 号

丛书策划:侯俊琳 牛 玲
责任编辑:牛 玲 张翠霞 / 责任校对:何艳萍
责任印制:张克忠 / 封面设计:黄华斌 陈 敬
编辑部电话:010-64035853
E-mail:houjunlin@mail.sciencep.com

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年1月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2018年1月第一次印刷 印张:11 1/4

字数:200 000

定价:58.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

中国学科发展战略

联合领导小组

组 长：陈宜瑜 张 涛
副 组 长：秦大河 姚建年
成 员：王恩哥 朱道本 傅伯杰 李树深 杨 卫
武维华 曹效业 李 婷 苏荣辉 高瑞平
王常锐 韩 宇 郑永和 孟庆国 陈拥军
杜生明 柴育成 黎 明 秦玉文 李一军
董尔丹

联合工作组

组 长：李 婷 郑永和
成 员：龚 旭 孟庆峰 吴善超 李铭禄 董 超
孙 粒 苏荣辉 王振宇 钱莹洁 薛 淮
冯 霞 赵剑峰

中国学科发展战略·再生医学研究与转化应用

战略研究组

组 长：吴祖泽

成 员：（以姓氏笔画为序）

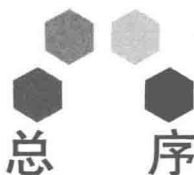
王立生	王松灵	卢光琇	付小兵
刘开彦	刘少君	池 慧	杨志健
吴曙霞	胡康洪	宫 锋	章静波
裴雪涛	戴一凡	戴尅戎	魏于全
瞿 佳			

工 作 组

组 长：王立生

成 员：（以姓氏笔画为序）

邓洪新	刘大庆	汤亭亭	吴曙霞
郝好杰	徐存栓	崔春萍	韩卫东



白春礼 杨 卫

17 世纪的科学革命使科学从普适的自然哲学走向分科深入，如今已发展成为一幅由众多彼此独立又相互关联的学科汇就的壮丽画卷。在人类不断深化对自然认识的过程中，学科不仅仅是现代社会中科学知识的组成单元，同时也逐渐成为人类认知活动的组织分工，决定了知识生产的社会形态特征，推动和促进了科学技术和各种学术形态的蓬勃发展。从历史上看，学科的发展体现了知识生产及其传播、传承的过程，学科之间的相互交叉、融合与分化成为科学发展的重要特征。只有了解各学科演变的基本规律，完善学科布局，促进学科协调发展，才能推进科学的整体发展，形成促进前沿科学突破的科研布局和创新环境。

我国引入近代科学后几经曲折，及至上世纪初开始逐步同西方科学接轨，建立了以学科教育与学科科研互为支撑的学科体系。新中国建立后，逐步形成完整的学科体系，为国家科学技术进步和经济社会发展提供了大量优秀人才，部分学科已进入世界前列，有的学科取得了令世界瞩目的突出成就。当前，我国正处在从科学大国向科学强国转变的关键时期，经济发展新常态下要求科学技术为国家经济增长提供更强劲的动力，创新成为引领我国经济发展的新引擎。与此同时，改革开放 30 多年来，特别是 21 世纪以来，我国迅猛发展的科学事业蓄积了巨大的内能，不仅重大创新成果源源不断产生，而且一些学科正在孕育新的生长点，有可能引领世界学科发展的新方向。因此，开展学科发展战略研究是提高我国自主创新能力、实现我国科学由“跟跑者”向“并行者”和“领跑者”转变的

一项基础工程，对于更好把握世界科技创新发展趋势，发挥科技创新在全面创新中的引领作用，具有重要的现实意义。

学科发展战略研究的核心是结合科学技术和经济社会的发展需求，在分析科学前沿发展趋势的基础上，寻找新的学科生长点和方向。在这个过程中，战略科学家的前瞻引领作用十分重要。科学史上这样的例子比比皆是。在1900年8月巴黎国际数学家代表大会上，德国数学家戴维·希尔伯特发表了题为“数学问题”的著名讲演，他根据过去特别是19世纪数学研究的成果和发展趋势，提出了23个最重要的数学问题，即“希尔伯特问题”。这些“问题”后来成为许多数学家力图攻克的难关，对现代数学的研究和发展产生了深刻的影响。1959年12月，美国物理学家、诺贝尔奖得主理查德·费曼在加利福尼亚理工学院举行的美国物理学会年会上发表了题为“物质底层大有空间——一张进入物理新领域的请柬”的经典讲话，对后来出现的纳米技术作出了天才的预见。

学科生长点并不完全等同于科学前沿，其产生和形成不仅取决于科学前沿的成果，还决定于社会生产和科学发展的需要。1841年，佩利戈特用钾还原四氯化铀，成功地获得了金属铀，可在很长一段时间并未能发展成为学科生长点。直到1939年，哈恩和斯特拉斯曼发现了铀的核裂变现象后，人们认识到它有可能成为巨大的能源，这才形成了以铀为主要对象的核燃料科学的学科生长点。而基本粒子物理学作为一门理论性很强的学科，它的新生长点之所以能不断形成，不仅在于它有揭示物质的深层结构秘密的作用，而且在于其成果有助于认识宇宙的起源和演化。上述事实说明，科学在从理论到应用又从应用到理论的转化过程中，会有新的学科生长点不断地产生和形成。

不同学科交叉集成，特别是理论研究与实验科学相结合，往往也是新的学科生长点的重要来源。新的实验方法和实验手段的发明，大科学装置的建立，如离子加速器、中子反应堆、核磁共振仪等技术方法，都促进了相对独立的新学科的形成。自20世纪80年代以来，具有费曼1959年所预见的性能、微观表征和操纵技术的

仪器——扫描隧道显微镜和原子力显微镜终于相继问世，为纳米结构的测量和操纵提供了“眼睛”和“手指”，使得人类能更进一步认识纳米世界，极大地推动了纳米技术的发展。

作为国家科学思想库，中国科学院（以下简称中科院）学部的基本职责和优势是为国家科学选择和优化布局重大科学技术发展方向提供科学依据、发挥学术引领作用，国家自然科学基金委员会（以下简称基金委）则承担着协调学科发展、夯实学科基础、促进学科交叉、加强学科建设的重大责任。继基金委和中科院于2012年成功地联合发布“未来10年中国学科发展战略研究”报告之后，双方签署了共同开展学科发展战略研究的长期合作协议，通过联合开展学科发展战略研究的长效机制，共建共享国家科学思想库的研究咨询能力，切实担当起服务国家科学领域决策咨询的核心作用。

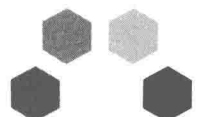
基金委和中科院共同组织的学科发展战略研究既分析相关学科领域的发展趋势与应用前景，又提出与学科发展相关的人才队伍布局、环境条件建设、资助机制创新等方面的政策建议，还针对某一类学科发展所面临的共性政策问题，开展专题学科战略与政策研究。自2012年开始，平均每年部署10项左右学科发展战略研究项目，其中既有传统学科中的新增长点或交叉学科，如物理学中的软凝聚态物理、化学中的能源化学、生物学中生命组学等，也有面向具有重大应用背景的新兴战略研究领域，如再生医学、冰冻圈科学、高功率、高光束质量半导体激光发展战略研究等，还有以具体学科为例开展的关于依托重大科学设施与平台发展的学科政策研究。

学科发展战略研究工作沿袭了由中科院院士牵头的方式，并凝聚相关领域专家学者共同开展研究。他们秉承“知行合一”的理念，将深刻的洞察力和严谨的工作作风结合起来，潜心研究，求真唯实，“知之真切笃实处即是行，行之明觉精察处即是知”。他们精益求精，“止于至善”，“皆当至于至善之地而不迁”，力求尽善尽美，以获取最大的集体智慧。他们在中国基础研究从与发达国家“总量并行”到“贡献并行”再到“源头并行”的升级发展过程中，

脚踏实地，拾级而上，纵观全局，极目迥望。他们站在巨人肩上，立于科学前沿，为中国乃至世界的学科发展指出可能的生长点和新方向。

各学科发展战略研究组从学科的科学意义与战略价值、发展规律和研究特点、发展现状与发展态势、未来5~10年学科发展的关键科学问题、发展思路、发展目标和重要研究方向、学科发展的有效资助机制与政策建议等方面进行分析阐述。既强调学科生长点的科学意义，也考虑其重要的社会价值；既着眼于学科生长点的前沿性，也兼顾其可能利用的资源 and 条件；既立足于国内的现状，又注重基础研究的国际化趋势；既肯定已取得的成绩，又不回避发展中面临的困难和问题。主要研究成果以“国家自然科学基金委员会—中国科学院学科发展战略”丛书的形式，纳入“国家科学思想库—学术引领系列”陆续出版。

基金委和中科院在学科发展战略研究方面的合作是一项长期的任务。在报告付梓之际，我们衷心地感谢为学科发展战略研究付出心血的院士、专家，还要感谢在咨询、审读和支撑方面做出贡献的同志，也要感谢科学出版社在编辑出版工作中付出的辛勤劳动，更要感谢基金委和中科院学科发展战略研究联合工作组各位成员的辛勤工作。我们诚挚希望更多的院士、专家能够加入到学科发展战略研究的行列中来，搭建我国科技规划和科技政策咨询平台，为推动促进我国学科均衡、协调、可持续发展发挥更大的积极作用。



前言

人类生老病死是一个自然规律。但是，疾病往往是从个别器官的损伤开始，然后扩展到多器官的病变，导致多器官的衰竭。如果在发病早期，或者在少数器官病变的情况下，及时加以修复再生，或者更新替换，那么病情就可以逆转或改善，患者的生活质量可以提高，生命就可以延续。

2007年10月，中国科学院启动了“中国至2050年重要领域科学发展路线图”的研究。经过一年多的调研，2009年6月出版了《中国至2050年人口健康科技发展路线图》，其中有一段重要论述：人类疾病中还有很多疾病没有找到根治办法，因此，人们期待着新一轮的医疗技术革命。基于干细胞的修复与再生能力的再生医学，有望成为继药物治疗、手术治疗后的第三种疾病治疗途径，前途广阔。

再生医学主要是对人体已经发生病变的组织、器官采用替换或再造的医疗策略，治疗目前尚无根治办法的先天性遗传缺陷疾病与后天获得的退行性疾病，如创伤、心血管病、糖尿病、阿尔茨海默病、衰老等。基于干细胞的修复与再生能力的再生医学，致力于促进机体自我修复与再生，以改善和恢复损伤组织和器官的功能。

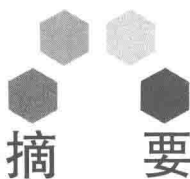
随着干细胞研究的不断深入，以及基因工程、组织工程、材料科学的发展，再生医学的内涵在不断扩大，它包括基因治疗、组织工程产品应用、细胞组织器官移植，以及组织器官缺损的再生与生理性修复机理研究等。再生医学汇集了生命科学及转化医学等诸多学科前沿的成就，是21世纪医疗技术创新中具有重要科学意义和重大实际应用前景的一门新兴学科。

根据中国科学院生命科学和医学学部关于学科发展战略研究的要求,本课题组启动了对再生医学学科发展战略的研究。课题组先后于2012年、2013年、2015年在济南、青岛和巢湖召开了“再生医学学科发展战略论坛”,集中检阅和总结了战略研究组专家与课题组的调研成果。课题组还对国内外文献进行了系统的调研,并利用科学计量、专利分析、专家咨询等方法把握学科发展的脉络。参加课题研究的专家以再生医学发展历史和现状为依据,从全球科技发展视野和我国战略需求出发,提出了对再生医学战略发展布局和重点发展方向的意见及优先发展项目的建议;同时,关注了与其他学科交叉的重要科学问题,并提出了政策保障机制和相关建议。笔者相信在调研和分析基础上撰写的此书,将对我国再生医学事业的持续、协调发展起到有益的参考作用。

科学在发展,技术在进步,对再生医学的认识及它对人类健康的贡献,将无比美妙并日臻完善!

吴祖泽

2016年6月



摘 要

进入 21 世纪，各种慢性疾病（如心血管疾病、糖尿病等）、癌症、老年退行性疾病等的发病率逐年上升，各种创伤因素导致的器官损伤也日渐增多。目前，对慢性重大疾病和创伤导致的器官受损或功能衰竭尚缺乏有效的治疗手段，这严重影响了患者的生活质量，导致了沉重的经济负担乃至威胁到患者生命，并引发了一系列的社会问题。再生医学作为现代临床医学的一种崭新治疗模式，成为继药物、手术治疗之后的另一种疾病治疗手段，并备受国际生物学和医学界的关注，再生医学的发展有望为解决以上问题带来曙光。

再生医学是一门研究如何促进组织、器官创伤或缺损的生理性修复，以及如何进行组织、器官再生与功能重建的学科，研究内容涉及组织工程、细胞与分子生物学、发育生物学、材料学、生物力学及计算机科学等诸多领域。

再生医学的前沿性与现代医学研究手段和理念的结合将推动医学科学迅速达到一个前所未有的高度。随着生物科技的迅猛发展，再生医学将在第六次科技革命中成为核心与引领的支柱学科。全球发达国家的政府部门均非常重视再生医学研究，美国、英国、日本等都从国家战略的角度对再生医学发展进行了顶层设计，大力推动再生医学的发展。美国建立了多元化的资本投入体系，国家、地方政府、企业与资本市场形成了良性的发展环境；英国发布了“英国干细胞计划”（UK Stem Cell Initiative）以推动再生医学研究；日本形成了各级参与的“举国体制”，以推动日本的重编程干细胞研究。

当前,干细胞与再生医学正处于重大科学技术革命性突破的前夕。

再生医学从其发端就引起全球各界的关注和争议。其发展不仅是科学问题,也是人类需要面对的文化和伦理问题。随着诱导性多能干细胞(induced pluripotent stem cell, iPS 细胞)的发展,伦理问题也有所转机。由于再生医学是一个覆盖基础科学与临床治疗、多学科交叉融合的领域,因此需要基于顶层设计,建立系统转化与整合的机制。

随着再生医学领域的快速发展,其内涵不断扩大。再生医学目前涵盖基因、细胞、组织、器官,从微观到宏观不同层次的修复与再造,主要包括基因治疗、干细胞、组织工程、器官移植等技术领域。从基因层次而言,基因治疗是以改变人的遗传物质为基础的生物医学治疗手段,直接通过基因水平的操作和介入来干预疾病的发生、发展。与现有的其他治疗方法和策略相比,其优势在于可直接利用在分子水平对疾病的病因和发病机理的新发现、新认识及分子生物学领域的新技术,有针对性地修复甚至置换致病基因,或纠正基因表达调控异常。CRISPR (clustered regularly interspaced short palindromic repeats) 等基因精确编辑技术为基因治疗遗传性疾病奠定了基础。全球基因治疗领域研究呈现稳定发展趋势,该领域技术已趋于成熟,目前的研究焦点主要集中于基因治疗临床安全性等方面。美国、中国、德国为基因治疗领域研究论文发表数量较为领先的国家,中国位于第二名,仅次于美国。但从发文质量上看,我国与美国仍存在较大差距。美国研究机构整体实力较强,产出较多的研究机构多为综合性大学和政府研究机构,如加利福尼亚大学系统、哈佛大学、美国国立卫生研究院(NIH)、宾夕法尼亚大学、约翰·霍普金斯大学、美国国家癌症研究所等。从专利申请数量来看,全球基因治疗领域专利申请整体呈快速下降趋势,2000~2001年申请量有明显增加,之后有所波动,整体呈下降趋势,显示该领域技术已经进入成熟期,新申请的专利数逐渐减少。我国基因治疗领域专利申请量变化不大,整体较为稳定。全球正在进行的基因治

疗研究大多处于临床试验阶段,其中Ⅰ期临床试验有 974 项,Ⅱ期为 1223 项,Ⅲ期为 283 项,Ⅳ期为 232 项。由于基因治疗研究处于医学研究的前沿,临床试验终点疗效有多种不可控因素,因此大量产品走向临床应用还有一段距离。在研临床研究治疗靶向 400 余种疾病,其中肿瘤、心血管疾病、糖尿病、单基因疾病等领域研究较多。在我国基因治疗研究领域,中国科学院和四川大学研究实力最强,其他主要研究机构有上海交通大学、复旦大学、中国医学科学院等。2004 年,我国深圳赛百诺基因技术有限公司研发的“今又生”(重组腺病毒-p53 抗癌注射液, Gendicine) 成为世界上首个获准上市的基因治疗药物。2012 年,欧盟批准西方首个基因治疗药物 Glybera 上市,该药用于治疗一种极其罕见的遗传性疾病——脂蛋白酯酶缺乏症 (LPLD),成为全球基因治疗产业化发展的里程碑。2015 年,美国食品药品监督管理局 (FDA) 批准安进公司 T-Vec 上市, T-Vec 是一种经过基因修饰的用于治疗黑色素瘤的溶瘤病毒类基因治疗药物。2016 年,欧洲药品管理局 (EMA) 批准了英国葛兰素史克公司和意大利科学家联合开发的首个用于治疗儿童免疫疾病的基因治疗药物 Strimvelis。这些药物的上市标志着基因治疗已经从临床试验阶段进入临床应用阶段。目前基因治疗的对象已从最初的单基因遗传病扩展到恶性肿瘤、心血管疾病、感染性疾病等人类重大疾病。

干细胞是一类具有自我更新能力、在特定的条件下可以分化成不同类型功能细胞的原始细胞。20 世纪初,科学家提出“干细胞”概念。1963 年,加拿大的欧内斯特·麦卡洛克 (Ernest A. McCulloch) 等首次通过实验证实小鼠骨髓中存在可以重建整个造血系统的原始细胞 (即造血干细胞)。1981 年,小鼠胚胎干细胞 (ES 细胞) 系和胚胎生殖细胞 (EG 细胞) 系建系成功,这是再生医学理论诞生的标志。英国科学家马丁·伊文斯 (Martin Evans) 的这项突破性研究成果直接导致了基因敲除技术的产生,他也因此于 2007 年与马里奥·卡佩奇 (Mario Capecchi)、奥利弗·史密斯 (Oliver Smithies) 分享了诺贝尔生理学或医学奖。1998 年,美

国科学家成功培养出世界上第一株人类胚胎干细胞系。胚胎干细胞可以定向诱导分化为各种组织类型细胞并用于构建组织和器官,达到替代和修复损伤组织器官的目的。2006年,日本京都大学的山中伸弥教授通过转染4个转录因子基因使小鼠皮肤细胞重编程转化为iPS细胞。iPS细胞的产生克服了胚胎干细胞研究所面临的伦理问题,丰富了细胞逆分化和谱系转化的理论。山中伸弥因这一突破性研究成果获得了2012年诺贝尔生理学或医学奖。根据细胞来源,可将干细胞分为胚胎干细胞(ES细胞)、成体干细胞(AS细胞)和iPS细胞。目前,由胚胎干细胞分化来的细胞产品已进入临床试验;部分成体干细胞作为细胞药品已经上市;而细胞重编程技术将改变经典的干细胞获取模式,开辟了干细胞的新来源。文献数据表明,全球iPS细胞自2006年后快速发展。胚胎干细胞研究自2000年之后发展较快,但近年发展速度不如iPS细胞研究迅猛;成体干细胞研究一直呈现稳定发展趋势。从文献角度看,美国干细胞研究领域实力最强,2000~2014年美国发表干细胞相关论文8万多篇,位居世界第一,遥遥领先于其他国家,其次是德国、中国和日本。干细胞研究较为领先的机构为哈佛大学、斯坦福大学、华盛顿大学、宾夕法尼亚大学、加利福尼亚大学系统、东京大学等。在全球干细胞发表论文量Top 10机构中,有7个是美国的大学。具体而言,在iPS细胞、胚胎干细胞和成体干细胞领域,加利福尼亚大学系统论文发表数量均为第一,其次为哈佛大学、美国国立卫生研究院、东京大学等机构。中国科学院在干细胞领域也成绩显著,特别是在iPS细胞和胚胎干细胞领域。从专利分析来看,全球干细胞专利申请量呈上升趋势,在2010年专利申请量达到峰值。美国专利申请量位居世界第一,其他依次是欧盟、中国、澳大利亚、韩国、加拿大等国家或地区。美国加利福尼亚大学系统专利申请量为第一,其次是美国杰龙生物医药公司、日本京都大学等机构。浙江大学申请量位于我国第一,其他依次是协和干细胞基因工程有限公司、中国人民解放军军事医学科学院野战输血研究所、中国人民解放军第二军医大学等机构。资助干细胞领域研究最多的机构是美国

国立卫生研究院，资助金额约占全球资助总额的一半，中国国家自然科学基金排第二位，其他主要资助机构还包括美国国家科学基金会（NSF）、欧盟、美国心脏病学会、德国科学基金会、美国国立癌症研究所、日本文部科学省。目前，大量干细胞研究还主要集中于临床前期，临床试验较多的国家或地区主要是美国、欧盟、加拿大等，我国的临床研究也日渐增多。干细胞研究的主要科学问题集中在干细胞的调控与定向分化、免疫原性，以及其应用的安全性等。

组织工程是应用生命科学与工程学的原理与技术，研究、开发用于修复、维护、促进人体各种组织或器官损伤后的功能和形态的生物替代物的一门新兴工程学科。其基本原理和方法是将体外培养扩增的正常组织细胞接种于一种具有优良生物相容性并可被机体降解吸收的生物材料上形成复合物，然后将细胞-生物材料复合物植入人体组织、器官的病损部位。在作为细胞生长支架的生物材料逐渐被机体降解吸收的同时，细胞不断增殖、分化，形成形态和功能方面与相应组织、器官一致的新的组织，从而达到修复创伤和重建功能的目的。与传统的自体或异体组织、器官移植相比，该技术克服了“以创伤修复创伤”、供体来源不足等缺陷，从根本上解决组织、器官缺损的修复和功能重建等问题。世界各国对组织工程基础研究，尤其是心肌修复、骨组织修复等重要脏器修复及产品等方面，给予了充分的重视，部分国家成立了规模较大的组织工程研究中心和尖端医疗中心，为组织工程应用研究、医药产品的临床试验及医疗设备研制奠定了基础。在组织工程领域，美国、中国、德国研究实力较强。美国研究机构整体实力较强，产出较多的研究机构多为综合性大学，如哈佛大学、密歇根大学、加利福尼亚大学系统、麻省理工学院等。我国组织工程领域研究实力较为分散，中国科学院处于较为靠前的位置。中国与美国组织工程的专利申请数量最多。我国国内组织工程专利主要申请机构有浙江大学、东华大学、清华大学、四川大学、天津大学、中国人民解放军第四军医大学、暨南大学、中国人民解放军第二军医大学、武

汉大学、中国人民解放军第三军医大学等。世界组织工程临床研究目前主要集中于种子细胞、生物材料、构建组织和器官的方法和技术及组织工程的临床应用,从分布来看,主要是美国、中国、加拿大等国家。目前,应用组织工程技术构建骨、软骨、表皮、角膜、神经等相对单一组织已较成熟,但组织工程化器官的研究仍无突破性进展,其主要原因在于器官结构和功能的复杂性。器官中含有不同的细胞,将不同的种子细胞严格按照正常的解剖结构在生物材料上有序排列与组装,并在组织形成过程中维持这种有序结构的难度极大,现有的技术手段尚无法解决,这是组织工程面临的巨大挑战。组织工程面临的另一个挑战在于产生血管化组织。组织的血管化可用于恢复组织血流供应,满足构建带有血液供应的人工组织需要,从而适应临床上具有一定厚度的复杂组织修复需求。

我国的再生医学研究处于世界前列,基础研究和临床转化研究都取得了重要的进展,部分领域处于国际先进或领先水平。这是由于再生医学是一个相对较新的研究领域,我国和其他国家有着相近的起跑线。我国在干细胞和组织工程领域已取得了一些有国际影响的成就。此外,我国没有西方国家宗教伦理等方面的不利影响,因此发展再生医学有着特殊的优势。未来,我国再生医学的发展需要在学科交叉、基础理论研究、临床研发应用与转化方面加大力度,在干细胞、组织工程、基因治疗、细胞治疗等领域促进我国再生医学的整体能力提升。主要发展方向包括:①注重学科交叉融合,奠定再生医学发展的基石。②加强基础理论研究。基础理论创新与突破将是再生医学发展的根本。③聚焦生物医学技术突破及应用,如iPS细胞技术、3D打印技术、CRISPR等技术将大力推进再生医学发展。④加强再生医学产品研发,建立相关的产品规范、标准及审批流程。⑤推进再生医学产品和技术的临床转化。充分利用我国病种资源丰富和患者数量巨大的特点,推进再生医学转化的整体发展。⑥关注传统中医药技术及产品在再生医学中的应用,发展中国特色的再生医学治疗策略。