

人工智能应用于糖尿病的文献计量学分析

曾林¹, 李莉^{2*}, 苟永莎¹, 付莉萍¹

¹贵州中医药大学护理学院, 贵州 贵阳

²贵州中医药大学第二附属医院门诊部, 贵州 贵阳

收稿日期: 2024年6月14日; 录用日期: 2024年7月12日; 发布日期: 2024年7月22日

摘要

目的: 通过文献计量学分析人工智能(AI)在糖尿病(DM)领域的应用情况, 阐明AI在DM领域的研究现状、热点和趋势, 为未来的研究提供参考。方法: 以Web of Science数据库为来源, 检索建库至2024-05-10的AI应用于DM领域的相关研究, 运用VOSviewer和CiteSpace软件对纳入研究的发文量、国家、作者、机构和关键词进行文献计量学分析。结果: 共获得8007篇文献, 2014年1月至2024年5月发文量总体呈上升趋势, 美国(2076篇)发文量最多。809名核心作者, 共计发文4449篇; 发文量最高的作者是Acharya, U. Rajendra (24篇)和被引频次最高的作者是Uelmen, Sacha (2709次)。发文量最高的机构为哈佛医学院(120篇)。AI应用于DR研究的最新热点为machine learning (机器学习)和deep learning (深度学习), 其他共现频次较高的关键词是分类、诊断、自我管理、危险因素。结论AI在DM的研究热点为机器学习和深度学习, 未来研究可重点关注机器学习应用于DM的分类、诊断、自我管理、危险因素预测。

关键词

人工智能, 糖尿病, VOSviewer, CiteSpace, 文献计量学分析

Bibliometric Analysis of Artificial Intelligence Applications in Diabetes Mellitus

Lin Zeng¹, Li Li^{2*}, Yongsha Gou¹, Liping Fu¹

¹School of Nursing, Guizhou University of Traditional Chinese Medicine, Guiyang Guizhou

²Outpatient Department, The Second Affiliated Hospital of Guizhou University of Traditional Chinese Medicine, Guiyang Guizhou

Received: Jun. 14th, 2024; accepted: Jul. 12th, 2024; published: Jul. 22nd, 2024

*通讯作者。

文章引用: 曾林, 李莉, 苟永莎, 付莉萍. 人工智能应用于糖尿病的文献计量学分析[J]. 护理学, 2024, 13(7): 963-972.
DOI: 10.12677/ns.2024.137137

Abstract

Objective: To summarize the application of Artificial Intelligence (AI) in the field of Diabetes Mellitus (DM) through bibliometric analysis, to illustrate the current status, hotspots, and emerging trends of AI related research in the field of DM, and to provide references for future research. **Methods:** Using the Web of Science database as a source, we searched for studies related to the application of AI in the field of DM from the establishment of the database to 2024-05-10. Using VOSviewer and CiteSpace software to conduct a bibliometric analysis of the number of articles, countries, authors, institutions, and keywords included in the studies. **Result:** A total of 8007 documents were obtained, and the number of publications from January 2014 to May 2024 showed an overall upward trend, with the United States having the largest number of publications (2076). There are 809 core authors who have published a total of 4449 documents; the author with the highest number of publications is Acharya, U. Rajendra (24 publications), and the author with the highest number of citations is Uelmen, Sacha (2709 citations). The institution with the highest number of publications was Harvard Medical School with 120 publications. The newest hotspots for AI in DR research are machine learning and deep learning, and other keywords with high co-occurrence are classification, diagnosis, self-management, and risk factors. **Conclusion:** The research hotspot of AI in DM is machine learning and deep learning, and future research could focus on applying machine learning to the classification, diagnosis, self-management, and risk factor prediction of DM.

Keywords

Artificial Intelligence, Diabetes Mellitus, VOSviewer, CiteSpace, Bibliometric Analysis

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

糖尿病(diabetes mellitus, DM)是一组新陈代谢疾病,其共同的病理特征是血糖升高,即高血糖症;严重的高血糖会导致典型损害症状,如乏力和丧失工作能力、体重减轻、视力障碍和易感染等[1]。预计到2045年,全球糖尿病患者数量将增至6.43亿[2]。《中国2型糖尿病防治指南(2020年版)》报道,根据2015至2017年全国流行病学调查结果报告,我国18岁以上人群糖尿病患病率已达11.2% [3]。据统计[4],预计到2045年,糖尿病治疗费用将高达7600亿美元,约占全球卫生支出的10%,给医疗保健系统、患者家庭和社会带来了巨大的经济负担。近十年,与人工智能(artificial intelligence, AI)相关的新方法,特别是机器学习,已经应用于医疗领域,尤其在糖尿病中的应用得到广泛的关注[5],机器学习可应用于糖尿病的诊断,李婷等利用机器学习分类算法的辅助诊断糖尿病[6];还可用于糖尿病血糖及并发症的管理,曹长玲等人利用机器学习预测糖尿病发生视网膜病变的风险[7];刘美宏,董利平应用机器学习算法管理糖尿病患者的血糖[8]。本文通过文献计量学方法呈现该领域研究现状,挖掘研究热点,为未来的研究提供参考。

CiteSpace通过计量和共现可准确地计算并分析出某领域的热点和研究前沿,并以知识图谱的形式展现该领域的研究现状[9]。VOSviewer是基于文献数据创建和探索地图的软件工具,可用于文献的共词分析、共引分析和文献耦合分析等[10]。本文运用这两个软件进行文献计量学分析。

2. 资料与方法

2.1. 数据来源

检索 Web of Science (核心集合)数据库, 索引选择为 SCI-EXPANDED、SSCI, 检索时间为建库至 2024-05-10, 检索策略: TS = (artificial intelligen* OR machine intelligen* OR machine learn* OR deep learn* OR transfer learn* OR neural learn* OR supervised learn* OR neural network* OR deep network* OR automat* OR unsupervised clustering OR big data OR robot* OR expert* system* OR evolutionary computation OR hybrid intelligent system* OR machine vision OR fuzzy logic OR random forest OR support vector machine OR decision-making tree OR bayes* network OR blockchain OR genetic algorithm OR K-nearest neighbors OR neural nets model OR convolution OR natural language process* OR thinking computer system) AND (diabetes OR diabetes mellitus), 语言限定为英语, 文献类型选择“Article”进行精炼。

2.2. 纳入与排除标准

纳入标准: 纳入篇名、摘要、关键词等与研究主题相关的文献; 排除标准: 剔除与研究主题不相关及重复发表的文献。

2.3. 研究方法

运用 Excel2019 软件对筛选纳入文献的发文量趋势、发文国家分布和文献被引频次进行排序作图列表; 运用 VOSviewer1.6.20 进行聚类分析, 对所纳入文献的作者合作网络、机构合作网络以及关键词等进行聚类研究, 通过圆点大小、颜色不同和线条多少联系描述文献间的相关性; 运用 CiteSpace6.1.R6 软件对纳入文献的关键词进行关键词突现分析。

3. 结果

3.1. 文献检索结果

通过检索和筛选, 最终纳入与 AI 应用于 DM 的相关文献 8007 篇。

3.2. 发文趋势分析

发文量的趋势可反映该领域研究水平、受关注程度、发展趋势, 可预测未来发展前景, 对该领域近十年发文量进行分析(图 1), 发文量呈上升趋势, 2014 年~2017 缓慢上升, 每年增加发文量 100 篇左右; 2018~2021 快速上升, 每年增加的发文量为 200 篇左右; 2022~2024 平稳发展, 年增加发文量小于 50 篇; 2023 年发文量达峰值(1229 篇)。

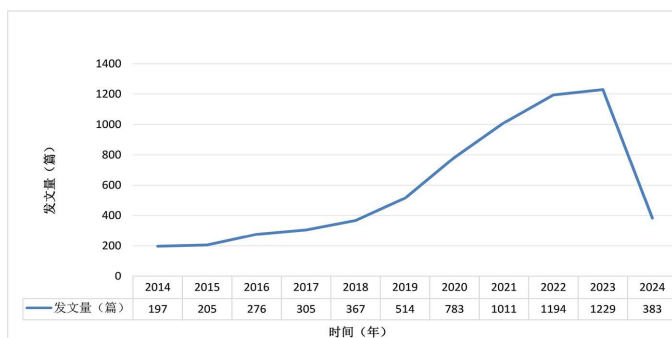


Figure 1. The trend of document releases from January 2014 to May 2024

图 1. 2014 年 1 月至 2024 年 5 月发文量趋势

3.3. 发表国家分析

对发文的国家列表(表 1), 美国、中国、印度发文量排名前三, 美国发文量最多(2076 篇), 占纳入文献总数的 33.8%, 并且被引用频次较高, 平均发表年份在 2017 年; 意大利的篇均被引量最高(44.91 次/篇)。

Table 1. Top 10 countries by number of messages sent

表 1. 发文量排名前十的国家

序号	国家	发文量	被引量	总连接强度	篇均被引量	年份
1	美国	2076	84,071	896	40.50	2017
2	中国	1720	27,761	471	16.14	2020
3	印度	733	15,585	219	21.26	2020
4	英国	653	25,687	505	39.34	2017
5	德国	428	17,920	340	41.87	2017
6	意大利	397	17,829	290	44.91	2017
7	韩国	355	6323	135	17.81	2020
8	澳大利亚	354	15,139	282	42.77	2018
9	西班牙	306	8992	181	29.39	2018
10	加拿大	280	9322	235	33.29	2017

3.4. 发表作者分析

对文献作者进行分析, 了解该研究领域的核心作者。在纳入 8007 篇研究中, 共包含 41,309 个作者, 根据普莱斯定律计算出该领域核心作者最低发文数为 4, 因此将发文量 4 篇以上(包含 4 篇)的作者定位为该领域的核心作者, 共计 809 名核心作者, 共计发文 4449 篇, 占总发文量的 55.56%, 达到了 Price 所提出的半数(50%)标准, 说明该领域已形成稳定的合作群体(图 2), 对发文量前十的作者列表(表 2), 发文量最高多的作者是 Acharya, U. Rajendra (24 篇), 其次是 Georgiou, Pantelis (21 篇)和 Herrero, Pau (20 篇); 被引频次最高的是 Uelmen, Sacha (2709 次)。

Table 2. Top 10 authors by number of publications

表 2. 发文量排名前十的作者

序号	作者	发文量	被引量	总连接强度	篇均被引量
1	Acharya U. Rajendra	24	128	31	53.58
2	Georgiou Pantelis	21	565	60	26.90
3	Herrero Pau	20	577	66	28.85
4	Wang Lei	19	138	37	7.26
5	Wang Wei	19	205	12	10.79
6	Uelmen Sacha	18	2709	80	150.50
7	Cefalu William T.	17	2644	80	155.53
8	Berg Erika Gebel	16	2632	80	164.50

续表

9	Petersen Matthew P.	16	2632	80	164.50
10	Robinson Shamera	16	2632	80	164.50
11	Saraco Mindy	16	2632	80	164.50

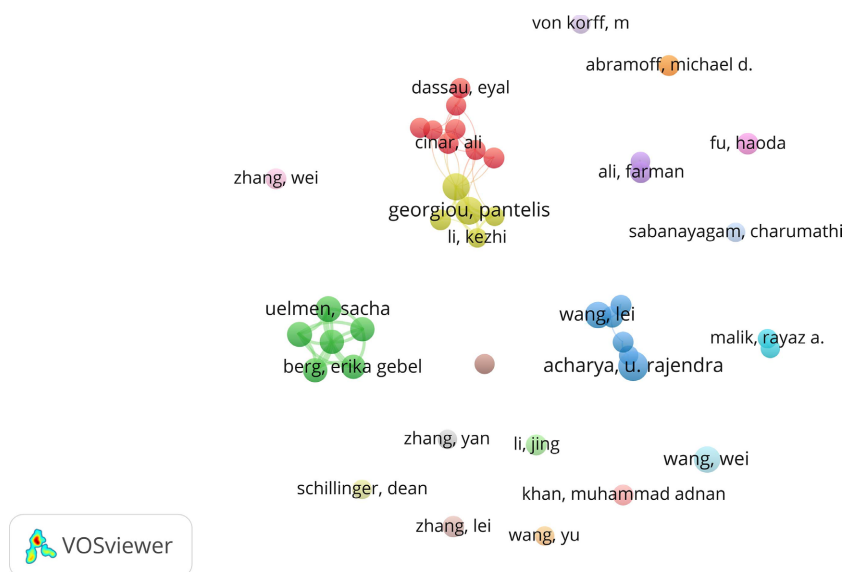


Figure 2. Author co-authorship network view (Publications ≥ 10)
图 2. 作者合作网络视图(发文量 ≥ 10 篇)

3.5. 机构分析

全球共 9800 个机构研究这个领域，发文量大于 50 篇的机构共计 28 个，其合作网络视图见图 3，发文量最高的为哈佛医学院(120 篇)，其次分别为斯坦福大学(93 篇)、华盛顿大学(81 篇)。我国发文量在前十五的机构分别是上海交通大学(75 篇)、首都医科大学(62 篇)、中山大学(23 篇)。哈佛医学院、麻省总医院、布列根和妇女医院合作最密切，其连接强度分别为 115、78、72。

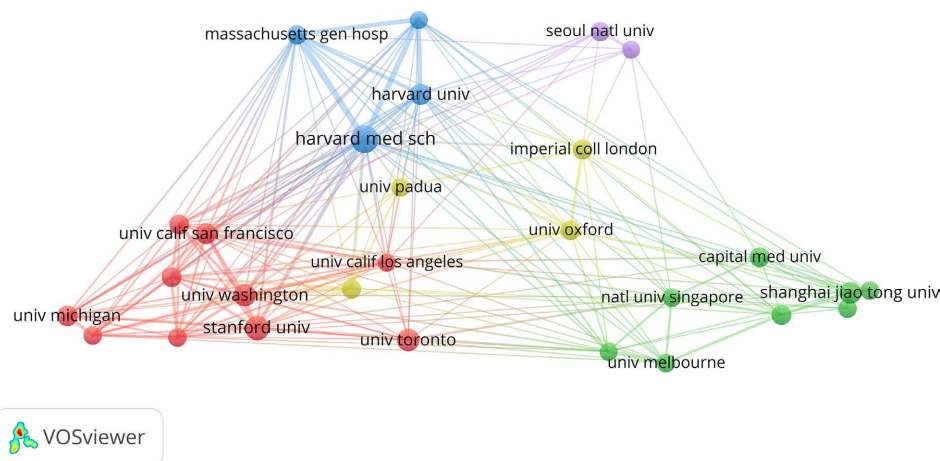


Figure 3. Network diagram of institutional collaboration (publications ≥ 50)
图 3. 机构合作网络视图(发文量 ≥ 50 篇)

3.6. 关键词分析

3.6.1. 关键词共现分析

关键词是一篇论文的核心与精髓，分析关键词共现频次高低，以挖掘研究领域的研究热点。网络视图中圆节点越大，代表关键词出现的次数越多，代表领域热点。使用 VOSviewer 对 8007 篇文献绘制关键词共现网络视图，选择其中频次大于等于 200 的 33 个重点关键词进行可视化(图 4)；图 4 中三种颜色代表三个聚类，红色节点最大的是 risk (风险)，蓝色节点最大的 machine learning (机器学习)，绿色节点最大的是 mellitus (糖尿病)；为了更清晰的了解关键词的具体情况，将频次超过 400 次的 10 个关键词作图(图 5)列表(表 3)。该领域最新的研究热点是 machine learning (机器学习)和 deep learning (深度学习)。

Table 3. Ranks the top 10 co-occurring keywords

表 3. 共现频次排名前十的关键词

序号	关键词	频次	总连接强度	年份
1	machine learning (机器学习)	1094	909	2021
2	risk (风险)	843	749	2019
3	mellitus (糖尿病)	712	549	2016
4	classification (分类)	642	546	2019
5	prevalence (流行)	553	496	2018
6	association (关联)	491	458	2019
7	diagnosis (诊断)	478	486	2019
8	management (管理)	432	342	2018
9	deep learning (深度学习)	423	338	2022
10	mortality (死亡率)	407	403	2018

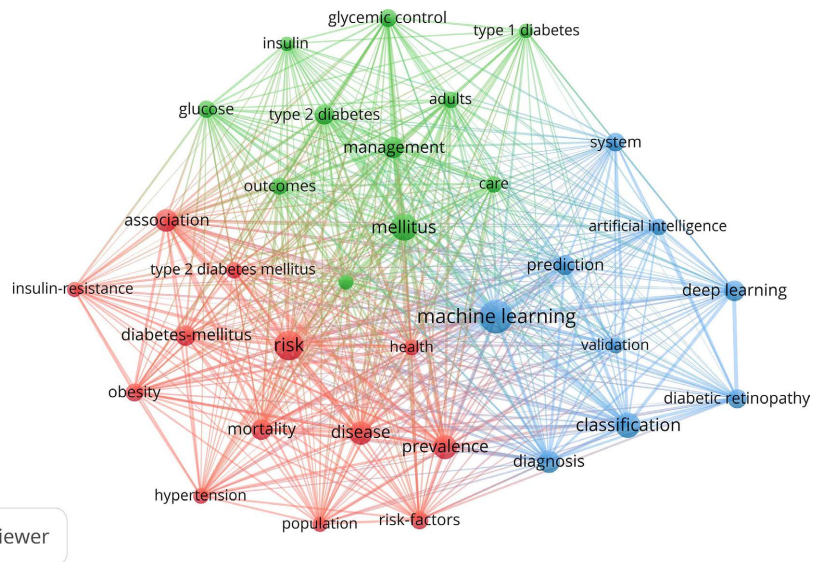


Figure 4. Keyword co-occurrence network view (frequency ≥ 200)

图 4. 关键词共现网络视图(频次 ≥ 200)

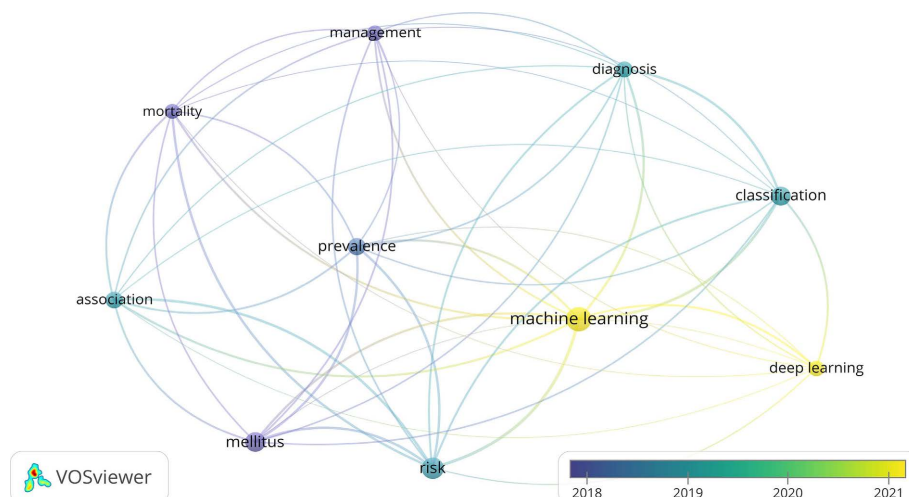


Figure 5. Keyword co-occurrence overlay view (frequency ≥ 400)
图 5. 关键词共现叠加视图(频次 ≥ 400)

3.6.2. 关键词突现图谱分析

关键词突现分析是指从文献中检测出现频次高、增长速度快的关键词，突现强度高的关键词可能是研究领域的热点和趋势[11]。分析近十年 AI 应用于 DM 研究领域突现的关键词突现结果(图 6)，2014 年到 2018 年突现强度大的关键词为 mellitus (糖尿病, 突现强度 10.84)、glycemic control (血糖控制, 突现强度 9.67)、randomized controlled trial (随机对照试验, 突现强度 9.67)、self management (自我管理, 突现强度 7.27); 2019 年到 2024 年突现强度大的关键词为 deep learning (深度学习, 突现强度 13.1)、diabetic kidney disease (糖尿病肾病, 突现强度 6.9)、gut microbiota (肠道微生物群, 突现强度 5.88)、feature extraction (特征提取, 突现强度 5.77), 其中 deep learning (深度学习)突现强度最大, 突现持续时间是 2022~2024 年, 第一次出现时间是 2016 年。

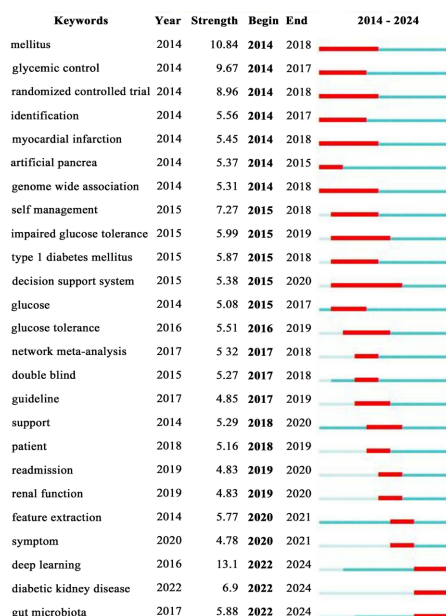


Figure 6. Keyword emergence map from January 2014 to May 2024
图 6. 2014 年 1 月~2024 年 5 月关键词突现图谱

4. 讨论

4.1. 发文量分析

近十年 AI 在 DM 领域的发文量呈上升趋势，2020 年开始快速增长，但 2023 年增长速度减缓，趋于平稳发展，预测 AI 在 DM 的应用将趋于稳定状态，说明 AI 在 DM 的应用已得到广泛的关注。

4.2. 发文国家、机构、作者分析

全球发文量最多的国家是美国，发文量最高的机构为 Harvard Medical School (哈佛医学院)，合作最密切的机构是 Harvard Medical School (哈佛医学院)、Massachusetts General Hospital (麻省总医院)、Brigham and Women's Hospital (布列根和妇女医院)；说明美国在该领域的研究比较丰富，且国内机构之间合作密切。我国发文量全球第二，国内发文量最多的机构是上海交通大学、首都医科大学、中山大学，国内机构之间合作密切。但是国家与国家之间的合作较少，且该领域已经形成稳定的作者合作团体，团体与团体之间的合作也较少，未来应促进国家与国家、团体与团体之间的合作，加强学术交流。

4.3. 关键词聚类分析

由关键词聚类结果可知，AI 在 DM 的领域主要应用于疾病风险的预测[12]及并发症预防[13] [14]、分类[15] [16]、诊断[17]。该领域研究出现频次最高的关键词是机器学习(1094 次)；共现频次前十中最新出现的关键词是深度学习(2022 年)；说明机器学习尤其是深度学习已成为当前研究的热点[18]，机器学习可以很好的实现 DM 并发症预防，降低其疾病风险[19]，BASIRI R 等应用多种机器学习方法确定 2 型糖尿病关键焦亡分子，为 2 型糖尿病及其并发症的管理和治疗提供了可能[20]；机器学习模型能够对二型糖尿病患者罹患糖尿病肾病情况做出准确判断[21]。

4.4. 关键词突现分析

分析近十年关键词突现结果，发现 2014 年~2018 年，突现强度大的关键词是血糖控制、自我管理、随机对照试验。有效的控制血糖，可减少患者其他并发症；CHENG Y L 等[22]利用人工智能的机器学习方法，探讨 2 型糖尿病患者各种危险因素与血糖控制的关系。JACOBS P G 等[23]回顾了糖尿病血糖控制中机器学习应用中最常见的特征，提供了当前可用于训练算法的数据集的审查以及数据源的在线存储库。ALEXIADIS A 等[24]开发并验证了用于预测 2 型糖尿病患者次日低血糖的不同机器学习模型，这项研究的结果为准确预测日常生活中的低血糖症提供了一种便捷、可靠的基于应用程序的方法，从而提高了患者和护理人员对低血糖症的认识，并有可能预防其他严重并发症的发生。KURDI S 等[25]利用监督机器学习算法建立模型来预测接受胰岛素泵治疗的 1 型糖尿病患者达到胰岛素泵自我管理行为标准并在 6 个月内实现良好血糖反应的概率。DM 的个性化管理也是 AI 的研究热点[26]。近五年，AI 在 DM 突现强度大的关键词是深度学习[27]、糖尿病肾病、肠道微生物群、特征提取，说明研究热点已经发生变化。WANG Y P 等[28]利用深度学习模型从妊娠早期的无细胞 DNA 中识别妊娠糖尿病。RAJALAKSHMI R 等[29]提出了一种具有有效特征选择机制的新型深度学习模型，用于物联网医疗环境下的糖尿病预测。深度学习在该领域已经得到广泛的应用。糖尿病肾病已成为终末期肾脏疾病的最大病因，糖尿病肾病的预防和早期准确检测对患者是有益的，DONG Z Y 等[30]基于眼底图像和 8 个容易获得的临床参数，建立了一种新的糖尿病肾病诊断机器学习算法，结果表明视网膜血管变化有助于糖尿病肾病的筛查和检测。肠道微生物群失调是包括 2 型糖尿病在内的各种慢性代谢性疾病恶化的诱因之一，了解肠道微生物群有助于开发预防和治疗 2 型糖尿病的新疗法，NERI-ROSARIO D 等[31]利用有监督机器学习方法分析了 410 名墨西哥患者的肠道微生物图谱(16s rRNA 基因测序)，结果发现了一组可预测 2 型糖尿病患者与正常血

糖个体的分类群, 其中包括艾利森菌属、斯拉克菌属、瘤胃球菌属_2、巨大球形菌属、大肠杆菌属/志贺菌属和普雷沃菌属, 此外, 与血糖正常者相比, 厌氧棍状菌属、肠杆菌属、普雷沃菌属、布劳特菌属、颗粒链球菌属和维永菌属是糖尿病前期患者的相关菌属。特征提取有助于早期诊断糖尿病; ALHARBI A 等[32]提出了一种用于早期诊断 2 型糖尿病的自动化系统, 该系统利用极限学习机神经网络进行分类, 并利用进化遗传算法进行特征提取, 优化对 2 型糖尿病患者的诊断, 准确率高达 97.5%。

5. 结论

综上所述, 通过运用 VOSviewer 和 Citespace 软件对 Web of Science 核心数据库中与研究主题相关文献全面客观的分析。研究结果显示, 机器学习及深度学习是该领域最新最为关注的研究热点。AI 在 DM 领域主要应用于疾病的分类、诊断、自我管理、危险因素预测。此外, 从发文趋势来看, 该领域发文量已到达高峰时期, 未来应促进国家之间、机构及作者之间的交流与合作。

参考文献

- [1] Harreiter, J. and Roden, M. (2019) Diabetes Mellitus—Definition, Klassifikation, Diagnose, Screening und Prävention (Update 2019). *Wiener klinische Wochenschrift*, **131**, 6-15. <https://doi.org/10.1007/s00508-019-1450-4>
- [2] Cho, N.H., Shaw, J.E., Karuranga, S., Huang, Y., da Rocha Fernandes, J.D., Ohlrogge, A.W., *et al.* (2018) IDF Diabetes Atlas: Global Estimates of Diabetes Prevalence for 2017 and Projections for 2045. *Diabetes Research and Clinical Practice*, **138**, 271-281. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2018.02.023>
- [3] 中华医学会糖尿病学分会. 中国 2 型糖尿病防治指南(2020 年版) [J]. 中华糖尿病杂志, 2021, 13(4): 315-409.
- [4] Saeedi, P., Petersohn, I., Salpea, P., Malanda, B., Karuranga, S., Unwin, N., *et al.* (2019) Global and Regional Diabetes Prevalence Estimates for 2019 and Projections for 2030 and 2045: Results from the International Diabetes Federation Diabetes Atlas, 9th Edition. *Diabetes Research and Clinical Practice*, **157**, Article 107843. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2019.107843>
- [5] Rigla, M., García-Sáez, G., Pons, B. and Hernando, M.E. (2017) Artificial Intelligence Methodologies and Their Application to Diabetes. *Journal of Diabetes Science and Technology*, **12**, 303-310. <https://doi.org/10.1177/1932296817710475>
- [6] 李婷, 孙媛媛, 李雪玲, 等. 基于机器学习分类算法的糖尿病辅助诊断研究[J]. 电脑知识与技术, 2024, 20(10): 27-29.
- [7] 曹长玲, 翁郁华, 李晓琼, 等. 基于机器学习的糖尿病视网膜病变合并症风险预测模型[J]. 生命科学仪器, 2023, 21(2): 56-63.
- [8] 刘美宏, 董利平. 机器学习及其算法在社区老年 2 型糖尿病血糖控制影响因素评估中的应用价值[J]. 河北医药, 2024, 46(9): 1431-1433, 1437.
- [9] Chen, C. and Song, M. (2019) Visualizing a Field of Research: A Methodology of Systematic Scientometric Reviews. *PLOS ONE*, **14**, e0223994. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223994>
- [10] Van Eck, N.J. and Waltman, L. (2009) Software Survey: Vosviewer, a Computer Program for Bibliometric Mapping. *Scientometrics*, **84**, 523-538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- [11] Yao, L., Hui, L., Yang, Z., Chen, X. and Xiao, A. (2020) Freshwater Microplastics Pollution: Detecting and Visualizing Emerging Trends Based on Citespace II. *Chemosphere*, **245**, Article 125627. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125627>
- [12] Naseem, A., Habib, R., Naz, T., Atif, M., Arif, M. and Allaoua Chelloug, S. (2022) Novel Internet of Things Based Approach toward Diabetes Prediction Using Deep Learning Models. *Frontiers in Public Health*, **10**, Article 914106. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.914106>
- [13] Liu, L., Bi, B., Cao, L., Gui, M. and Ju, F. (2024) Predictive Model and Risk Analysis for Peripheral Vascular Disease in Type 2 Diabetes Mellitus Patients Using Machine Learning and Shapley Additive Explanation. *Frontiers in Endocrinology*, **15**, Article 1320335. <https://doi.org/10.3389/fendo.2024.1320335>
- [14] Nicolucci, A., Romeo, L., Bernardini, M., Vespasiani, M., Rossi, M.C., Petrelli, M., *et al.* (2022) Prediction of Complications of Type 2 Diabetes: A Machine Learning Approach. *Diabetes Research and Clinical Practice*, **190**, Article 110013. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2022.110013>
- [15] Sevli, O. (2022) Diyabet hastalığının farklı sınıflandırıcılar kullanılarak teşhisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık*

Fakültesi Dergisi, **38**, 989-1002.

- [16] Roobini, M.S., Lakshmi, M., Rajalakshmi, R., Sujihelen, L. and Babu, K. (2023) Type 2 Diabetes Mellitus Classification Using Predictive Supervised Learning Model. *Soft Computing*. <https://doi.org/10.1007/s00500-023-08726-4>
- [17] Chen, T.T., Wu, H. and Chiu, M. (2024) A Deep Neural Network with Modified Random Forest Incremental Interpretation Approach for Diagnosing Diabetes in Smart Healthcare. *Applied Soft Computing*, **152**, Article 111183. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.111183>
- [18] Kozinetz, R.M., Berikov, V.B., Semenova, J.F. and Klimontov, V.V. (2024) Machine Learning and Deep Learning Models for Nocturnal High- and Low-Glucose Prediction in Adults with Type 1 Diabetes. *Diagnostics*, **14**, Article 740. <https://doi.org/10.3390/diagnostics14070740>
- [19] 韦哲, 于金玉, 曹彤, 等. 基于机器学习的糖尿病并发症预测模型研究进展[J]. 中国医学装备, 2022, 19(2): 14-17.
- [20] Basiri, R., Manji, K., LeLievre, P.M., Toole, J., Kim, F., Khan, S.S., *et al.* (2024) Protocol for Metadata and Image Collection at Diabetic Foot Ulcer Clinics: Enabling Research in Wound Analytics and Deep Learning. *BioMedical Engineering OnLine*, **23**, Article No. 12. <https://doi.org/10.1186/s12938-024-01210-6>
- [21] 徐澄. 基于机器学习的糖尿病并发症风险预测研究[D]: [硕士学位论文]. 徐州: 中国矿业大学, 2024.
- [22] Cheng, Y., Wu, Y., Lin, K., Lin, C. and Lin, I. (2023) Using Machine Learning for the Risk Factors Classification of Glycemic Control in Type 2 Diabetes Mellitus. *Healthcare*, **11**, Article 1141. <https://doi.org/10.3390/healthcare11081141>
- [23] Jacobs, P.G., Herrero, P., Facchinetti, A., Vehi, J., Kovatchev, B., Breton, M.D., *et al.* (2024) Artificial Intelligence and Machine Learning for Improving Glycemic Control in Diabetes: Best Practices, Pitfalls, and Opportunities. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, **17**, 19-41. <https://doi.org/10.1109/rbme.2023.3331297>
- [24] Alexiadis, A., Tsanas, A., Shtika, L., Efopoulos, V., Votis, K., Tzovaras, D., *et al.* (2024) Next-Day Prediction of Hypoglycaemic Episodes Based on the Use of a Mobile App for Diabetes Self-management. *IEEE Access*, **12**, 7469-7478. <https://doi.org/10.1109/access.2024.3350201>
- [25] Kurdi, S., Alamer, A., Wali, H., Badr, A.F., Pendergrass, M.L., Ahmed, N., *et al.* (2023) Proof-of-Concept Study of Using Supervised Machine Learning Algorithms to Predict Self-Care and Glycemic Control in Type 1 Diabetes Patients on Insulin Pump Therapy. *Endocrine Practice*, **29**, 448-455. <https://doi.org/10.1016/j.eprac.2023.03.002>
- [26] Ni Ki, C., Hosseinian-Far, A., Daneshkhan, A. and Salari, N. (2021) Topic Modelling in Precision Medicine with Its Applications in Personalized Diabetes Management. *Expert Systems*, **39**, e12774. <https://doi.org/10.1111/exsy.12774>
- [27] Anaya-Isaza, A. and Zequera-Diaz, M. (2022) Detection of Diabetes Mellitus with Deep Learning and Data Augmentation Techniques on Foot Thermography. *IEEE Access*, **10**, 59564-59591. <https://doi.org/10.1109/access.2022.3180036>
- [28] Wang, Y., Sun, P., Zhao, Z., Yan, Y., Yue, W., Yang, K., *et al.* (2023) Identify Gestational Diabetes Mellitus by Deep Learning Model from Cell-Free DNA at the Early Gestation Stage. *Briefings in Bioinformatics*, **25**, bbad492. <https://doi.org/10.1093/bib/bbad492>
- [29] Rajalakshmi, R., Sivakumar, P., Kumari, L.K. and Selvi, M.C. (2023) A Novel Deep Learning Model for Diabetes Mellitus Prediction in IoT-Based Healthcare Environment with Effective Feature Selection Mechanism. *The Journal of Supercomputing*, **80**, 271-291. <https://doi.org/10.1007/s11227-023-05496-6>
- [30] Dong, Z., Wang, Q., Ke, Y., Zhang, W., Hong, Q., Liu, C., *et al.* (2022) Prediction of 3-Year Risk of Diabetic Kidney Disease Using Machine Learning Based on Electronic Medical Records. *Journal of Translational Medicine*, **20**, Article No. 143. <https://doi.org/10.1186/s12967-022-03339-1>
- [31] Neri-Rosario, D., Martínez-López, Y.E., Esquivel-Hernández, D.A., Sánchez-Castañeda, J.P., Padron-Manrique, C., Vázquez-Jiménez, A., *et al.* (2023) Dysbiosis Signatures of Gut Microbiota and the Progression of Type 2 Diabetes: A Machine Learning Approach in a Mexican Cohort. *Frontiers in Endocrinology*, **14**, Article 1170459. <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1170459>
- [32] Alharbi, A. and Alghahtani, M. (2018) Using Genetic Algorithm and ELM Neural Networks for Feature Extraction and Classification of Type 2-Diabetes Mellitus. *Applied Artificial Intelligence*, **33**, 311-328. <https://doi.org/10.1080/08839514.2018.1560545>