

智能 医学

INTELLIGENCE MEDICINE

刘荣 编著




人民卫生出版社

智能 医学

INTELLIGENCE MEDICINE



刘荣 编著

 人民卫生出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

智能医学 / 刘荣编著. — 北京 : 人民卫生出版社,
2018

ISBN 978-7-117-27801-0

I. ①智… II. ①刘… III. ①人工智能—应用—医学—研究 IV. ①R-058

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 270366 号

人卫智网 www.ipmph.com 医学教育、学术、考试、健康,
购书智慧智能综合服务平台
人卫官网 www.pmph.com 人卫官方资讯发布平台

版权所有, 侵权必究!

智能医学

编 著: 刘 荣

出版发行: 人民卫生出版社 (中继线 010-59780011)

地 址: 北京市朝阳区潘家园南里 19 号

邮 编: 100021

E - mail: pmph@pmph.com

购书热线: 010-59787592 010-59787584 010-65264830

印 刷: 北京铭成印刷有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 889 × 1194 1/32 印张: 9

字 数: 202 千字

版 次: 2018 年 12 月第 1 版 2018 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

标准书号: ISBN 978-7-117-27801-0

定 价: 118.00 元

打击盗版举报电话: 010-59787491 E-mail: WQ@pmph.com

(凡属印装质量问题请与本社市场营销中心联系退换)

序 1

“人工智能（artificial intelligence, AI）”无疑是近年火热的概念之一。人工智能一次次将国际象棋、围棋的世界级选手打败，无疑挑动着大众的神经，并将其推上了风口浪尖。在科技界，人工智能并不新鲜。20世纪60年代以来，人工智能起起伏伏，螺旋发展。目前我们正处在人工智能发展的第三次大潮之中，人工智能时代是否已经到来？我想答案是肯定的。

人工智能作为一门综合性的交叉前沿学科，已经是很多国家重点投入的方向，在多个领域已经或有望得到广泛应用，其中就包括古老但又富有生命力的医学。医学是一门讲究经验积累和实际应用的学科，也就是说医学场景下的很多事情，如诊断、治疗甚至手术是可重复的。在未来，有理由相信把这一类事情交给计算机去做，它肯定做得比人类强。

医学发展至今，为人类解除病患做出了很大贡献，但亦存在一些问题。“看病难”“看病贵”是一个世界性的难题，其中一个很重要的原因就是人力成本。培养一个能够进入临床实践的医生大约需要8~10年的时间，培养一个经验丰富的医生的时间更加漫长。在医生漫长的学习和职业生涯中，相当一部分时间都用在了知识积累和运用上，而人力终归有局限，结果就是医疗行为的高成本与不规范。把这一类问题交给计算机或者机器人来处理有诸多好处。成熟的人工智能与机器学习技术在特定方面，即使是最优秀的医生也难以媲美，近年各种人机读片竞赛的结果可见一斑。人工智能也可使医生把更多精力

放在只有人类才能完成的事上，例如在人工智能提供选项后进行决策，又如积极进行医患沟通为患者提供更好的服务。此外，面对纷繁复杂的病情，不同医生对于治疗的理解具有差异，很难定义其中哪些合理、哪些不合理，应用人工智能将为各类医疗行为提供统一标准。在一般人看来，人工智能参与医疗实践的时代似乎还很遥远，但已有先行者进行了尝试。

《智能医学》是一本极富前瞻性和创新性的科学论著。本书率先提出了智能医学的概念，为以后人工智能与医学实践的结合奠定了理论基础，同时探讨了智能诊断、治疗、手术的研究应用现状和未来可能，探索了未来智能医学的实际发展轨道。人工智能对医学有何颠覆性影响？人工智能应用于医学应当注意的问题？这些在现在和未来困扰我们的问题，本书亦尝试进行了解答。

智能医学的研究单靠医生无法完成，单靠数学家也无法完成。它是一门专业跨度极大的科学，其不断发展需要包括计算机专家、数学家和医学家在内的各领域从业人员的共同努力，这本书是有志于此方面研究人员的宝贵财富。

中国工程院院士 高文

2018年6月20日

序 2

近几年，快速发展的人工智能技术受到越多越广泛的关注。当然人工智能并不是一个新概念，事实上，自 1956 年标志着人工智能诞生的达特茅斯会议以来，人工智能经历了多个发展阶段，内容亦不断更新、充实。人工智能被赋予了不同的内涵，最终目的始终是使计算机模拟人类智能，以代替人类完成生产生活中的部分任务。

人工智能技术的一个重要特征就是与多个领域的交叉融合。当前，人工智能在图像分析、自动控制、语音识别等领域展现出了可观的应用价值和广阔的应用前景，其中人工智能在医学领域中的应用引人瞩目，其将对医学领域产生很多影响，甚至变革。人工智能可以帮助医生完成病灶筛选、影像三维重建、手术导航等诸多任务；还可以筛选大量基因，挖掘药物化学结构，缩短药物研发时间；另外，其与基因组学联合应用，可进行疾病风险预测，助力流行病学调查和疫情管理等。可以说人工智能相关技术将为医疗健康服务提供更好的支撑，也将给医学相关专业发展提供新的手段、新的方法，同时医疗卫生的发展也会对人工智能技术提出很多新的挑战性问题，两者的互动融合毋庸置疑将带来很多突破性和变革性新机遇，也是相关领域未来学科和技术发展的重要趋势。2017 年 7 月，国务院印发了《新一代人工智能发展规划》，明确指出要“发展智能医疗，推广应用人工智能治疗的新模式新手段”。

医学与其他学科深度融合是智能医学健康发展的核心和关

键。但计算机科学、电子科学、数学等相关专业与医学专业跨度大，造成这些领域的研究人员对临床工作和医学研究中的痛点和需求难以很好理解和把握，一定程度上影响了智能医学的发展。因此，一方面医学工作者需进一步了解、理解人工智能，明确人工智能的作用和意义；另一方面理工科相关专业人员也需要加深对医学专业的一些认识，了解医学领域对于人工智能的需求和问题。

《智能医学》正是成书于此背景之下，该书深入浅出地阐述了智能医学的基本思想，介绍了人工智能在医疗领域的应用，并对智能医学的未来以及发展中可能存在的问题进行了思考和分析。难能可贵的是，该书的作者刘荣教授同时是一位优秀的外科医生，《智能医学》一书第一次从临床医生的角度和视野，结合临床需求，综合分析了智能医学的现状、问题，探讨了智能医学的发展方向。该书可为有意于从事智能医学研究的医学、计算机、电子、数学等专业人员提供参考指导，同时，对于智能医学感兴趣的读者，也是一本难得的优秀读物。

相信在有志者的共同努力下，智能医学定将迎来更加迅猛的发展，极大提升医疗健康服务水平，促进人民健康！

中国科学院院士 黄如

2018年6月1日

前言

自电子计算机问世以来，对于电子计算机是否会替代人类的讨论就从未停止过。2015年，Alpha Go 以绝对优势战胜了人类围棋世界冠军李世石，舆论惊呼人类“智力的最后一块高地”宣告失守。之后不到两年，使用更先进算法的 Alpha Zero 以 100 : 0 的比分将 Alpha Go 斩于马下。但这一次 Alpha Zero 的胜利却并没有受到它前辈那么多的关注。因为近年来，人工智能已经越来越多的走出实验室，走进日常生活中，人们似乎对于人工智能在更大的范围内取代人类已经习以为常了。

但是来到医院里，一切似乎都还是老样子。医生也热衷于谈论人工智能令人惊叹的成果，但是很少有人去认真思考人工智能在医学中的应用。智能医学似乎还是“山那边的事物”。

这其实并不是智能时代的特别现象，由于医疗行业的特殊性，每一次技术面临重大革新的时候都会出现这样的困局。笔者在写这本书的时候，适逢团队成员协助中央电视台对腹腔镜手术创始人 Semm 教授的学生进行采访。通过采访得知，Semm 教授当年在推广腹腔镜技术的时候遇到了前所未有的阻力，甚至有人批评 Semm 教授是“不道德”的。说到底，对新技术的未知、对生命的敬畏与对现有技术的容忍交织在一起，给医学技术的变革带来了巨大的阻力。

但是历史同样证明，每一次医学技术在突破阻碍之后，都会出现巨大的进步。当前，腹腔镜技术已经成为了一种常规的手术方式，造福了无数患者。再也没有人去质疑 Semm 教授的

成果了。

新技术就像黑箱，会使人产生对于不确定性的恐惧。而人工智能技术则将这种恐惧带到了一个新的高度。因为在人类文明史上将第一次出现机器替代人类进行思考的可能性。目前的舆论给人一个印象就是：终结者们的进化已经开始，很快人类就将苟延残喘在人工智能统治的世界中。

其实仔细考察人工智能技术，可以看到，尽管人工智能的运算过程难以追溯和直观化，使其看起来像是有思考能力，但是在目前的技术条件下人工智能并不具备像人一样的全面思考的能力，其执行的仍然是人类的意志。换句话说，只要我们知道人工智能在想什么、怎么想，它就是可控的、可约束的。在可预见的未来，人工智能将是人类的忠实盟友。

同样，对于智能医学的讨论也应该被限定在“可预见的未来”这一范围之内。现在，基于人工智能的图像识别、数据分析等诸多技术已经展现出了在医学中的应用潜力和价值。但是智能医学的潜能还远远没有被挖掘出来，人工智能还远远没有深入医学的实质。智能医学的实现是一项庞大的工程，并将面临技术和社会的双重阻力。本书将从医学发展的历史、智能医学发展现状入手，分析智能医学的设想与实现方法，并解读智能医学可能面临的问题和解决措施，旨在为智能医学的发展提供一个明确的发展方向。

诚然，医学技术变革面临的阻力要远远大于其他专业，但

是技术的进步从不会因为面临的阻碍而停滞。就像肝移植之父 Thomas E. Starzl 说的那样：“任何技术，在昨天看起来都是不可能实现的，在今天也只是勉强能做到的，但是到了明天就会成为常规。”智能医学的大潮看似还远在天边，但当它真的到来的时候，一闪而过，瞬间就会将人们抛在身后。我们能做的，是在感受到大潮来临前的微风之时，投身于新思路、新技术的开发和应用之中，做智能医学时代的弄潮儿，为医学的发展做出自身的贡献。

刘 荣

2018年6月20日

目录

第一章 医学进化史

- 第一节 19 世纪前的医学 2
- 第二节 19 世纪后的医学 16
- 第三节 人工智能与机器学习 30
- 第四节 新时代的医学——智能医学 41

第二章 智能医学的应用及现状

- 第一节 人工智能在医学影像中的应用 52
- 第二节 智能导诊和智能诊断 63
- 第三节 人工智能与临床数据挖掘 73

第三章 智能医学的数学方法

- 第一节 人工智能的数学基础 84
- 第二节 机器学习与统计分析 97
- 第三节 机器学习应用基础 113
- 第四节 遗传算法与搜索树 130

第四章 智能医学的设想与实现

- 第一节 智能诊断 140
- 第二节 智能治疗决策 151
- 第三节 智能治疗 160
- 第四节 智能手术 170
- 第五节 围术期管理与智能病房 181
- 第六节 疾病风险预控 190

第五章 智能医学对传统医疗模式的颠覆

- 第一节 对诊断模式的颠覆 202
- 第二节 对治疗模式的颠覆 211
- 第三节 对医生培养模式的颠覆 220
- 第四节 改变医疗产业结构 229

第六章 智能医疗时代面临的问题

- 第一节 医生角色的转变 240
- 第二节 数字医学与智能医学的联系 250
- 第三节 智能医学的数据安全 255
- 第四节 伦理问题 265



第一章 医学进化史

第一节

19 世纪前的医学

在浩瀚的历史长河中，人类已经走过了 240 万年^[1]，尽管在 38 亿年的生命史之中不过是一瞬间，但人类对于自然的认知以及与自然相互影响的程度已经远远超出了其他物种。纵观人类这 240 万年，包括出现人类文明之后的 7000 年，疾病与死亡无时无刻不在与人类作伴。人类的历史可以浓缩成一部对疾病和死亡的恐惧，并努力与之抗争的历史。这是一段曲折而又艰辛的道路，医学前辈们走过弯路、犯过错误、甚至为了追求真理付出过生命。但是最终，他们用不断的积累和努力打开了现代医学的大门，并在这一过程中留下了无数我们受用至今的思想财富。

一、传统医学

(一) 古埃及

已七天未见爱人，虚弱爬遍我全身。
我的四肢变沉重，感受不到那躯体。
即使最好的医生，也无法让我好转。
找牧师更是枉然，这怪病无法诊断。
爱是最好的良药，她胜过所有医书。

这是公元前 1500 年古埃及的诗人在纸草上写下的情诗。

从中可以看出，在公元前 1500 年，“医生”和“医书”的概念就已经在古埃及出现了。有记载的古埃及最早的医生是左塞法老的御用医生 Imhotep，他活跃于公元前 2600 年左右，被认为是古埃及医学的奠基人，并被古埃及后人尊为医学之神。

古埃及的考古人员曾在一个墓道中发现了这样一段话：“LRJ 医生，宫廷医生、宫廷医生主管、宫廷眼科医生、宫廷腹部医生，精通体内液体流动理论，肛门守护者。”墓的主人 LRJ 医生死于公元前 1500 年，也就是说，在公元前 1500 年以前，古埃及的医学先驱就已经按照人体的组成将医学分为不同的专科。而且已经初步建立了关于人体内血液流动的理论。古希腊历史学家希罗多德（图 1-1）对古埃及医学的描述是：“古埃及的医学是如此的专业化，每一个医生都精通于一种疾病的治疗”^[2]。

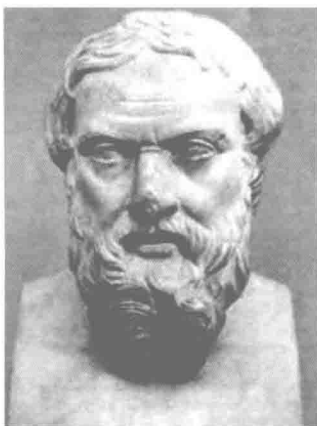


图 1-1 希罗多德，古希腊历史学家

古埃及医学发达的一个重要原因是文字的发明以及纸草的大规模应用。文字的发明可以使医学经验得到准确的记载并传

播，不再依赖于长辈对晚辈的口授；而纸草作为一种相对廉价的书写介质，使这种传播可以大范围进行，而不仅仅限于富有的祭司阶级。在纸草文字的记载中，我们可以看到古埃及对于医学的认知在当时来说是十分先进的。

“46 根血管从心脏直通每一个肢体，如果医生把手或手指放在头、手、胃、胳膊或脚的后面，他就能感受到心脏的跳动，心脏通过四肢来说话。其中，四根血管通向鼻孔、四根通向额头、六条通向手臂、两条通向臀部……”

可以说，这在当时对于人体解剖学的认知已经非常先进了。到了公元前 2200 年，古埃及出现了具备专业医学职能的“生命之屋”（house of life），告别了医生在神庙中行医的历史。至公元前 1600 年，《史密斯纸草书》（图 1-2）^[3] 出现了，这是人类历史上的第一本外科学专著。其中对许多疾病的检查、诊断、治疗和预后进行了详细的介绍，包括外伤、骨折、肿瘤等。书中对于人体的解剖特征进行了详细的描述，但是并没有对各个器官的功能进行介绍。尽管如此，这本书在当时的科技条件下已经可以说是一本极其伟大的著作了（图 1-3）。



图 1-2 史密斯纸草书



图 1-3 古埃及的水蛭疗法

至公元前 16 世纪后，古埃及陷入了无尽的战争中，喜克索斯人、赫梯人、波斯人等先后入侵古埃及，古埃及的医学随着王朝一起走向了衰落。到公元前 332 年，马其顿王亚历山大征服埃及，宣告了这个古老王朝的彻底灭亡。但是古埃及医学并没有就此走向终结，相反，其医学技术及理念随着亚历山大大帝的征途，传遍了地中海沿岸、中东地区，直至印度，对希腊化时代里的医学发展造成了深远的影响。

（二）古希腊 - 古罗马

在约公元前 800 年的《荷马史诗》中，描述了古希腊传说中医神阿斯克勒庇俄斯（英文：Asclepius）的两个儿子治愈伤病的故事。尽管古希腊的自然及社会科学都很发达，但其医学却长期处于落后的状态。直到古埃及的医学知识传播至希腊，医学的水平及地位才得到改善。

提到古希腊医学，希波克拉底（图 1-4）是其中最浓墨重彩的一笔。至今，他仍被尊为“西方医学之父”，他所著《希波克拉底誓词》（图 1-5）在很长一段时间中被作为西方医生