

纳米与生命

攸关健康的
生命新科学

N a n o C o m m e s t o L i f e

非虚构

(Sonia Contera)

[西]索尼娅·孔特拉 / 著

孙亚飞 / 译

中信出版集团

[西] 索尼娅·孔特拉 (Sonia Contera) / 著 孙亚飞 / 译

纳 米 与 生 命

N a n o C o m e s t o L i f e

图书在版编目 (CIP) 数据

纳米与生命 / (西) 索尼娅·孔特拉著; 孙亚飞译.
—北京: 中信出版社, 2021.10
书名原文: Nano Comes to Life
ISBN 978-7-5217-3531-4

I. ①纳… II. ①索… ②孙… III. ①纳米技术—普
及读物 IV. ①TB383-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2021) 第 180205 号

Copyright © 2019 by Princeton University Press

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means,
electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage and retrieval
system, without permission in writing from the Publisher.

Simplified Chinese translation copyright © 2021 by CITIC Press Corporation

ALL RIGHTS RESERVED

本书仅限中国大陆地区发行销售

纳米与生命

著者: [西] 索尼娅·孔特拉

译者: 孙亚飞

出版发行: 中信出版集团股份有限公司

(北京市朝阳区惠新东街甲4号富盛大厦2座 邮编 100029)

承印者: 北京诚信伟业印刷有限公司

开本: 880mm×1230mm 1/32 插页: 4

印张: 7.25 字数: 131 千字

版次: 2021 年 10 月第 1 版 印次: 2021 年 10 月第 1 次印刷

京权图字: 01-2020-3584 书号: ISBN 978-7-5217-3531-4

定价: 59.00 元

版权所有·侵权必究

如有印刷、装订问题, 本公司负责调换。

服务热线: 400-600-8099

投稿邮箱: author@citicpub.com

给阿图罗和伊莎多拉

21世纪以来，科学的逐步融合，特别是物理学、纳米技术、生物和医学等学科的交叉融合，构成了我自己科学生涯的图景，横跨不同的大陆，也跨越了不同的科学与文化。2007年，我的学习与工作的旅程指引着我从物理走向纳米技术，再到生物学，最后又重回物理学，在我游学过西班牙、中国、捷克、日本、丹麦和英国之后，我成为医用纳米科学研究中心的联席主任，从事牛津大学牛津马丁学院的一个科研项目。这所学院由詹姆斯·马丁与莉莉安·马丁捐助设立，旨在成为一个交汇中心，让所有相关的学术科研都可以在这里汇集起来，以调查并讨论21世纪面临的挑战与机遇。牛津马丁学院建立了与公众沟通的机制，在此鼓舞之下，我开始进行一些有关纳米技术以及医学与生物之未来的讲座，这些都深深地源于我用物理学家的眼光看待世界。尽管科学融合的步伐在加快，对于学科融合如何重塑我们的工作方式以及对自然界进行思考的方式这些问题，科学界的反应却较为迟

缓，因此我的讲座也是在试图满足自己作为科学实践者的需要。在公开场合对着学术界或非学术背景的观众谈论这些话题，已经成为我学术生涯的重要组成部分，也让我能够反思更多我自己科研的内涵、历史与背景。如今我在世界各国，对着不同的观众开展我的讲座，这让我得以与很多群体交流，也能够认识到公众对这些融合技术抱有极大的兴趣。这些技术定义了我们的现在，而且很有可能塑造我们的未来。

所以，当我的编辑英格里德·格内里奇找到我写这本书的时候，我便爽快地答应了，尽管我有沉重的学术科研任务，还有两个嗷嗷待哺的孩子。无论是哪种教育背景的人，似乎都对我讲的科学故事兴趣盎然。我们正生活在一个让人激奋的时代：我们对周遭乃至身体内物理与生物事实的认识，正在以指数级的速度被打破。科学的融合正带来一场变革，不只是在技术领域，也涉及我们与物质世界在生理、文化和哲学层面的联系。在这个时刻，我们思索并探讨着快速变化的现在，也在集体想象着让新技术美梦成真的光明未来。我希望这本书能够以一种有意义的方式对这样的对话产生贡献。

对于我家人给予的支持与耐心，以及编辑不遗余力的鼓励，我深表感谢。同时，我也要感谢对我初稿进行审读与批评的各位朋友与同事们：查尔斯·奥尔森（Charles Olsen）、罗萨里奥·鲁伊瓦尔·比利亚塞尼奥尔（Rosario Ruibal Villaseñor）、阿尔韦托·梅昌特（Alberto Merchante）、伊邦·圣地亚哥（Ibon Santiago）以及莉娜·加尔韦斯（Lina Gálvez）。伊万·沙普

(Iwan Schaap) 以及 teamLab 的美意让我受益匪浅，他们给我提供了精美的图片，也激发了我在创作本书时的一些灵感。很多交谈对于我思想的塑造而言很重要，特别是与物理学家雅各布·塞弗特 (Jacob Seifert)、我的博士生导师岩崎裕 (Hiroshi Iwasaki)、电影导演艾莉森·罗斯 (Alison Rose) 以及数学史学家阿加特·凯勒 (Agathe Keller) 的交谈。

前言及致谢 V

绪论

科学融合于生物学，重塑健康 001

生物学与医学中的纳米技术 003

定量生物学的诞生：生命的全新物理学 005

生物学和医学的转变 010

创新材料的未来 014

第 1 章

最终，我们拥抱生物学的复杂性 019

分层的宇宙，分层的生命 023

近距离对焦生物的复杂性：还原生物 025

拉远镜头：解释由复杂性形成的生物学行为 030

利用纳米技术工具研究生物 041

观察进行纳米尺度行走的蛋白质 045

调查多尺度的细胞行为 048

细胞如何对机械作用力与环境做出反应？ 051

将机械信号翻译成生物语言 052

用机械信号与电学信号连接不同尺度 058

生物电对器官活动的程序控制 060
分层的生物、分层的大脑以及分层的思维 061
接纳生物的复杂性 065

第2章

边制作，边学习：DNA和蛋白质纳米技术 069

DNA纳米技术的诞生 073
利用DNA创造纳米结构 077
DNA折纸术 080
DNA纳米机器人 081
DNA纳米技术的挑战 083
蛋白质纳米技术 086
通过生物演化优化自身的纳米结构 096
利用纳米技术制造仿生材料和仿生设备 097
未来设备：量子物理、生物学与纳米技术的相遇 099

第3章

医学中的纳米 103

药物发现简史与纳米医学的到来 105
抗生素耐药性与纳米技术 112
利用定制化蛋白质进行药物合理化设计 118
用于可编程化学合成的DNA纳米机器人 121
用于靶向输送药物的纳米技术 122
增强癌症免疫疗法的纳米技术 128
用于基因编辑与基因递送的纳米颗粒 133

药物与分子从聚合物材料中可控释放	135
将应用生物响应材料的皮肤贴剂中的药物可控释放	137
用于改进免疫疗法的植入体	138
迈向超增强的免疫系统	140

第 4 章

组织与器官再生 143

从细胞的发现到干细胞的发现	147
早期的组织工程	151
操控干细胞的命运	154
用于组织工程的纳米结构材料	156
器官工程	157
三维生物打印	162
芯片上的器官	164
将生物学、物理学与数学用于工程和再生组织	166
第一个生物杂化的跨领域材料机器人	168

第 5 章

总之，生命改变一切 171

结语

生物变成物理： 我们成为技术物种的时代正在来临？ 183

科学家为新的技术文化而努力	184
---------------	-----

科技与平等 189

创造积极技术未来的愿景 193

在过去的辉煌中前行 196

译后记

人类的又一次三岔路口 199

注释 203

生物学是现代科学中被研究得最为深刻的学科。健康、死亡、我们在宇宙中的位置与身份……除了这些人类永恒关注的生命话题之外，隐藏在生物学复杂性背后的力量，正在让几乎所有科学技术的分支都被吸引到对生命的研究中去。生物学不再是生物学家、生物化学家以及药物学家的自留地；在21世纪，物理学、数学以及工程科学都在与更为传统的生物学科融合，在其多面而动态的结构与功能中，寻找对生命更深层的理解。在我们这个激荡不已又失去方向的年代，生物学内在的运转模式，以及它对生命意义的独到见解，已经成为人类创造力的焦点，孕育着技术与文化上的创新。这也许会让我们更好地生存，又或者会加速我们的灭亡。

科学对生物学的诉求，是要在所有生物学的空间尺度上获得满足——从纳米尺寸的分子，到微米大小的细胞，再到以米作为单位的真核生物¹；对于所有的表现形式也是如此，从生物中

各种分子令人难以置信的形态与功能的多样性，到驱动复杂蛋白质、脂膜或DNA（脱氧核糖核酸）螺旋精密组装的作用力与过程。科学寻求有关单个分子、细胞、组织、器官以及生态系统的知识，这包括了对生物学结构如何催生个体以及集体“智慧”²的研究，而这一智慧又让活着的生命得以在地球上继续生存。

除了对知识纯粹的探索，经济收益和社会影响力也是科学界的日常驱动力（甚至更多的是因为科研基金）；因此，人们会注意到，目前科学界希望所有事情都和生物学挂钩的动力，通常是技术方面的。从生物学获取的潜在技术回报十分丰富，一如新的学科从生物学中汲取知识产生的演变。比如，计算机科学家热衷于学习人类大脑组织的精确细节，以便他们在算法结构中反映出神经元之间的层状连接。他们希望这可以带来AI（人工智能）的大幅提升，同时有助于更好地理解人类自身的思考能力。材料科学家和机器人科学家观察生物结构的组装，以激发设计新型仿生材料和机器人的灵感。在物理领域，科学家研究负责光合作用的植物蛋白质，寻找可应用于未来的量子计算机的生物配方。

无论这些参与生物学研究的新加入者多么活跃和专注，医学始终占据着生物研究的中心位置，是主要的智力、社会及经济引擎。医学研究有助于吸引基金的注入，而且更为重要的是，它扮演着知识整合者的角色。被吸引到生物领域的科学技术，出于不同的目的，以不同的路径抵达此处，但是医学可以消除学科间的文化障碍，加速它们的融合，从而寻找更好的策略以发现本质的发病原因，并采取更好的干预措施以保持或恢复健康。

认识疾病并进行治疗，这是一个无比复杂的挑战，需要“携手共进”——把所有可用的技术和科学知识都集合起来。尖端医疗研究已经融入了AI、材料技术、机器人技术的最新发展成果，而且毫无疑问会在量子计算机成熟之后就得到应用。去过现代医院的每个人都可以见证，大多数人类技术都以这样或那样的形式被改造，以便适应医院的使用条件：从毫不起眼的温度计，到用来给肿瘤成像的PET（正电子发射断层成像）扫描仪背后的正电子物理学；从用来控制生育的手机应用软件，到用于根除疾病的基因编辑技术。医院就是最富营养的文化载体，为科学技术知识的融合与生长提供了土壤。

当前研究的广度、强度以及发展速度，充分说明我们还生活在生物学与医学发生大变革以前的时代。那些长期困扰人类的问题，比如生命的起源与多样性，还有我们智力与意识的来源，可能远远得不到明确的答案。然而，以前所未有的强度加速进行的跨学科融合，让我们感觉自己正处在一个转折点，即将不可逆转地奉迎新技术的降临。这些技术将会改变我们对生物学的理解与控制，它们将以非常新颖又有效的方式，赐予我们力量治疗自身，从而延长或改造我们的生命。

生物学与医学中的纳米技术

纳米技术（在纳米尺度上实现物质的可视化、相互作用、操控与创造）的发展是迈向突破边缘的必要一步，今天如此，未

来还将如此。这主要是因为，生物体内主要的分子“玩家”，还有医学中主流药物与治疗方法的作用目标——蛋白质与DNA——都是纳米尺度的。纳米技术是纳米尺度的接口，它将我们感知的宏观世界与单个生物分子所处的纳米世界直接联系起来。为了抵达医学界的天堂——获取恢复完美健康的力量，我们还需要知晓分子在特定环境下如何作用，它们为什么在疾病中发生故障，又是如何发生的；更为重要的是，如何发现它们、瞄准它们，以及让它们失活或被激活。在这种空间认知中，医学与纳米技术平行：为了治疗，我们需要跨越空间范围，从医生的宏观尺度到生物分子所在的纳米尺度，在由器官、组织和细胞构成的超复杂多尺度景观中穿梭。从早期的纳米技术开始，其主要使命之一便是创造出各种工具——这些工具可以直接在它们的复杂介质中一次一个地和关键的生物分子发生相互作用，并通过这种方式，在医学环境中使瞄准单个分子变得更加接近现实。我们依然在对此进行研究，而本书也尝试着在一定程度上说明，我们已经在这条路上走了多远。

除了引入纳米工具，让新的生物学及医学研究变成可能，纳米技术已经实现一项更为基础的贡献：吸引物理学家关注生物学。在20世纪的最后10年里，人造纳米材料以及纳米技术的一些工具（显微镜与纳米操控装置）都已经开始出现。大批对纳米尺度物质感兴趣的物理学家利用它们，试图理解为什么生物最先在水（盐水）介质中利用纳米尺度的组装模块构建自身，以及这一切是如何发生的。物理与化学的耦合，让生物学功能得以实

现。这些科学家着迷于这一过程，因而致力于利用纳米技术的方法，研究蛋白质、DNA以及其他重要的纳米尺寸生物分子的工作原理。在这一进程中，他们变成了生物物理学家，探寻着深层科学问题的答案，比如：纳米尺度的什么特性，让它对于生命的诞生显得如此特殊？另一些人更为实际一些，他们看到了设计纳米材料的机遇，将这些材料用在采取更为精确又合理的方法来治疗疾病的过程中，从而改进目前的药物治疗方案。于是，他们成了纳米药物科学家。

这一交叉学科领域的行动引领了特定工具的发展，它们被构建出来以研究生物过程，以及生理条件（温盐水）下的纳米参与者。随着纳米生物科学家先驱们扩充了他们在生物学领域的知识，材料科学、物理学、化学以及生物学之间的壁垒也被他们消融了，从而诞生了新一代研究者，这些研究者可以自然地跨学科进行研究，不再拘泥于智力或文化上的障碍，可以与其他任何科学领域产生交集。

定量生物学的诞生：生命的全新物理学

纳米技术在生命科学中的出现，促使一大批物理学家进入生物学领域，也让人们对一些过去的问题有了新的看法。这些科学家所做的实验，与大多数生物学家或生物化学家的研究都有区别，他们受机械论假说所驱使：也就是说，他们追求定量的数据，以帮助解释所研究的过程中实际的功能机制。生物学家通常

提出的问题是：“谁（具体哪种分子）发挥了这一作用？”对于物理学家而言，问题是：“它是如何实现的，为什么会这样？我能否用数学对其建模？”当你用一双物理学家的眼睛看待生物系统时，你会寻找一些关键参数，以解释生物系统是如何运转的：尺寸、温度、能量、速度、结构、硬度、电荷，还是化学活性？

至关重要的一点在于，物理学家的终极目标是建立生物过程的数学模型，用以描述这些机制。如果数学模型重现甚至预测了生物学中的这一过程，我们就开始明白实际驱动它的基本量与作用力。在生物学中引入这种“定量研究”的优势在于，它释放了一种令人生畏的力量：精确的数学模型可以在计算机中被用来预测特定生物过程的行为，或者用更现代化的科学术语来说，只需要电脑模拟，而不需要实验。这也就意味着，如果此法奏效，数学模型可以逐步淘汰传统生物学、医学以及药理学中的试错方法。这些实验慢得让人备受折磨，成本高昂，而且正如新药的开发过程常常凸显的那样效率低下。计算机建模方法已经在现代土木工程、航空学以及建筑学中得到应用。在这些领域中，工程师将计算机拟合与建造材料机械性能（如弹性、黏度、强度、刚度）的定量数据结合，通常会在建造工作开始之前，用电脑来测试设计的可行性。

如果没有发明这样一种技术，对生物体中动态且多层次的复杂结构进行监控——从蛋白质和DNA的纳米尺度到细胞，再到生命体中的组织，那么在医学中应用这种定量方法是完全不可能实现的。这些技术不仅需要让不同尺度下的生物结构及其运动