



2040年的世界

健康、移动出行、旅行和家居
领域的未来

未来的健康、医
疗服务与福祉



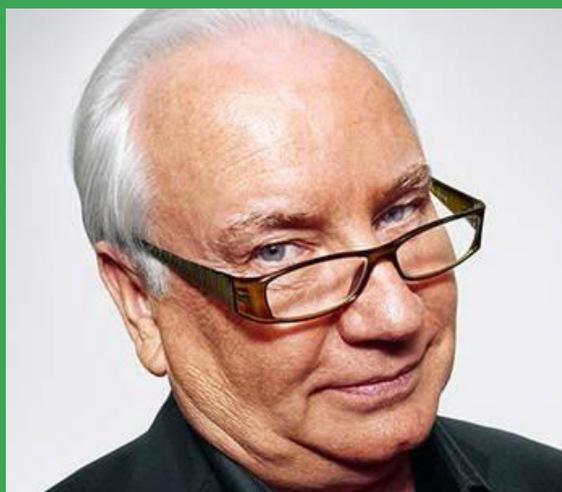
目录

未来的健康、医疗服务与福祉

关于作者	3
个性化医疗	5
干细胞医学	11
纳米医学	13
基因治疗与基因编辑	15
数字健康	17
影响	24

关于作者

雷·哈蒙德 (Ray Hammond) 在未来趋势与发展预测领域拥有近40年的研究、写作和演讲经验。



他著有14本未来学著作，为世界各地的大型企业以及欧洲、美国和亚洲的政府部门和大学撰文、咨询和讲学，并经常受邀担任各国和国际广播电视节目的采访嘉宾。

2010年，米哈伊尔·戈尔巴乔夫 (Michal Gorbachev) 向雷·哈蒙德授予一枚由意大利众议院代表联合国颁发的奖章，以表彰其对未来学作出的贡献。在致辞中，戈尔巴乔夫总统写道：

“我们非常欣喜地嘉奖雷·哈蒙德持之以恒的研究工作以及对未来的惊人推测，他的研究受到科学知识的启迪并出自对人类的关怀。”

作者按语

本报告代表我对未来发展趋势的看法。它不代表安世联合的观点。在应邀开展研究并撰写本报告时，我得到关于研究主题领域的指引，但我被允许独立地就所有议题展开论述。文中的错误和疏漏由本人自行担责。

未来的健康、医疗服务与福祉

医学和医疗健康服务是保守的、变革缓慢的产业。药物的开发周期长达10至15年、医疗健康系统的改革具有一定的政治敏感性，监管机构也行事谨慎。然而，在接下来的20年里，五大变革将改变医学实践以及医疗服务的格局。这些变革是：

1. **个性化医疗——基于个人DNA分析以及从个体患者采集的电子健康数据**
2. **干细胞医学——利用干细胞修复/再造组织和器官**
3. **纳米医药——亚显微水平的药物递送和开发**
4. **基因治疗与基因编辑——通过重组人类DNA以改善健康**
5. **数字健康——运用人工智能（AI）和数字技术来诊断和监测患者的健康状况**

五大变革中的每一项都将分别改变人类健康及长寿的前景。但综合起来，它们将产生一种崭新的医疗健康范式：消费者采集自身的健康数据，遗传学家消除人口中的遗传性疾病，人工智能系统为诊断提供常规性的支持，并针对个体患者实现量身定制的精准治疗。

正如许多其他行业部门那样，数字技术正在颠覆传统的医疗健康行业，鉴于医疗健康市场的庞大规模，由此带来的影响是空前的。

医疗健康服务是世界上最大且增长速度最快的市场之一，占有所有发达国家国内生产总值的10%以上。据估计，全球市场年产值约合8.1万亿美元，目前以年均4.3%的速度增长。到2040年，全球医疗健康支出预计将增加至每年18.28万亿美元。

鉴于其经济成本及其对全体公民的重要性，医疗健康行业几乎在所有的富裕国家中都是一个高度政治化、严格监管且饱受争议的产业。因此，未来医疗健康领域的发展极不平衡，一些国家将先于其他国家批准和部署新的医疗技术和治疗方法。居住地的选择对于未来的健康十分重要。

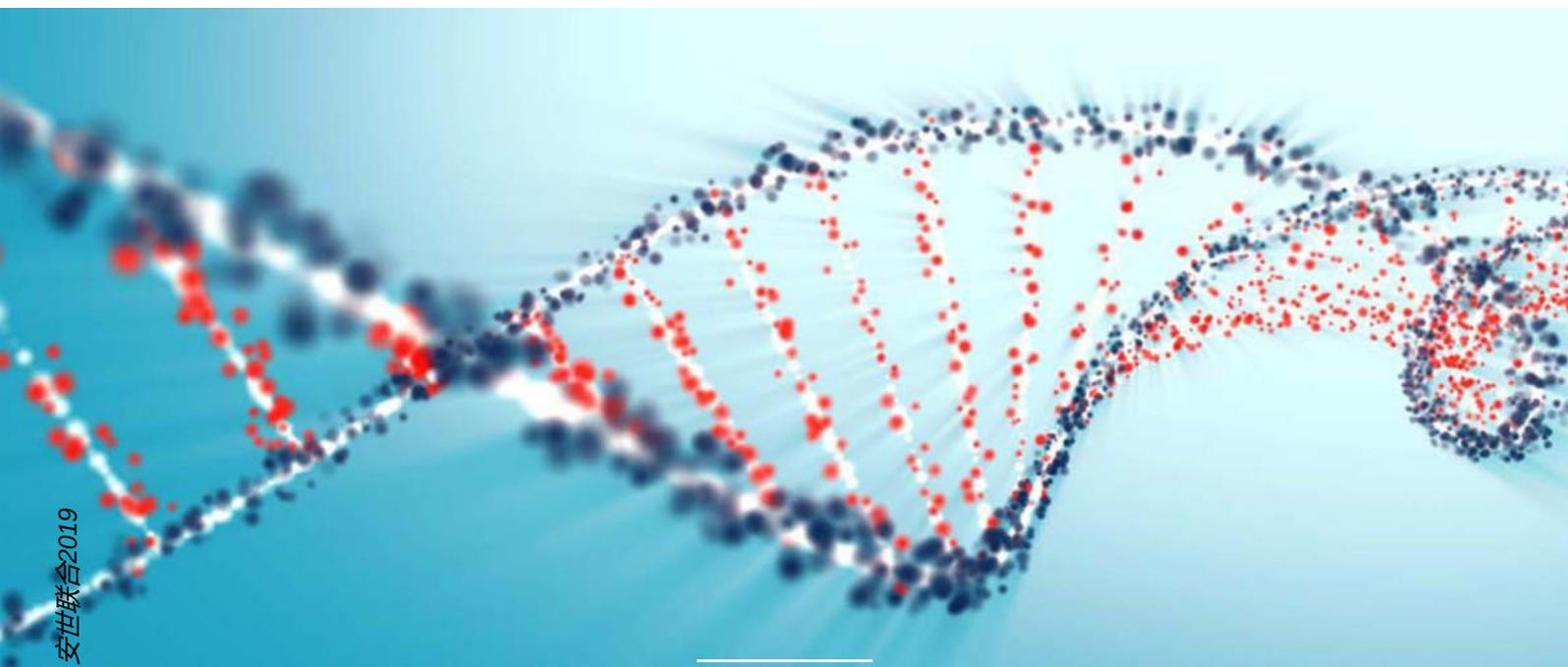
趋势1：基于DNA的个性化医疗

基于科学的医学问世至今仅有一个多世纪，其间家庭医生一直采取“放之四海皆准”的方法来治疗患者。这样直白的评论对于医生来说是有些不公平，他们无疑会针对不同患者调整药物剂量、药物选择和治疗建议。然而，医生可用的最常见药物本身就是为了通用治疗方法而研制的，这一点直到最近才有所改变。在西方国家，医生开药的普遍做法是令人难以置信的“散弹枪”式，且及其浪费。许多研究表明，高达80%的患者对用于治疗常见病的十种最常用的处方药没有反应。

但是，基于个体人类基因的DNA分析，医生现在开始使用最适合患者DNA的药物进行治疗。这标志着所谓的“个性化医疗”的兴起，有时也称为“精准医疗”。

人类基因组中的所有30亿个碱基对（描述人类生物学的DNA“图谱”）在2001年首次由美国的人类基因组计划进行测序。当时，这是一项令人难以置信的运算密集型和时间密集型任务，耗资约合27亿美元。

八年后，全基因组测序的成本约为100,000美元，数年后，测序价格降至10,000美元，目前的报价为399美元。这是说明成本下降和计算机处理能力快速提升的最佳示例。



用于癌症治疗的DNA测序

肿瘤学家正在开创性地运用DNA分析来实现真正意义上的个性化医疗。每位患者的癌症都具有[独特的遗传变异组合](#)，肿瘤DNA测序被广泛地用于鉴定癌症特异性DNA改变。

在某些情况下，了解癌症的基因改变可以帮助肿瘤学家确定治疗计划。某些治疗——特别是[靶向治疗](#)——仅对癌细胞具有特定基因改变、导致细胞增殖失控（有时被称为驱动“突变”）的患者有效。

例如，在一些患者的肺癌细胞中发现了使[细胞快速分裂](#)的[EGFR基因突变](#)。

肺癌细胞携带EGFR突变的患者对采用EGFR抑制剂的药物治疗反应最佳。临床肿瘤DNA测序可以揭示患者的肺部肿瘤是否具有[EGFR突变](#)。

肿瘤学中的肿瘤DNA测序已经帮助延续了成千上万人的生命，根据DNA类型而非癌症在体内的部

位对癌症进行治疗的[新药陆续获得批准](#)。这是一种研究癌症的全新方法，它清楚地表明中心DNA测序对未来所有治疗的重要性。

用于一般医学的DNA测序

今天，为患者提供DNA测序尚未成为家庭医生诊疗过程的常规组成部分（尽管至少有一个国家计划为健康人群提供[费用低廉的个体DNA检测](#)）。

但是，如果医生怀疑患者的症状指向某种已知与特定基因或一组基因相关的疾病，他们通常会提出进行DNA检测的要求，以确定是否存在该特定基因序列。

借助DNA测序来检测与特定基因相关的罕见病在大约7,000种所谓[孟德尔遗传疾病](#)的诊断中发挥着重要作用。

到2040年，医学科学将完成对数以千万计的患者DNA测序数据的采集，通过对这一海量数据库的分析，疾病与基因序列之间的关联性和相关性将更加准确。

到2040年，医学科学将完成对数以千万计的患者DNA测序数据的采集

消费者DNA测序

许多公司现在面向消费者提供个人DNA测序服务。这些公司包括[23andMe](#)、[Dante Labs](#)、[HomeDNA](#)和[24Genetics](#)。不过，现有的消费者个人DNA分析服务是否对消费者或医生具有医学价值呢？首先，DNA检测可以提示患者最容易及最不容易患上的疾病和病症。它还可以表明哪种处方药最有可能对特定个体产生效用。

许多医生和遗传学家曾经针对面向消费者的DNA检测提出警告。在过去十年中，作为消费者基因检测的一部分

而出具的医学报告尚未构成个人可能染上、或可能避免的疾病的精确预测指标。它们充其量只是一个粗略的指引。

正如我们现在所知，大多数病症和疾病是多个基因组（多基因成因）和环境因素的共同结果，对于过去十年中已经交付消费者的结果报告，应当审慎地予以解读。

但每年我们都会更进一步地了解哪些基因和基因组与特定的疾病和病症有关，且面向消费者的DNA测序现在远比十年前更准确。

其间，遗传学家和数据科学家**不断改进**将遗传数据转化为有用见解的能力——预测哪些人的心脏病发作风险是平均水平的三倍，或确定哪些女性是乳腺癌的高危人群，即使她们没有家族史或BRCA基因突变。技术领域的并行进步极大地改变了我们搜索和理解大量数据的方式，同时智能手机朝向成为真正意义上的数据门户持续迈进，便于我们访问数据并做出明智的决策。

今天，诸如[MyGeneRank](#)等新的DNA测序和解释应用程序已经问世，它们从多基因角度考量个体DNA检测的含义，以寻找可能导致未来健康问题的

基因。这将开创一个通过消费级DNA检测提供全面准确健康指引的未来。

截至2018年底，有**2600万人**（消费者而非患者）向商业公司付费以获取DNA测序服务。他们当中的许多人将利用数据做出有关自身健康的前瞻性决定，而不是按照医嘱被动地接受检测。

截至2018年底，
共有2,600万人
(消费者而非患者)
向商业公司
付费以获取DNA
测序服务



到2040年，DNA测序将成为预测未来健康状况的高精确度指标

DNA与药物反应

个人DNA分析的第二个优点是患者及其医生可以发现哪些处方药最有可能药到病除。这是一个被称为[药物基因组学](#)的领域。

尽管这些指征十分有用，但尚不能说它们绘制了未来的医疗蓝图。

目前，非处方DNA检测的医学风险解释刚刚达到足以对医生具有参考价值的准确程度，但随着我们更进一步了解特定基因与疾病的关联，此类测试的作用将日益彰显。到2040年，DNA测序将成为预测未来健康状况的高精确度指标，届时很可能每位患者都会接受DNA测序，并将结果作为医疗记录的一部分提供给医疗健康专业人员。

采集基因组数据

英国在DNA信息采集和遗传数据分析领域领跑世界。2012年，英国政府宣布启动世界上首个国家级基因组数据库——“[十万基因组项目](#)”。

该项目旨在对来自大约70,000人的100,000份基因组进行测序。参与者包括国民医疗服务体系（NHS）的罕见病患者及其家人，还有癌症患者。

该项目旨在为国民医疗服务体系创建一种新的基因组医疗服务——从而改变医疗服务的方式。患者可以获得以往并不具备的病因诊断。随着时间的推移，还可能涌现出新的、更有效的治疗手段。

尽管该项目的最终报告仍在编制中，英国政府宣布它已经实现对100,000份全基因组进行测序的[最初目标](#)，并表示参与项目的四分之一罕见病患者第一次获得诊断，同时为一半的癌症患者提供潜在可行的研究发现，使其有机会参加相应的临床试验或接受靶向治疗。

随着该项目的扩展，它还将促进新的科学研究。将基因组序列数据与医疗记录相结合是一项[突破性的资源](#)。研究人员将研究如何在医疗健康领域充分利用基因组学、以及如何正确解释数据以帮助患者。疾病的病因、诊断和治疗也将得到深入研究。

英国政府还意图打造英国的基因学产业。十万基因组项目是当时世界上同类计划中规模最大的国家级测序项目，2018年底，英国医疗健康大臣马特·汉考克宣布他将在接下来的五年中扩展该项目，以另外采集[500万份人类基因组](#)。

到2040年，该项目将成为一个丰富且广泛使用的基因组数据来源，几乎可以确定，研究成果将揭示数以千计的疾病和病症的基因组因果关系。

其他国家也相继启动大规模的基因组采集计划，其中包括[法国](#)、[荷兰](#)和[冰岛](#)。

冰岛的基因组项目极为先进，而且提出了法律、道德和伦理问题，随着基因组数据采集的普及，所有国家都必须回答这些问题。

首要问题在于DNA基因库的捐赠者是否应当被告知他们的DNA序列显示其为某种基因的载体，导致他们容易患上某种严重疾病——例如BRCA1和BRCA2基因的突变表明女性更容易患上乳腺癌。冰岛政府[拒绝向DNA捐赠者发出有关测试结果的警告](#)，理由是捐赠者在提供DNA样本时未明确同意获知此类测试结果。这一做法引起该国上下的大辩论，随着建立人口基因库的做法日渐普及，这种辩论将蔓延至其他国家。

到2040年，每个新生儿都将接受DNA测序

在波士顿，新生儿正在接受常规的DNA测序。这是临床试验的一部分，旨在研究在儿童成长过程中、以及不可避免地需要医学治疗时，基因组信息能够起到何种作用。

参与计划的新生儿家庭来自波士顿儿童医院和布莱根妇女医院的保育室，其中的一半家庭被随机选出接受基因组测序，并获得儿童的DNA报告，其中包括单基因疾病变异（由单个基因引起的疾病）、儿童期初发或可干预疾病的隐形携带者变异（可能携带可导致后代疾病的某种基因的儿童）以及药物基因组学变异（表现出对特定药物可能产生特殊反应的基因）。

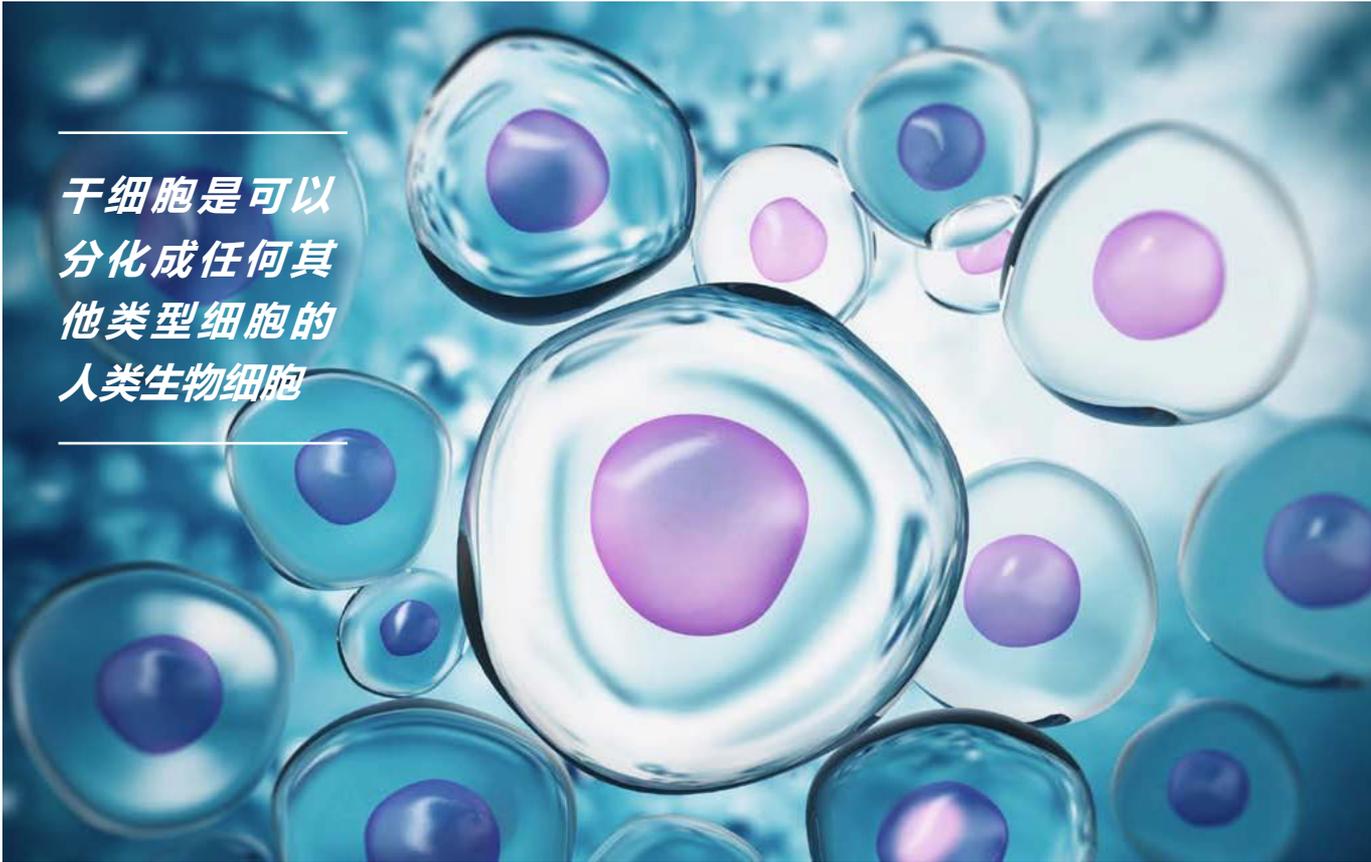
该试验的结果需要数十年才能完全揭晓，但早期迹象令人鼓舞。总体上，从51名新生儿的DNA测序结果中发现4名新生儿存在致病或可能致病的基因变异。这些基因均是显性的，只需要一份基因拷贝即可引起疾病。其中有三种变异与心脏病有关，尽管婴儿尚未出现症状。波士顿儿童医院正在跟踪其中的两名儿童。第四种变异与标准非DNA新生儿筛查未检出的酶缺陷有关。该变异尚未引起症状，但作为预防措施，新生儿可能会接受营养补充剂治疗。



另外47名新生儿被发现是隐性变异基因的携带者，但他们自身显然并未受到影响。两名新生儿的药物基因组学变异可能改变他们对某些药物的代谢能力。另一名新生儿存在BRCA2变异，这是一种与乳腺癌有关的基因。

由于乳腺癌是一种成人疾病，研究团队决定取得该研究计划伦理委员会的许可，以便将该结果披露给新生儿的家人，因为新生儿的母亲也存在患病风险。

这些早期结果明确无误，到2040年，有可能所有医疗健康服务部门都将DNA测序列入面向新生儿的常规检测。



干细胞是可以
分化成任何其他类型细胞的人
类生物细胞

趋势2：干细胞医学的前景

基于干细胞的治疗手段看起来大有前途，这一学科被视为“[21世纪的青霉素](#)”。

[干细胞](#)是可以分化成任何其他类型细胞的人类生物细胞，然后可以裂变产生更多相同类型的干细胞。简而言之，干细胞可被诱导长成任何一种人体组织，甚至可以长成整个替代器官。

[干细胞的医学应用](#)有两大类：第一类，作为一种实际疗法；第二类，作为一种组织生长方式，从而建立疾病模型，帮助研究人员开发治疗方法。

目前，已有若干类型的病症采用基于干细胞的治疗方法，或者具有在未来找到此类治疗方法的前景。

这其中包括自身免疫疾病、神经障碍、癌症和不育症。正在测试干细胞疗法的具体疾病包括多发性硬化、类风湿性关节炎、幼年特发性关节炎、克罗恩病、1型糖尿病、自身免疫性血细胞减少症、系统性红斑狼疮和系统性硬化症。

此外，干细胞已被用于再生医学领域，以替代或修复由于疾病或损伤而损坏的组织和器官。干细胞组织再生的显著优势在于，如果从患者那里收获供体干细胞，那么目前正在开发的新技术意味着，到2040年，新细胞的[自身免疫排斥](#)将不再是一个问题。

同时，干细胞试验在治疗[中风](#)、[冠状动脉疾病](#)、[脑损伤](#)和[黄斑变性](#)（与年龄有关的视力丧失）方面已经取得重要成果。

就干细胞研究而言，最具治疗前景的领域之一是修复或替换受损器官和组织的可能性——即复制通常只在体内发生的生成过程。虽然凭借它们的多能性（即能够发育成多种组织类型），[胚胎干细胞](#)在这一领域显示出巨大的潜力，但在使用成体干细胞方面也已取得一些成功。

例如，在2008年，成体干细胞被用于为一名三十出头的女性再造[新气管](#)，成体干细胞治疗在通过骨髓移植治疗[白血病](#)和相关的骨癌/血癌方面已有多年的成功经验。

此外，医生近来使用造血干细胞（血液中的干细胞）在实验室中成功培养出用于输血的人类[红细胞](#)。培养出的红细胞能够在患者的血液中存活并生成功能完整的成熟细胞，证明这些细胞可以替代传统的血液捐献（能够在患者体内产生自体输血）。

为了培养这些细胞，研究人员需要找到能够诱导造血干细胞成功分化的生长因子正确组合。

尽管这代表着干细胞治疗的一个重大突破，必定会对许多需要输血的患者有益，但研究人员直到最近才实现干细胞再生红细胞的事实表明，基于实验室培养的组织 and 器官再生技术的发展面临诸多挑战。

尽管前途光明，但干细胞疗法仍处于开发阶段，在它们的应用变得普遍和

常规之前还需要大量的试验。令人担忧的是，在监管不力的地区（例如[墨西哥](#)、[印度](#)和[中国](#)），已经出现许多干细胞治疗诊所，为迫切渴望治愈的重症患者提供未经证实的干细胞疗法。[缺乏规管的干细胞诊所](#)正在美国一些州提供尚无定论的治疗方法。通常这些昂贵的治疗毫无用

处，甚至十分危险。

但很明显，到2040年，干细胞医学将成为主流医学领域中一个重要且强大的工具。

干细胞已被用于再生医学领域，以替代或修复由于疾病或损伤而损坏的组织和器官

趋势3：纳米医学

“纳米技术”是一个用于描述纳米级科学、工程和技术术语，范围大约为1至100纳米。1纳米是10亿分之1米。

纳米医学将纳米技术的知识和工具应用于疾病的预防和治疗。其中涉及纳米材料的使用，例如生物相容性纳米颗粒。随着时间的推移，有望在活生物体中创建纳米机器人，用于诊断、药物递送、传感或致动目的。（[纳米机器人](#)是尺寸为0.1-10微米、并由纳米或分子组件构成的装置，用于在体内执行特定任务）。

我们仍处在亚显微尺度医学治疗发展的极早期阶段，但该领域已经显示出巨大的前景。

纳米材料的微小尺寸与大多数生物分子和结构相似；因此纳米材料可用于活体患者的治疗和实验室生物医学研究及应用。到目前为止，纳米材料与生物学的整合推动了诊断设备、造影剂、分析工具和物理治疗应用的发展。

目前纳米技术在医学领域中运用最广泛的领域包括[利用纳米颗粒递送药物](#)、热、光或其他物质至特定类型的细胞（例如癌细胞）。颗粒的构造使其被



疾病细胞吸引，从而能够直接治疗这些细胞。该技术可减少对身体内健康细胞的损害，并可早期发现疾病。通过仅在病变部位中沉积药物的活性成分，且剂量不高于所需剂量，可以显著降低患者的总药物消耗量（以及潜在的副作用）。



“纳米技术”
是一个用于描述
纳米级科学、
工程和技术
的术语，范围大
约为1至100纳
米

例如，[将化疗药物直接递送至癌细胞的纳米颗粒](#)正在研制。靶向化疗药物的递送试验正在进行中，它们最终获批用于癌症患者的治疗指日可待。

今天，纳米药物被用于改善[多种疾病](#)患者的治疗和生活，包括卵巢癌和乳腺癌、肾病、真菌感染、胆固醇升高、更年期症状、多发性硬化、慢性疼痛、哮喘和肺气肿。

尽管目前大多数关于纳米医学的研究涉及改造分子以使药物递送更准确，但一些科学家正在探索分子操作的其他用途。

佐治亚州立大学的研究人员正在将纳米颗粒运用到一种流感疫苗中，该疫苗针对存在于所有流感病毒中的那部分病毒。该研究的目的是开发一种适用于所有流感病毒的通用[疫苗](#)。

韦斯生物启发工程研究所（Wyss Institute）的研究人员正在开展纳米粒子在受到[剪切力](#)时释放药物的测试，例如当通过被血块部分阻塞的动脉截面时。针对动物的实验室测试表明，该方法可有效地递送用于溶解凝块的药物。

纳米医学仍处于起步阶段，但该领域的表现最终可能优于其他所有医学科学领域。随着科学家们掌握如何在分子水平上操纵细胞，他们将能够创造出[比今天的药物更强大](#)的“设计师药物”（个性化药物）。

趋势4：基因编辑

我们都是自身基因的产物，对胚胎或成人进行DNA编辑的想法是医学领域中最有影响力的思想之一，但同时也是最具争议的问题之一。

在过去的十年中，随着一种DNA编辑新技术的发展，围绕基因编辑伦理风险的关注迅速上升。人们将这种被称为的CRISPR-Cas9基因编辑技术比喻为“剪切和粘贴”文字处理技术，它极大地简化了基因编辑过程。

但CRISPR基因编辑不是对单词进行重新排列，而是对构成活生物体指导手册的生物学代码DNA进行重写。通过基因编辑，研究人员可以禁用目标基因、[纠正有害突变](#)并改变植物和动物（包括人类）的特定基因活性。

基因编辑已被用于[修改人体免疫细胞以对抗癌症](#)或[抵抗HIV感染](#)。但它也可用于修复人类胚胎中的缺陷基因，从而防止婴儿继承严重疾病。这种[做法存在争议](#)，因为遗传修改会影响他们的精子或卵细胞，这意味着遗传编辑和任何不良副作用都可以传递给后代。

活人基因编辑
试验已经展开

目前，[大多数基因组编辑研究](#)的目的是利用实验室和动物模型中的细胞来理解疾病。科学家们仍在努力确定这种方法是否可以安全有效地用于人类。

研究的领域涵盖范围广泛的多种疾病，包括单基因疾病，如[囊性纤维化](#)、[血友病](#)和[镰状细胞病](#)。它还有望治疗和预防[更加复杂的疾病](#)，如癌症、心脏病、精神疾病和人类免疫缺陷病毒（HIV）感染。

然而，[活人基因编辑试验已经展开](#)。2017年，研究人员向一名患者的血液中[注入基因编辑工具](#)，旨在治疗其严重的遗传性疾病。这名44岁的患者患有一种名为[亨特氏综合征](#)的罕见代谢紊乱。一年后，研究人员宣布[试验取得成功](#)，现在他们已经获准在活体患者身上进行更多的试验。

2018年4月，一项通过基因编辑治疗人类[β-地中海贫血](#)的临床试验在[欧洲获得批准](#)。该临床试验是自CRISPR-Cas9基因编辑技术问世以来已经启动的十多项临床试验之一。其中大多数试验都[在中国](#)进行，致力于将CRISPR应用于癌症治疗，但在美国也有一些试验正在进行中。

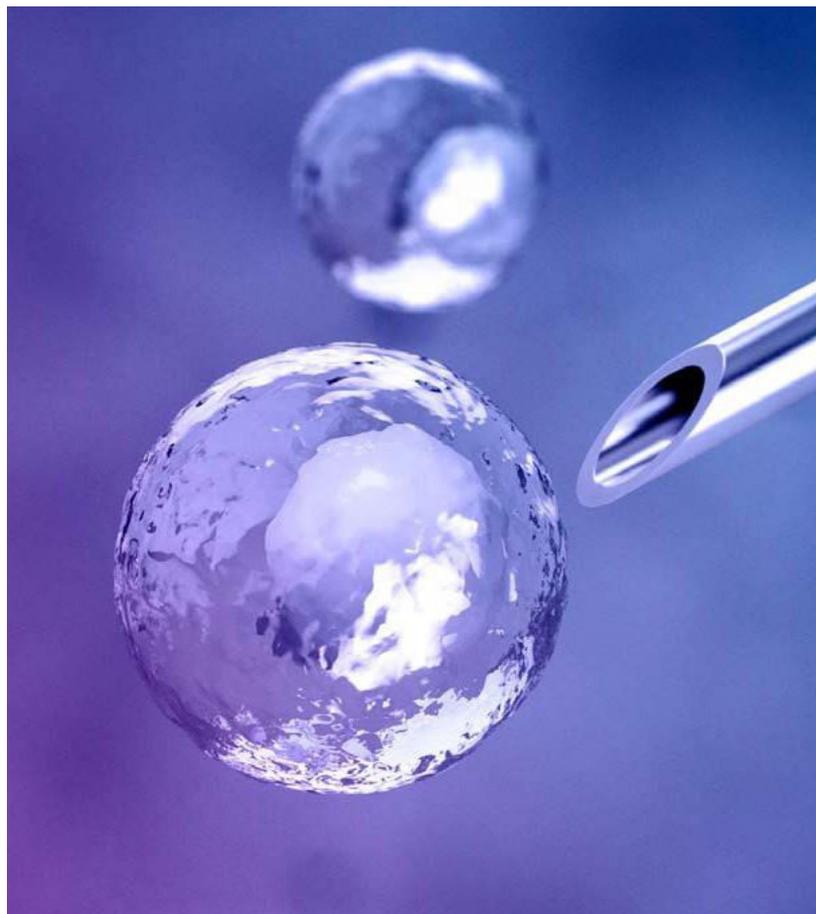
全球每年约有60,000名β-地中海贫血症患者出生，这是一种罕见的血液病，由于血红蛋白异常导致贫血和低氧血症。

欧洲的试验借助CRISPR技术来关闭导致这种疾病的基因，帮助红细胞制造一种不受突变影响的新生儿血红蛋白。

从长远来看，基因编辑在[根除遗传性疾病](#)和提高人类寿命方面有着巨大的前景。但是，伦理学家[担心](#)基因编辑可能会被用来制造“[设计师婴儿](#)”，或意外地对[人类种系](#)产生长期威胁。意想不到的后果所蕴含的高风险同样适用于从小鼠、蚊子到微生物等其他生物形式的基因编辑。

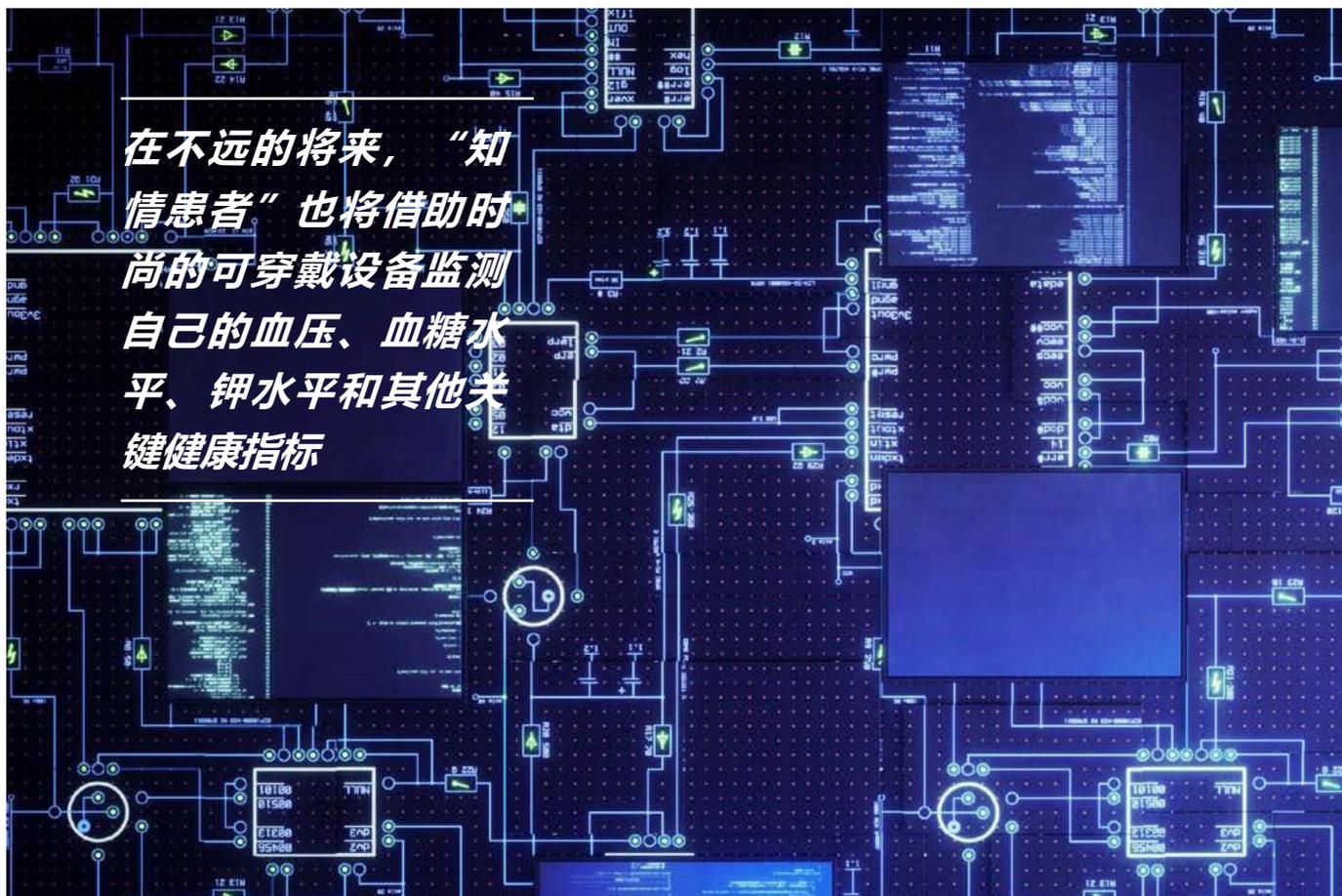
当这份报告仍处于编写的最后阶段时，从中国传来令人震惊的消息，[人类胚胎的第一个基因编辑已经发生](#)。遗传学家贺建奎在一次学术会议上宣布，他对两个植入母亲子宫的胚胎进行了编辑。结果是诞生了两个明显健康的婴儿。

这对未确认身份的双胞胎女孩是体外受精（IVF）的产物，其CCR5基因经过编辑后不易感染艾滋病毒。编辑在胚胎只有一天时实施——早到足以融入种系，意味着它可以被传承下来。



这种影响深远的基因编辑行为被广泛禁止，例如被欧洲委员会1997年《人权和生物医学公约》明文禁止。科学协议要求任何经过基因改造的胚胎在发育前必须被销毁且不得被植入。

贺博士发表的研究成果在学术界引发轩然大波。有读者在YouTube上的一段贺博士解释基因编辑过程的视频下方发表了这样的评论：“[你刚刚代表全人类打开了潘多拉的盒子。](#)”



趋势5：医学走向数字化

与许多其他领域一样，数字技术正在被迅速地应用于医学、医疗健康和我们的身体。我们正在利用**人工智能**（AI）来改善医疗诊断和治疗、利用**机器人**来照顾年老体弱者、利用计算能力解码个体**DNA**、利用所采集的基因组数据为重病患者提供**个性化的医治手段**。

如今，身体健康的消费者正在将时尚的**可穿戴传感器**绑缚在手腕和身体上，以计算他们的步数、测量健康状况、监测心脏、呼吸、压力、血氧水平和睡眠模式。

在不远的将来，“知情患者”也将借助时尚的可穿戴设备监测自己的**血压**、**血糖水平**、**钾水平**和其他关键健康指标（无需繁重的设备或有创血液检测）。

心电图设备（**ECG仪**）正在作为一种便宜且超便携的智能手机配件出现，以便心脏病患者在日常生活中监测自己的心律，并在必要时立即将结果发送给心脏专科医生进行解读（在**人工智能**的辅助下，现在可以由患者自己进行基本的解读）。苹果公司最新推出的**智能手表**可在佩戴者的手腕上进行简单的心电图测量。

低成本的手持式[超声波扫描仪](#)也可作为智能手机的配件使用，孕妇可以在舒适的家中实时观察胎儿的一举一动。运动医生、教练员和教练可以对运动场、跑道、健身房或游泳池发生的损伤进行初步检查。

机器人长期以来一直被用于在手术室内执行精密手术，但随着机器人的成本急剧下降并且功能增加，现在越来越多的手术由在人工监督下工作的机器人来完成。重要的是，外科医师能够远程控制手术机器人（“[机器人远程外科手术](#)”），这意味着在世界上任何地方都可以获得宝贵的外科手术专业知识。到2040年，随着机器人手术助理的功能以及网络通信速度和可靠性的发展，人类外科专家（例如眼科医生）的大部分时间将用在为身处不同国家或其他大陆的患者实施远程手术上。

机器人辅助外科手术日益普及的前景将为人手不足的医疗健康体系注入一针强心剂。

机器人辅助外科手术通常具有精确、小型化、切口较小、失血较少、疼痛较轻且愈合时间更短的优点。对医院来说，很重要的一点是可以[缩短住院时间](#)。

在手术过程中，一些患者可能选择沉浸在虚拟现实（VR）世界中，而非接受传统的麻醉。[VR系统已经成功地用于这一领域](#)，且患者在手术后报告没有感觉到疼痛。

数控3D打印机现在可以生产定制的[替换骨骼](#)、身体器官和假肢，能够在患

者受体附近的地点（例如医院）进行制造，并且以远低于传统医疗制造技术的成本迅速地交付。

[以色列的一家技术初创公司](#)现在能够3D打印肺支架，这种支架可以让干细胞生长出用于人类器官移植的新肺。

医学和医疗健康的方方面面正在被数字技术所改变。

机器人辅助外科手术日益普及的前景将为人手不足的医疗健康体系注入一针强心剂

知情患者

20多年来，患者一直在互联网上求医问药，寻求诊断线索、关于已知病症的信息和一般医疗建议。在过去的十年里，患者通过社交媒体与其他患者取得联系。他们相互讨论病情，比较治疗方法，[对医生、外科医师和医院进行评价和评估](#)，并从其他患者那里获得宝贵的支持。患者在社会支援网络中找到归属感。

借助智能手机上的应用程序，需要即时医疗建议的消费者现在可以[虚拟求诊](#)。只需支付少量月费或一次性费用，患者就可以通过视频应用与具有开具处方和转诊资格的医生交谈，从而绕过传统的医疗健康服务体系 and 手续。

更具争议性的是，在智能手机应用程序中，AI正在代替人类医生。一款来自Ada公司的应用程序包括一个人工智能“聊天机器人”，可以解答患者对症状和健康问题的疑问。必要时，该应用程序可以与人类医生进行虚拟连接，但[该应用程序的批评者](#)认为应该对与公众直接互动的AI医生技术进行监管。

基于数据的个性化医疗

制药公司正在利用数字技术[监测患者](#)，并记录药物在现实世界条件下的性能数据。基于这些数据的新见解有助于药物研究人员改进药物和发明新的治疗方法，并在比以往更真实的条件下更加有效地测试它们的效果。

从可穿戴健康技术采集的数据有助于医生为个体患者提供更加个性化的治疗。结合患者DNA测序的结果，医生能够以极高的精确度为患者量身定制治疗方案。

例如，[Kardia](#) ECG智能手机应用程序和传感器垫允许用户记录他们心脏的正弦波，以监测与一种被称为[房颤](#)（不规则且有时异常快速的心率）的冠状动脉状况有关的异常心律。

房颤患者无论是否出现相关症状均可在他们的智能手机上记录自己的心律正弦波。在生成心电图记录时，患者还可以描述其感觉到的任何症状细节。

未来，从可穿戴设备、智能手机应用程序和传感器采集的数据将提供对代谢、心血管和胃肠道疾病的监测和记录



随着时间的推移，在家中定期采集的心电图读数将为心脏病医生提供一份涵盖患者心脏在数周或数月期间、白天和夜晚不同时段以及不同症状表现的详细历史记录。该信息有助于深入了解病情的严重程度，使心脏病医生能够精确制定必要的医疗干预措施。

未来，[从可穿戴设备](#)、智能手机应用程序和传感器[采集的数据](#)将提供对代谢、心血管和胃肠道疾病的监测和记录。

其他将被监测的机能包括睡眠、神经功能、运动障碍和心理健康、孕产妇、产前和新生儿护理以及肺部健康和环境暴露等方面。

医生、药物公司研究人员或人工智能算法的设计者以前从未获取过此类动态历史记录数据。基于数据的见解将有助于医生为个体患者提供更加个性化的治疗。此外，它将在制定新的医学知识和公共医疗健康政策方面发挥重要作用。

改变医患关系

由于有了互联网和数字技术，曾经专属于医生和其他医疗专业人士的知识正在日益民主化，从现在开始，患者将被赋予更好地监测自身日常健康、积极保护和爱惜最重要的资产——“健康”的能力。

数字医疗技术的到来并不意味着不再需要医生——事实恰恰相反。但是，现在可供消费者获取的健康监测技术、通信基础设施和丰富的医学知识储备将不可避免地重新定义患者和医生的角色。这一过程将使医疗专业人员从基本的身体监测、历史记录和重复性治疗职责中解脱出来，在治疗和护理方面变得更加个性化、更具观察性且更富创造性。

要指出的是，医生和外科医师在患者护理方面的作用仍然至关重要。没有什么能够替代医生和患者之间建立的关系。唯一可以替代的只是通过医学培训提供的知识中的一小部分。

最重要的是，多年形成的诊断和处理特定状况的丰富经验是无可替代的。切勿将获取医疗信息与医生在多年治疗数千名患者时获得的非常重要的实践经验相混淆或混为一谈。但是，本报告中描述的一些技术旨在帮助患者避免手术。一旦消费者迷恋上对自身健康状况的监测，许多人会感到奇怪，自己过去究竟是如何在对身体一无所知的情况下生活的。

无法随时看到自己的脉搏和血压读数对于许多消费者而言，就像是上车之后发现没有仪表盘或显示屏一样奇怪。

不知道与健康状态相关的血糖水平、胆固醇读数或血氧水平，就像开始一次没有智能手机、Sat-Nav系统或地图的旅程。这一切根本是无法想象的。人们将会惊奇地回想起我们的身体尚未变得“智能”的那个

时候，我们不得不在对自己的身体健康、以及不断变化的身体状态毫无察觉且盲目无知的状态下游走于这个世界间。

数字健康技术的到来并不意味着不再需要医生

在一个更广泛的层面上，网络正在成为医生。随着智能手机和人工智能学会通过“[聆听](#)”咳嗽来诊断疾病、[通过监测用户步态来发现帕金森病的早期发病](#)，我们将开始转而以智能设备及其支持网络作为主要的护理资源——我们获得非紧急医疗建议的第一站。随着传感器以及便携式和可穿戴设备的健康监测能力迅速改进，同时随着基于互联网的人工智能健康诊断能力呈指数级增长，人口中的很大一部分将越来越依赖计算机辅助的自我监测、自我诊断和自我治疗，以满足基本的医疗健康需求。

数字技术也将改变患者与医生之间的互动方式。医生们开始反映，患者要求获得在智能手机上[记录问诊过程](#)的权利，这种做法未来将日益普及，最终成为惯例。

患者再也不用像过去那样拼命想要记住医生在检查或问诊期间所说的内容，并作为“[生活日志](#)”（常规地记录所有生活事件的做法）在社会中正在得到大众的认可，因此医生应当欣然接受这一点——正如未来警察和公众之间的所有互动将被记录下来一样——医生和患者之间的所有联系也将被记录在案。这些记录将成为患者数字健康档案的一部分，由此减少误解和错误。



人工智能的影响

事实证明，人工智能（AI）系统在诊断某些特定疾病和病症方面具有类似于[人类医生的能力](#)。随着AI技术的速度和能力不断提高，可诊断的疾病数量和范围将与日俱增。

在医学领域运用AI系统的最大好处之一在于它有可能解锁隐藏在[海量数据](#)中的临床相关信息，反过来帮助临床决策。被称为“[机器学习](#)”的第二种AI形式可以从这些数据中学习，从而提高其自身决策的准确性。

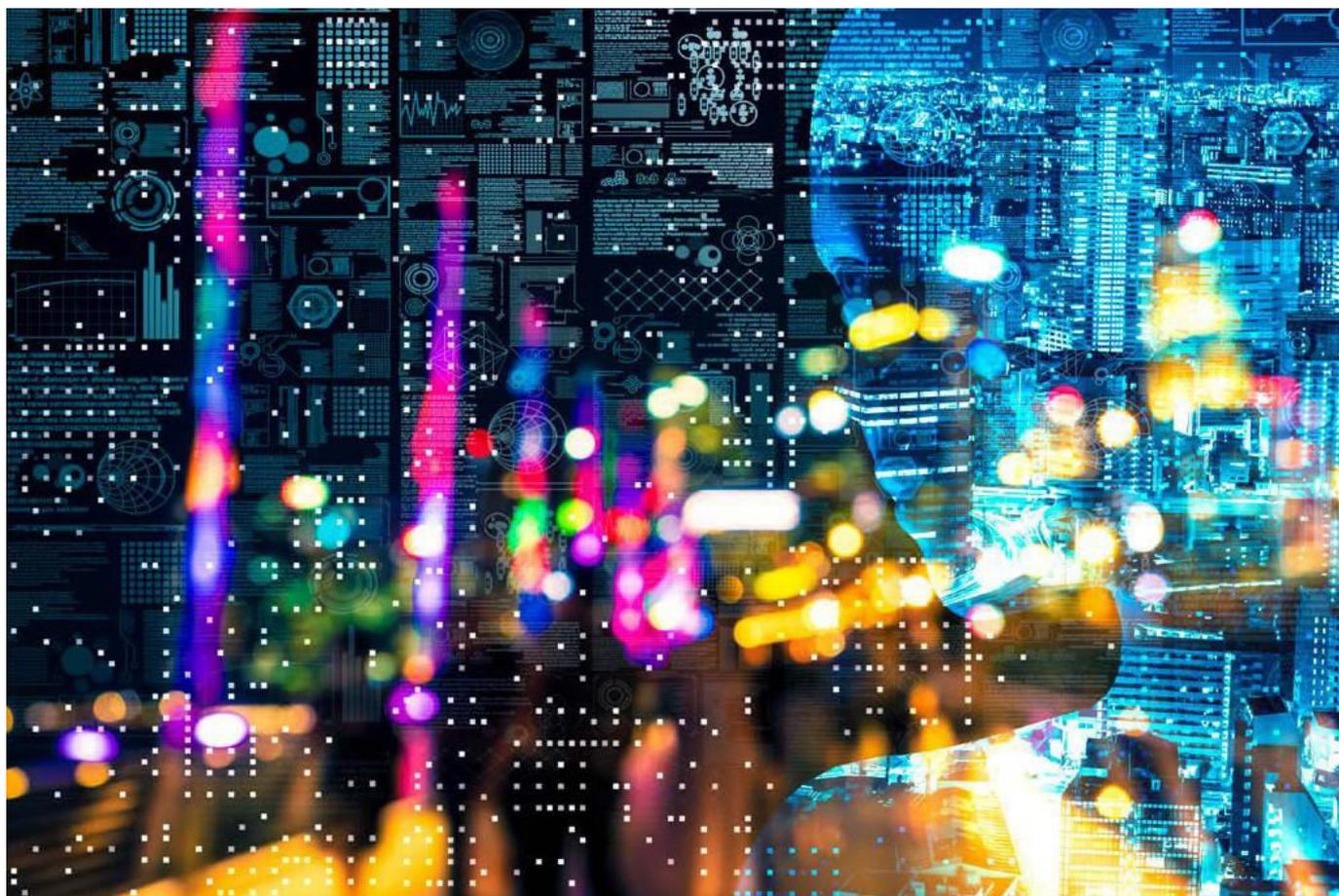
今天，AI正在被用于读取医学扫描，以[检测癌症](#)、[诊断阿尔茨海默病](#)、筛选数百万页的医学证据，从而提出[诊断建议](#)、提供[虚拟护理服务](#)并帮助制药公司[研制药物](#)。

AI还提供用于改进和加速MRI扫描的算法，甚至可以对[跳动的心脏创建三维运动图像](#)（同时还实时显示每次收缩泵送的血量）。

基于AI的自动化技术有可能通过减轻医生和护士的日常活动来提高医疗健康领域的生产率。在未来，配备深度学习算法的AI“聊天机器人”可以接替急诊室工作人员照顾大量无需急救（例如喉咙痛和尿路感染）的门诊病人。



据[麦肯锡全球研究院](#)预测，基于AI的运营效率可能为发达国家带来医疗健康预算的大幅节省。美国的估算值为占GDP的1%至2%。在其他富裕国家，节省的资金估计将占国内生产总值的0.5%至1%。全面采用AI技术可以将注册护士的生产率提高40%至50%。麦肯锡的研究发现，医院可以借此降低一半的人员成本，同时还能大大缩短患者的等待时间。



医疗行业的转变并非轻而易举

然而，要转变正规的医疗服务方式并非易事。出于考虑患者安全的原因，医学界极度保守：毕竟，希波克拉底誓言确立了“首先，不得伤害”的原则。

但是，尽管面临保守的医学界的重重阻力，但显而易见的是，获取医疗信息和健康监测数据是每个人的权利。原本由医生主宰的权力和知识正在转而成为大众共有。美国著名的心脏病专家、数字健康的倡导者埃里克·托普尔博士最近在其颇具影响的著作《[患者现在要见你](#)》中总结了这一理念。

作为医学专业人士，在理解数字健康所产生的影响方面，托普尔博士是一个罕见的、但非绝无仅有的例子。他和另外一些人意识到，医学界面临着巨大的颠覆力量，但是他十分清楚，随着我们的身体变得“聪明”，患者和医生都将获益良多。

随着时间的推移，许多曾经只能在手术或病理实验室完成的测试和检查将可以在智能手机和其他附加设备上即时进行。随身佩戴或接近人体的传感器将迅速发展和演变成为一个健康和健身网络，全天24小时运转，以帮助使用者尽可能地掌握信息和保持健康。其中一些传感器可以结合到日常穿戴用品中，并最终关联到我们的皮肤和血液中。

我们的身体是自然行走的“数据生成器”，为了利用这些资源，只需借助并不昂贵的生物传感器来捕获数据，然后通过一些聪明的算法来解读数据。只需看一眼历史记录，例如日常活动水平、每天燃烧的卡路里、睡眠模式、长期静息心率和平均血压，从中获知的真实健康或疾病状况将远远超过一次问诊或一次手术的“快照”式检查。在此之前，医生很难了解患者的身体随着时间的变化轨迹（除非患者被禁锢在医院的病床上），这种新型的低成本动态数据将有助于更好、更快和更准确地发现问题、诊断以及适当的治疗。它将改善数百万人的健康，而且如今的年度体检将被来自身体的、实时、真实且连续的数据流所取代。（事实上，年度体检的价值[远低于过去所认为的那样](#)，许多医疗专业人士认为这种做法毫无用处）。

医学界早就意识到动态数据的巨大价值。然而，用于捕获动态记录的医疗设备体积庞大且非常昂贵，这一点直到最近才有所改变。

我们的身体是自然行走的“数据生成器”，为了利用这些资源，只需借助并不昂贵的生物传感器来捕获数据

医生在规定使用此类设备时一直保持谨慎，而患者不愿意佩戴令人不适的设备。

然而，血压、肺功能、心律、钾水平、血氧含量或血糖水平（这些仅为目前可行的一些测量值）的实际历史动态数据是医生希望获取的最有价值的信息。医生可以尝试治疗——如改变剂量、改换药物或撤回特定药物，并快速、实时地获得有关身体反应的反馈（患者也是如此）。通过这种方式，数据将帮助医生提供更加个性化的治疗——在根据DNA图谱选择治疗方法的基础上。

例如，[在智能手机上实时读取血糖水平](#)的糖尿病患者可以即时了解一餐或某种食物或饮料对血糖水平的影响。这对饮食和行为具有强大且即时的修正效应，且在历史上第一次为患者循序渐进地采取控制措施和管理病症提供了必要的反馈信息。如果你知道吃掉一根熟透了的香蕉

会在30分钟后使你的血糖读数（葡萄糖）升高到不受欢迎的0.25 mmol / L（每升毫摩尔），那么以后你可能不会再吃这种水果，或者挑选一根不那么熟的香蕉。

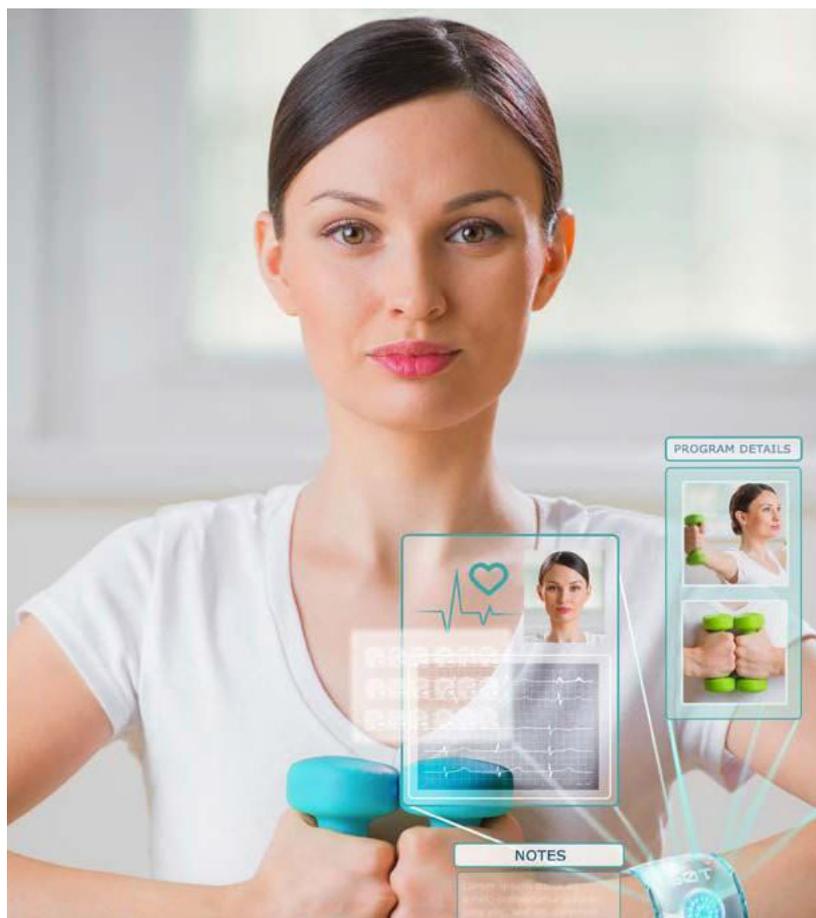
腕带、智能手机和压力传感器等睡眠监测设备正在为我们无法通过其他方式获得的、关于病症和疾病的深入见解。最初用于监视违法者的一种标记设备已经揭示帕金森病患者会在[睡眠期间病情发作](#)——过去我们对此一无所知。

我们的身体很快将变成一个“聪明”和透明的记录者和报告者，而不再向过去那样沉默寡言。这是医学和人类医疗健康领域最深刻的变化。

很快，我们的医生就会拥有所有患者的日常状况实时报告。这些数据将每天24小时无线传输到云端（以便手术医生可以获取），即便医生没有时间亲自监测这些个人信息流，AI监控系统也会就需要医生紧急关注的患者数据变化发出提醒。

这在今天看来或许不可思议，但在不久的将来，50岁以上的大多数知情患者（以及许多年轻患者）将拥有永久连接的“智能”身体，并源源不断地将数据传输到医生的办公室（和自己的云存储系统）。

最后一个段落的关键词是“知情患者”，因为显而易见的是，普通民众中有许多患者[对自身的健康状况放任自流。](#)



事实上，除非突然变得虚弱不堪且需要立即救治之外，这个群体的成员对自己的健康状况关注甚少。医疗健康机构估计这一群体占总人口的三分之一，另外三分之二的人对健康的关注程度不等，从略微关注到极其重视都有。当监测设备变得非常便宜甚至免费时，原来漠不关心的33%是否会对自己的健康更加关注，这一点尚待证实。但是，就比较关注健康的大多数人而言，数字健康对医疗健康和社会经济的潜在影响仍然是深远的。



采集自患者日常生活的健康数据（“动态数据采集”——ADC）是一种全新的景象。数以千万计的人持续佩戴的可穿戴健康设备产生的数据量将是浩大的，但现在已经开发出[基于“大数据”的分析数据挖掘](#)工具，这将有助于研究人员理解这些巨大的生物特征信息池。

随着研究人员试图识别与未来生理问题或疾病发展迹象有关的数据集，将会出现一个全新的“预测医学数据挖掘”领域。我们过去从未拥有人类无论工作还是休息状态下的长期心脏数据，研究人员很可能会开发出新的算法来自动识别心血管问题即将出现时的最初迹象。

同样，医学研究人员从未获得过睡眠模式、呼吸频率、血压、血糖水平和精神压力等长期记录。预测医学的全新视野即将展开。这将把附着于我们的身体以及与服装、浴室体重秤和其他家居设备、汽车、学校及工作场所设备结合在一起的低成本传感器转换为功能强大的人类健康早期预警系统。

广泛的动态人口监测带来的另一个好处是，这种ADC数据对制药公司大有用处。



目前，制药公司通过所谓严格的临床试验进行新药测试，然后在药物上市之后，必须等待很长时间才能获得似是而非的实际反馈（通常是从医生的角度对患者体验做出非第一手的描述）。如果制药公司能够直接从实际使用药物的人那里获取动态数据，用药指南甚至药物本身的改进也就不难想象了。

如果说，传统医疗健康行业的变革速度之缓慢堪比大陆漂移，那么数字技术和互联网的发展速度则似乎更接近于光速。二者看似无法共存，但总有一方要作出让步。

然而，这些从前各自独立的部门（医学和信息技术）正在快速融合，在诸多难以抗拒的外部因素影响下，医疗领域的传统做法将被淘汰。

即将动摇和重塑医疗实践的强大外部因素包括：

1. 发达国家人口迅速老龄化

婴儿潮一代正在接近退休或已经提前退休，在一些发达国家，[65岁以上的人口将首次超过其他所有世代。](#)

随着越来越多的老年人患上更为持久的慢性病（现在它们有了一个不那么贬义的新名称LTC——长期症状），因此医疗成本也会相应提高。目前英国成年人口中约33%患有慢性病，而60%的成年美国人同样患有慢性疾病。两个国家之间的明显差异也许是真实的，可能是由于使用的医学定义不同，或者可能反映出以利润为导向的美国医疗健康系统的典型医疗方式。

所有这一切对于私营医疗健康系统而言反倒是件好事——只要患者能够支付得起治疗费用或医疗保险费用。

但是，对于纳税人埋单的医疗健康系统（国家公共医疗健康计划在除美国之外的大多数发达社会中都属于标准体系）而言，老年患者数量日益增多和医疗技术成本上升必然意味着更依赖于医疗配给制度，并且对药物价格乃至有限医疗资源构成更大的压力。

大量患有慢性疾病的老年人——无法治愈只能管理的病症（关节炎、糖尿病、高血压和COPD等）——是任何社会前所未见的；过去大多数老年人在他们达到需要持续医疗健康的年龄之前已经死亡。庞大的老年慢性病患者群体将构成对纳税人资助的医疗健康系统的巨大和前所未有的消耗。

2. 大多数国家存在严重的供需失衡：医疗健康服务的需求增长超过医生数量的增长速度

据美国医学院学会预测，到2020年，美国的初级健康医生数量缺口为45,000人；这恰恰是老年人慢性病管理领域亟需的医生类型。

德国也存在类似的医生数量短缺问题。预计到2020年，整个欧洲需要填补230,000个医生职位和590,000个护理职位。在未来十年，欧洲医疗健康部门（包括所有工种）的专业人员缺口将达到100万人。

英国的NHS年度预算为1530亿美元。美国为3.5万亿美元

在英国，医院面临着20,000名医生和64,000名护士的人员缺口。2017年，英国每1000人拥有2.8名执业医生，低于包括保加利亚、爱沙尼亚和拉脱维亚在内的所有其他欧洲国家的水平。

3. 医疗成本迅速上升

专用的高端医疗技术极为昂贵，且药物开发周期耗时漫长、成本高企（导致药物价格愈加昂贵）。

让人奇怪的是，虽然计算机和电视等其他技术开发领域能够以较低的成本生产出更好的产品，但这一定理在医疗健康方面并不成立。

产生额外成本的主要原因是开展复杂临床试验的开支以及扫清各种监管障碍涉及的投资。必须证明医疗设备和药物的安全性，方可用于公众（这并不等同于它们同时具备有效性）。

英国的NHS年度预算为1530亿美元。美国的年度医疗预算高达3.5万亿美元。

两个数据之间的巨大差异并非由于美国人口是英国人口的五倍。如果按人口数量类比，美国的医疗预算应为5810亿美元，而不是3.5万亿美元。正如美国外科医师阿图·葛文德博士在其论述美国医疗健康系统的《人终有一死》一书中阐释的那样，“如果由晚期患者来支付其所选择的治疗方式产生的额外费用（以替代临终关怀），而不是由保险公司或政府来支付，那么他们会（在成本和延长生命之间）权衡再三。”晚期癌症患者不会支出80,000美元购买药物，而终末期心力衰竭患者不会为最多只能延长几个月生命的除颤器花费50,000美元。

4. 大多数公共和半公共医疗系统的资金来源

大多数国民公共医疗健康服务的资金来源是工作人口向相关计划缴纳的税收。没有一个随着时间而积累的历史“资金库”，因为每年医疗健康服务的成本直接从纳税人支付的资金中支付。



这看起来是一个庞大的“金字塔”体系，因为它依赖于越来越多的人加入该计划并为该系统缴纳税款，以便为有需要者提供越来越多的服务。但是，由于法律规定加入计划对于上班者是强制性的，如果纳税人口仍在增长，那么政府主导的计划就是可行且合法的。然而，大多数发达国家面临的问题是，工作人口在缩减，而退休人口在增长。越来越多的人需要更昂贵的治疗，但缴费的人却越来越少。崩溃的可能性显而易见。

正如世人所知，尽管巴拉克·奥巴马在边际改革方面进行了勇敢尝试（以及20世纪90年代克林顿政府时期不成功的改革尝试），美国医疗体系仍面临着重大挑战。因此，与世界其他地区的患者相比，[美国人需要为处方药和医疗设备支付更高的费用](#)，而美国私人保险系统则鼓励医生实施不必要的手术。

事实上，阿图·葛文德博士总结道：“医疗成本的飙升已经成为大多数发达国家长期偿付能力的最大威胁，而无法治愈的（慢性病老年患者）占到很大比重。”

因此，很明显，有四个主要原因促使发达国家的医疗健康专业人员期盼“患者赋权”：人口老龄化、医疗专业人员短缺、专科医疗技术成本迅速上升以及医疗健康系统的资金来源（准金字塔/庞氏计划）。

医疗成本的飙升已经成为大多数发达国家长期偿付能力的最大威胁

5. 五大变革能够化解医疗健康领域面临的危机吗？

上述的五大医学科学变革有可能推动医学科学和医疗健康事业以更卓有成效的方式维持人口健康。

但与此同时，前四种新的医学技术——基于DNA的个性化医疗、干细胞治疗、纳米医学和基因编辑——可能会大大增加治疗成功的病症数量。一些治疗手段可能意味着患者无需就相关病症接受进一步的医疗服务，但最终成功的治疗将延长寿命，进而增加人群对医疗健康服务的需求。目前，我倾向于认为，随着人的寿命越来越长、越来越多的疾病被医学领域的科学进步所攻克，发达国家中的医疗健康服务需求将继续上升。这样一来，医疗健康成本将继续增加。

但上文描述的第五大变革——数字健康——可能会改善人群的整体健康状况。互联网、数字技术、低成本生物传感器以及直接面向消费者的DNA分析将推动患者赋权，有助于减轻国家医疗健康系统的负担。

未来十年中，即使只有20%的患者借助新技术担负起更多照料自身健康的责任，医生和医院的负担也将大大减轻。

此外，这些技术有助于点燃全球健康意识文化，在推动疾病防治革命方面发挥关键作用。

但是，几乎医疗健康领域中的每个人都同意，除了个人健康技术之外，要解决国民医疗健康系统面临的诸多问题，关键在于医疗健康系统管理机制的不断创新。从改进药物开发、疾病诊断到护理方式，公共医疗健康服务的管理必须不断地推陈出新。

管理者密切关注[其他国家的医疗健康系统正在提供的新技术](#)是确保医疗健康领域保持创新动力的最佳途径之一。

例如，由于人口众多且贫困问题普遍存在，印度的医生不得不[通过开创性的方式提供医疗健康服务](#)。西方医疗健康管理者可以效法这些例子。如果世界各地的医疗健康服务有志于为2040年的患者提供最出色的医疗服务，那么还需要密切关注国际医学界的[最佳成果研究](#)。



