· 综述 ·

# Analysis of literature related to deep learning in medical imaging from 2011 to 2020

FU Jiaohui[1], CHANG Xiaodan[2*], SHA Qiaoli[1], GUO Weiya[1]
(1. Department of Radiology, Dalian Municipal Women and Children's Medical Center [Group], Dalian 116011, China; 2. Department of Medical Imaging, Affiliated Zhongshan Hospital of Dalian University, Dalian 116001, China)

[**Abstract**] The articles of the application of deep learning (DL) in medical imaging were searched based on the Web of Science Core Collection (WoSCC) from 2011 to 2020. The data were analyzed with VOSviewer version 1.6.13 software, a knowledge map was construct, and the most influential paper and scientific research hotspots in this field were evaluate in this article.

[**Keywords**] bibliometrics; artificial intelligence; medical imaging technology; deep learning
**DOI**: 10.13929/j.issn.1672-8475.2022.01.012

# 2011 年—2020 年深度学习用于医学影像学研究文献分析

付姣慧[1], 常晓丹[2*], 沙俏丽[1], 郭维亚[1]
[1. 大连市妇女儿童医疗中心(集团)放射科, 辽宁 大连 116011;
2. 大连大学附属中山医院影像科, 辽宁 大连 116001]

[**摘 要**] 搜索 2011 年—2020 年 Web of Science 核心合集(WoSCC)数据库中关于深度学习在医学影像学研究领域中的应用的文献, 以 VOSviewer 1.6.13 软件分析数据并构建知识图谱, 评估该领域最具影响力的文献和科研热点。

[**关键词**] 文献计量学; 人工智能; 医学影像技术学; 深度学习
[**中图分类号**] G353.12; R-1 [**文献标识码**] A [**文章编号**] 1672-8475(2022)01-0053-05

近年来, 人工智能(artificial intelligence, AI)蓬勃发展, 其与医学影像学相结合, 逐渐用于产业、教育及科研机构, 并取得快速发展[1]。目前 AI 在医学影像学领域的应用已从简单的识别图像发展到基于医学影像大数据对数据进行深入挖掘和应用, 并通过算法训练分析图像并得出诊断[2]。其中以深度卷积神经网络理论为核心的深度学习(deep learning, DL)模型具有更强的学习能力和独立学习、进化能力, 能通过大量学习数据突破 AI 模型精度的瓶颈, 以更有效地利用模型精准分析数据[1]。在医学影像学领域, DL 常用于建立筛选模型、诊断模型和治疗计划模型[3]。

文献计量分析是利用数学、统计和制图知识领域方法对相关文献进行评估及分析的方法。本文利用 Web of Science 核心合集(Web of Science Core Collection, WoSCC)(https://webofknowledge.com/)数据库, 对已发表的关于 DL 用于医学影像学研究的文献进行计量分析, 评估该领域最具影响力的文献和科研热点。

## 1 数据来源与检索策略

1.1 检索策略 在线检索《科学引文索引扩展》数据

[**第一作者**] 付姣慧(1980—), 女, 辽宁大连人, 硕士, 副主任医师。研究方向: 儿童中枢神经系统疾病的 MR 诊断。E-mail: fu_sunny@163.com
[**通信作者**] 常晓丹, 大连大学附属中山医院影像科, 116001。E-mail: 13384111832@163.com
[**收稿日期**] 2021-07-01 [**修回日期**] 2021-10-31

库中的 WoSCC(https://webofknowledge.com/)数据库,检索时间截止至 2021 年 3 月 28 日,检索关键词为"deep learning"和"medic * imag *",检索时间 2011 年—2020 年,文献类型和语言不限。对来自英格兰、苏格兰、北爱尔兰和威尔士的文献进行单独分析(而非视为英国),将来自中国香港地区的文献纳入中国进行整体分析。将检索结果另存为带有完整记录和引用参考文献的纯文本文件,记录其基本信息,包括国家、组织、作者、期刊、参考文献、题目、摘要及关键词。

1.2　文献计量和可视化分析　采用 VOSviewer 1.6.15 软件(www.vosviewer.com)对文献进行计量和可视化分析,在线获得 VOSviewer V 1.6.15 手册(https://www.vosviewer.com/documentation/Manual_VOSviewer_1.6.15.pdf)。节点链接图包括研究人员、期刊、个人出版物或重要主题词,并可基于共同著作、共同引用或共同存在关系构建。共检出2 199篇包含完整研究结果的文献,获得以下指标:①每年发表论文数量;②发表论文和引用次数排名前 10 位的国家;③最具影响力的前 10 个研究机构;④发表论文最多的前 10 名作者和共引用作者(其文章被其他作者共同引用);⑤排名前 10 位的共引参考文献。采用 CiteSpace 5.6.R2 (Drexel University, Philadelphia, PA)捕获高引用关键词,以之为研究前沿的预测指标。

## 2　出版量

2.1　总体趋势　2011 年—2020 年发表的关于 DL 用于医学影像学的文献总数从 0 篇增加到 1 233 篇(图 1)。经分析后提取频次增长量最高的前 25 个关键词,其中"fully convolutional network"一词从 2018 年开始爆发性增长(图 2),与近 3 年发表的神经卷积网络相关论文发表量大幅增加一致。

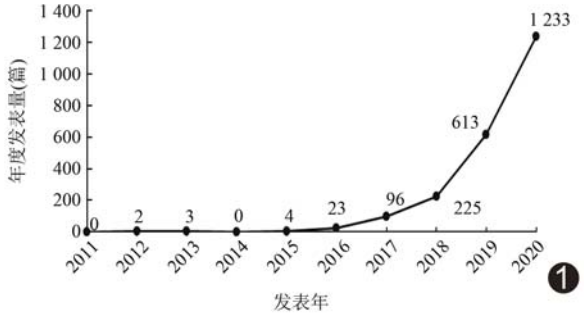


**图 1**　2011 年—2020 年 DL 用于医学影像学研究的各年度文献发表量

2.2　国家文献总量分析和科研合作网络　2 199 篇文献来自 86 个国家及地区。如表 1 所示,从事医学影像学 AI 研究最多的前 3 个国家中,中国的文献数量最多,为 689 篇(689/2 199,31.33%),美国次之,为 593 篇(593/2 199,26.97%),之后为韩国,共 173 篇(173/2 199,7.87%)。引文分析结果显示,在总被引频次方面,美国居首位,为 19 777 次,其次是中国(8 674 次)和荷兰(5 404 次)。

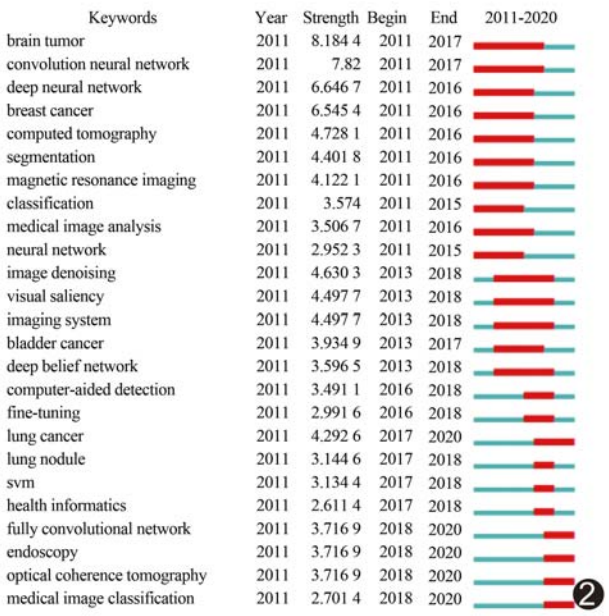


**图 2**　2011 年—2020 年发表的 DL 用于医学影像学研究文献中频次增长量最多的前 25 个关键词(红色为增长最快的年份)

**表 1**　2011 年－2020 年发表的 DL 用于医学影像学文献量排名前 10 位的国家及其总被引频次

| 名次 | 国家 | 文献数[篇(%)] | 总被引频次 |
|---|---|---|---|
| 1 | 中国 | 689(31.33) | 8 674 |
| 2 | 美国 | 593 (26.97) | 19 777 |
| 3 | 韩国 | 173 (7.87) | 3 368 |
| 4 | 印度 | 167 (7.59) | 3 152 |
| 5 | 英国 | 156 (7.09) | 4 331 |
| 6 | 德国 | 137 (6.23) | 2 474 |
| 7 | 日本 | 110 (5.00) | 1 310 |
| 8 | 加拿大 | 105 (4.77) | 2 287 |
| 9 | 澳大利亚 | 98 (4.46) | 1 565 |
| 10 | 法国 | 79 (3.59) | 1 189 |

国家合作分析反映国家之间的交流程度及该领域中具有影响力的国家。节点图中,国家的节点越大,代表其在该领域的影响力越高;节点之间链接的粗细和距离代表国家之间的合作关系。图 3 显示,在 DL 用于医学影像学研究方面,中国与许多国家,如美国、英国、澳大利亚、日本和加拿大均有深入合作,而地理距离并非影响合作关系的主要因素。

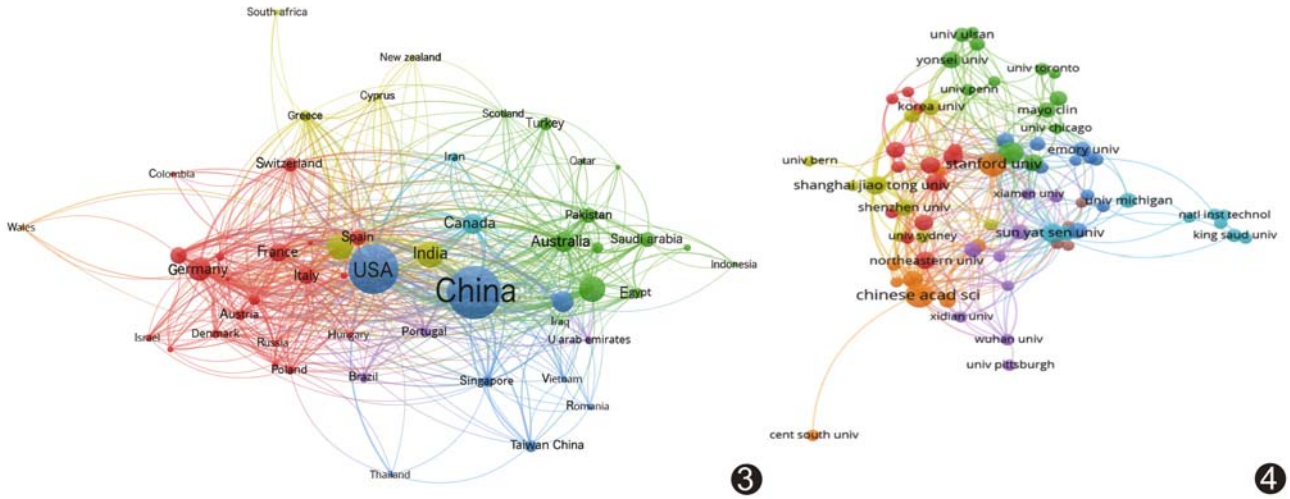


**图 3**　将 DL 用于医学影像学研究的国际合作情况（发表文献最小数量设定为 5 篇；共纳入 86 个国家及地区，其中 53 个达到阈值）　**图 4**　将 DL 用于医学影像学研究的主要研究机构的协作网络（将组织、机构的最小文献量设定为 10 篇，2 841 个组织、机构中，81 个达到阈值，其中 5 个机构由于不包含所分析字段数据而被排除）

## 3　主要研究机构分布

2 199 篇文献来自于 2 841 个研究机构。排名前 10 位的研究机构共发表 348 篇文献，占总数的 15.83%（348/2 199）（表 2）。图 4 显示将 DL 用于医学影像学研究的各机构的协作网络，节点大小对应发表文献数量，节点之间的链接表示协作关系，链接强度越高，代表协作越紧密。

## 4　作者和共引用作者

2 199 篇文章出自 9 861 名作者。全部作者中，SHEN DG（17 篇）发表文献量排名第一，其次是 WANG G（14 篇）和 QIN（10 篇），均为英文文献。所有共引用作者中，LECUN Y 据于首位，被共同引用 892 次，其次是 HE K M（被共同引用 865 次）和 KRIZHEVSKY A（被共同引用 767 次）（表 3）。

表 2　2011 年－2020 年发表的 DL 用于医学影像学研究的文献量排名前 10 位的机构

| 名次 | 组织机构 | 国家 | 文献数［篇（%）］ | 总被引频次 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 中国科学院 | 中国 | 54（2.46） | 1 025 |
| 2 | 斯坦福大学 | 美国 | 52（2.36） | 1 779 |
| 3 | 哈佛医学院 | 美国 | 45（2.05） | 4 104 |
| 4 | 中山大学 | 中国 | 33（1.50） | 528 |
| 5 | 上海交通大学 | 中国 | 32（1.46） | 1 235 |
| 6 | 香港中文大学 | 中国 | 28（1.27） | 1 606 |
| 7 | 伦敦帝国学院 | 英国 | 26（1.18） | 1 624 |
| 8 | 马萨诸塞州总医院 | 美国 | 26（1.18） | 1 084 |
| 9 | 延世大学 | 韩国 | 26（1.18） | 406 |
| 10 | 约翰霍普金斯大学 | 美国 | 26（1.18） | 293 |

表 3　2011 年－2020 年发表的 DL 用于医学影像学文献量排名前 10 位的作者及共引用作者

| 名次 | 作者 | 发文数量（篇） | 共引用作者 | 被共引频次 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | SHEN D G | 17 | LECUN Y | 892 |
| 2 | WANG G | 14 | HE KM | 865 |
| 3 | QIN J | 10 | KRIZHEVSKY A | 767 |
| 4 | RUECKERT D | 10 | SIMONYAN K | 667 |
| 5 | KIM N | 10 | RONNEBERGER O | 615 |
| 6 | XING L | 10 | SZEGEDY C | 563 |
| 7 | van GINNEKEN B | 9 | LITJENS G | 446 |
| 8 | AERTS HUGO J W L | 9 | KINGMA D P | 356 |
| 9 | WANG W | 9 | LONG J | 312 |
| 10 | ARSALAN M | 9 | ESTEVA A | 300 |

## 5　引用关系网络分析

通过对被引用参考文献进行共引分析，可有效建立 AI 医学影像知识库。将引用参考文献的最小被引用次数设置为 50。2 199篇文献共引用 67 178 条参考文献，其中 77 条引用参考文献达到阈值 50。表 4 所列为被引用次数最多的 10 条参考文献。

## 6　现状分析

利用智能图像识别技术可显著减轻医师工作量，但对于 AI 能否在综合诊断和治疗中提出更好的建议目前尚无定论。学术论文的数量可反映某个领域的发展趋势。图 1 所示，本研究纳入 2011 年—2020 年共 2 199篇 DL 用于医学影像学领域的研究文献，且在过去十年中，年度发表文献数量逐年增长，从 0 篇增加到

表 4　2011 年—2020 年将 DL 用于医学影像学研究的排名前 10 位的共引文献

| 名次 | 共引文献 | 被引频次 |
|---|---|---|
| 1 | HE K M, ZHANG X, REN S, et al. Deep residual learning for image recognition [J]. Proc CVPR IEEE, 2016:770-778. | 617 |
| 2 | RONNEBERGER O, FISCHER P, BROX T. U-Net: Convolutional networks for biomedical image segmentation[J]. Lect Notes Comput Sci, 2015(9351):234-241. | 529 |
| 3 | LECUN Y, BENGIO Y, HINTON G. Deep learning[J]. Nature, 2015(521):436-444. | 511 |
| 4 | KRIZHEVSKY A, SUTSKEVER I, GEOFFREY H E. ImageNet classification with deep convolutional neral networks[J]. Adv Neur Inf Proc Sy, 2012(25):1097. | 434 |
| 5 | LITJENS G, KOOI T, BEJNORDI B E, et al. A survey on deep learning in medical image analysis[J]. Med Image Anal, 2017,42:60-88. | 355 |
| 6 | SIMONYAN K, ZISSERMAN A. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition[J]. Proc CVPR IEEE, 2014:1. | 330 |
| 7 | ESTEVA A, KUPREL B, NOVOA R A, et al. Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks [J]. Nature, 2017,42(7639):115-118. | 274 |
| 8 | SHELHAMER E, LONG J, DARRELL T. Fully convolutional networks for semantic segmentation[J]. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell, 2017,39(4):640-651. | 271 |
| 9 | KRIZHEVSKY A, SUTSKEVER I, HINTON E G. ImageNet classification with deep convolutional neural networks[J]. Communications of the ACM, 2017,60(6):84-90. | 245 |
| 10 | LECUN Y, BOTTOU L, BENGIO Y, et al. Gradient-based learning applied to document recognition[J]. P IEEE, 1998,86(11):2278-2324. | 209 |

1 233 篇。上述变化与卷积神经网络的快速发展有关[4]。最强引文爆发的前 25 个关键词如图 2 所示，这些爆发关键词被认为是该领域的前沿指标。图 2 可以看出，医学影像学研究主要针对的疾病为“brain tumor”“breast cancer”[5-6]“bladder cancer”“lung cancer”及“lung nodule”[7-8]。2016 年“computer-aided detection ”[9-10]成为爆发性关键词，2017 年—2020 年“lung cancer”及“lung nodule”成为爆发性关键词。目前很多医院已将肺结节筛查软件用于临床。AI 已从单纯自图像中发现异常肺结节、乳腺结节发展到评估良、恶性结节，而影像组学已从形态学拓展到基因学[11-12]。

国家层面上，中国在将 DL 用于医学影像学研究领域中处于领先地位，已发表文献占检出文献总量的 31.33%，排名第一，其次为美国和韩国；而陈娟等[13]的统计结果有所不同，主要原因可能为陈娟等研究的数据截止时间点是 2020 年 1 月，而 2020 年 1 月—2021 年 3 月是中国发表文献数量大幅上升的阶段。美国文献的总被引频次为 19 777 次，其次是中国(8 674 次)和荷兰(5 404 次)。值得注意的是，荷兰仅发表 67 篇文献，非前 10 位国家，但引用量居世界第三。发文量最高的研究机构是中国科学院，其次是斯坦福大学和哈佛医学院。中国的发表文献总量居世界第一，且多数文献发表于英文 SCI 期刊[14-15]。

中国的发表文献总量和机构文献总量均居世界第一，表明我国在 AI 医学影像学领域具有核心优势和竞争力。分析原因，首先，算法是 DL 及 AI 的核心，而我国基础教育阶段重视数学学科；其次，我国影像学数据以 30%年增长率增加，而影像科医师的增加和诊断效率与之不匹配，故国内医院与公司对医学影像学 AI 极其关注。尽管中国的文献数量占据优势，但不论文献影响力还是期刊影响力均有待提高，未来应以此作为努力方向。

## [参考文献]


[1] HOSNY A, PARMAR C, QUACKENBUSH J, et al. Artificial intelligence in radiology [J]. Nat Rev Cancer, 2018, 18(8): 500-510.

[2] SAHINER B, PEZESHK A, HADJIISKI L M, et al. Deep learning in medical imaging and radiation therapy[J]. Med Phys, 2019,46(1):e1-e36.

[3] LEE J G, JUN S, CHO Y W, et al. Deep learning in medical imaging: General overview[J]. Korean J Radiol, 2017, 18(4): 570-584.

[4] 刘全，翟建伟，章宗长，等. 深度强化学习综述[J]. 计算机学报，2018,42(1):1-27.

[5] MAMBOU S J, MARESOVA P, KREJCAR O, et al. Breast cancer detection using infrared thermal imaging and a deep learning model[J]. Sensors (Basel), 2018,18(9):2799.

[6] KALAFI E Y, NOR N A M, TAIB N A, et al. Machine learning and deep learning approaches in breast cancer survival prediction

using clinical data[J]. Folia Biol (Praha), 2019, 65(5-6): 212-220.

[7] HOSNY A, PARMAR C, COROLLER T P, et al. Deep learning for lung cancer prognostication: A retrospective multi-cohort radiomics study[J]. PLoS Med, 2018,15(11):e1002711.

[8] AVANZO M, STANCANELLO J, PIRRONE G, et al. Radiomics and deep learning in lung cancer[J]. Strahlenther Onkol, 2020,196(10):879-887.

[9] CHRISTE A, PETERS A A, DRAKOPOULOS D, et al. Computer-aided diagnosis of pulmonary fibrosis using deep learning and CT images[J]. Invest Radiol, 2019, 54(10): 627-632.

[10] NAM S, CHONG Y, JUNG C K, et al. Introduction to digital pathology and computer-aided pathology[J]. J Pathol Transl Med, 2020,54(2):125-134.

[11] 倪炯,王培军.医学影像人工智能的现状与未来[J].中华医学杂志,2021,101(7):455-457.

[12] LU C F, HSU F T, HSIEH K L, et al. Machine learning-based radiomics for molecular subtyping of gliomas[J]. Clin Cancer Res, 2018,24(18):4429-4436.

[13] 陈娟,张婷,卢岩,等.人工智能用于医学影像学基础研究态势[J].中国医学影像技术,2021,37(2):298-302.

[14] TIAN L, TANG Y, HU L, et al. Domain adaptation by class centroid matching and local manifold self-learning[J]. IEEE Trans Image Process, 2020(29):9703-9718.

[15] AN L, CHEN X, YANG S, et al. Person re-identification by multi-hypergraph fusion[J]. IEEE Trans Neural Netw Learn Syst, 2017,28(11):2763-2774.

# 《中国介入影像与治疗学》被数据库收录及获奖情况

《中国介入影像与治疗学》杂志是由中国科学院主管,中国科学院声学研究所主办的国家级学术期刊,被数据库收录及获奖情况如下:

中国精品科技期刊(第 2 届)

中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊)

《中文核心期刊要目总览》收录期刊

荷兰《医学文摘》收录源期刊

WHO《西太平洋地区医学索引》(WPRIM)来源期刊

《日本科学技术振兴机构中国文献数据库》(JSTChina)收录期刊