

机器学习预测模型在突发性聋中的临床应用研究

李培培¹, 卢彦青², 侯楠³

1. 成都医学院第一附属医院 耳鼻咽喉头颈外科, 四川 成都 610500

2. 重庆医科大学附属巴南医院 耳鼻咽喉科, 重庆 401320

3. 四川泰康医院 耳鼻喉科, 四川 成都 610213

摘要: 突发性聋由于其病因及发病不明确, 目前国内外仍没有统一的治疗方案。临床上面对不同的突发性聋患者也无法直接预估出患者预后的有效率和制定出最适合患者的治疗方案。随着大数据及计算机信息时代的发展, 机器学习 (machine learning, ML) 为代表的人工智能应用可帮助实现患者教育及医患共同决策从一个抽象的概念转化为具体的可操作形式, 从而评估疾病预后有效率及制定疾病的治疗方案。研究综述 ML 预测模型建立的全过程及在突聋中的应用, 旨在为临床医务人员提供突聋疗效评估及方案制定的相关参考信息, 更好地实现医患共同决策及提高突聋的疗效。

关键词: 突发性聋; 机器学习; 预测模型

中图分类号: R764.35 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-3770(2025)02-0145-07

引用格式: 李培培, 卢彦青, 侯楠. 机器学习预测模型在突发性聋中的临床应用研究 [J]. 山东大学耳鼻喉眼学报, 2025, 39(2): 145-151. LI Peipei, LU Yanqing, HOU Nan. Research progress of machine learning prediction model in clinical application of sudden deafness [J]. Journal of Otolaryngology and Ophthalmology of Shandong University, 2025, 39(2): 145-151.

Research progress of machine learning prediction model in clinical application of sudden deafness

LI Peipei¹, LU Yanqing², HOU Nan³

1. Department of Otorhinolaryngology & Head and Neck Surgery, The First Affiliated Hospital, Chengdu Medical College, Chengdu 610500, Sichuan, China

2. Department of Otorhinolaryngology, Banan Hospital, Chongqing Medical University, Chongqing 401320, China

3. Department of Otolaryngology, Sichuan Taikang Hospital, Chengdu 610213, Sichuan, China

Abstract: Due to the unclear aetiology and pathogenesis of sudden deafness, there is still no uniform treatment plan at home and abroad. In the face of different sudden deafness patients, it is not possible to directly estimate the effective prognosis of patients and formulate the most suitable treatment plan for patients. With the development of big data and the computer information age, the application of artificial intelligence represented by machine learning (ML) can help transform patient education and joint decision-making between doctors and patients from an abstract concept into a concrete operable form, so as to evaluate the prognosis and effectiveness of diseases and formulate treatment plans for diseases. The purpose of this paper is to review the whole process of ML prediction model construction and its application to sudden deafness, with the aim of providing relevant reference information for clinical staff to evaluate the curative effect of sudden deafness and make plans, so as to better realise joint decision-making between doctors and patients and improve the curative effect of sudden deafness.

Key words: Sudden deafness; Machine learning; Forecast

突发性聋发病率逐年递增^[1], 其临床表现为 72 h 内突然出现单侧或双侧听力下降, 伴发症状包括耳鸣、耳闷胀感、头晕等, 部分患者由于对疾病的不可预见性, 可能会出现焦虑、急躁、尴尬、沮丧等心理反应^[2], 这不仅可能造成患者的心理创伤, 还可能导致患者不配合治疗, 影响患者的治疗及愈后。由于突聋的病因及发病机制不明确, 目前国内外仍

没有统一的治疗方案。临床上常用的治疗手段包括药物治疗 (如糖皮质激素类、血管扩张类、抗血小板聚集类等)、高压氧治疗及针灸治疗等。2019 年美国突发性聋临床指南^[3] 中强调了患者教育的重要性, 并且将其划分为为强烈推荐等级。患者教育指医生为患者及其家人提供参与医疗决策所需的信息, 对突发性聋患者的预后有效率做出预测, 并使患

者参与到治疗方案制定的决策中,实现有效的医患共同决策。如何针对不同的患者制定个性化治疗方案以及如何对突发性聋患者疗效进行预测是临床亟待解决的问题。即便是经验丰富的临床医生在面对不同的突发性聋患者时也无法直接预估出患者预后的有效率或制定出最适合患者的治疗方案。

随着大数据及计算机信息时代的发展,以机器学习(machine learning, ML)为代表的人工智能越来越多地被用于大规模人群的相关结果分析,ML的应用有助于将患者教育及医患共同决策的概念具体化,以评估疾病预后有效率及制定疾病的治疗方案^[4]。本文拟从 ML 预测模型建立的全过程及在突发性聋中的应用进行相关综述,旨在为临床医务人员提供突发性聋疗效评估及方案制定的相关参考信息,以更好地实现医患共同决策,提高突发性聋的疗效。

1 ML 模型

计算机程序从特定的复杂数据中学习知识构架和规律,即 ML 算法,再通过给 ML 算法提供历史经验数据建立模型。当遇到新的类似情况时,ML 模型将可以利用已有的知识构架处理各种变量之间的相互依赖关系,并提供相应的判断,最终实现对未知数据的预测或分类^[5]。与传统数据处理相比,ML 模型处理数据的方式在处理大规模、结构复杂或信息关系不明确的数据时显示出明显的优势^[6]。然而并非所有临床问题都适合使用 ML 算法,例如在评估暴露或干预的效果时需要依赖传统的统计学检验来解决相关问题。相反,在疾病的诊断或者疾病预后相关问题的预测方面,ML 模型则显示其适用性^[7]。

2 ML 模型预测突发性聋变量的筛选

不同的临床问题需要筛选不同的变量用于 ML 模型的建立。一般的随机对照实验、疗效资料齐全的临床观察性研究数据、电子病历系统的资料等均可以成为构建 ML 模型的重要数据来源^[8]。变量的选择可根据国内外参考文献、医生临床经验以及不同的统计学方法进行筛选^[9]。在建立 ML 预测模型前,需进行系统文献回顾,将检索到的文献中提及的变量进行归纳总结,然后结合研究者自身的临床经验及相关领域专家的经验,从众多变量中选出最终纳入 ML 模型所需要的变量。常见的预测模型筛选方法包括全模型或筛选模型,两种模型各有利弊。全模型是将收集到的所有变量均纳入 ML 模型进行建模,且通常不进行初步筛选。这种方式可以

降低筛选偏倚、避免模型的过度拟合,模型的泛化性更好^[10]。但全模型由于包含大量变量,可能会导致模型过于复杂、计算量大、过拟合风险增加,以及解释性降低等问题。临床数据的质量以及研究者的认识等因素都会影响到最终 ML 模型变量的数量。筛选模型是借助统计方法对输入模型的变量进行重要性排序,评估筛选变量与预测结果的关系,如果去除某一种变量后模型的准确性影响 <0.01 则说明此变量对模型的影响不大,可以不纳入此变量^[11]。

目前临床认为影响突发性聋预后的 ML 模型变量可能包含突发性聋患者的听力损失程度、听力下降类型、发病时间、年龄等^[12-13]。是否有基础疾病、伴随症状这一系列变量对突发性聋预后是否有独立影响则存在争议^[14-15]。由于突发性聋的病因和发病机制不明,因此机制方面的变量发现的相对较少,有研究利用生物信息分析及 RNA 测序技术发现在 21 例突发性聋患者与健康人外周血中有 7 个关键 miRNA 存在差异性表达,认为此 7 个 miRNA 与突发性聋的发生、听力水平及治疗结局有关^[16]。但该研究为小样本的基础研究,仅对其进行初步探索,将基因用于临床预测突聋预后还需要更多的临床数据支撑。

3 突发性聋患者 ML 模型构建的统计学方法

用于 ML 预测模型构建的方法多样,主要包括逻辑回归、Cox 回归模型^[17]、随机森林模型、最近邻、朴素贝叶斯、支持向量机及多层感知器、深度学习模型等方法^[18-19]。

3.1 逻辑回归(logistic regression, LR)

LR 是一种线性回归模型,适用于二分类变量结局的诊断模型或短期预后模型。LR 将数据拟成逻辑函数,将预测值转化为 0 到 1 之间,从而对某项事件的概率进行预测^[20]。有报道通过 LR 建模最后构建出可以预测突聋疗效的列线图^[21]。

3.2 Cox 比例风险回归模型(Cox regression model, Cox 模型)

Cox 回归模型又称为风险比例模型,是一种处理生存数据的经典半参数方法,适用于事件与时间相关的长期预后的预测。Cox 回归模型可以根据比率进行风险率的比较,从而达到更深层次的分析 and 预测生存率的目的。Cox 回归模型多用于预测某项危险因素导致突聋患病风险的研究^[22]。也有文献报道使用多元 Cox 模型预测突聋预后的研究^[23]。

3.3 随机森林(random forest, RF)

RF 是一种基于树结构且由多棵决策树构成的

集成算法,通过综合多个决策树的决策结果做出最终的预测,只有半数以上的决策树预测错误,才会导致 RF 预测错误,因此该算法具有稳定性高、不易受异常值干扰等特点,此外,通过 RF 算法还可以缩减建模时的特征变量,选择对结果影响较大的变量进行建模^[24]。Chang 等^[25]纳入 380 例神经性耳聋患者的 555 只耳进行研究,收集了性别、年龄、患耳侧、听力损失病因、言语识别率以及每个纯音听阈的频率等变量,根据医生诊断的听力损失原因将患者分为六种类型,最后用 RF 等 ML 方法建模预测与引起听力下降的具体耳蜗坏死区域的位置。

3.4 最近邻算法(k-nearest neighbor, KNN)

KNN 算法的基本思想是基于在特征空间中,某一个样本点的附近 K 个距离最近样本点中的大多数所属的类别是相同的,则这个样本点同属于该类别。与其他算法相比,KNN 算法的思想相对简单,其对数据没有假设,因此准确度较高且对异常点不敏感。除此之外 KNN 算法既适用于回归问题,也适用于分类问题,对于未知分布的数据集和非正态分布的数据集,KNN 算法都能准确分类^[26]。

3.5 朴素贝叶斯(naive Bayes, NB)

NB 算法是以贝叶斯定理为基础并且假设特征之间相互独立的一种算法,尽管特征之间通常并非独立的,但模型很容易拟合,因此 NB 仍然能够获得良好的预测效果,同时在医学领域也被广泛使用^[27]。然而 NB 算法也有局限性,NB 算法的独立性假设可能会在特征变量之间存在强关联性时限制其预测能力。

3.6 支持向量机(support vector machine, SVM)

SVM 是一种广义线性分类器,其通过监督学习的方式对数据进行二元分类,并且通过可视化的方式分割超平面的样本,使样本区间达到最大化,最终转化为二次寻优。SVM 既可以对有限的样本求得最优值,也可以对无限的样本力求最优值^[28]。但 SVM 也存在一些弊端,当样本量很大时 SVM 内部计算量也会相应增加。其次选择合适的核函数需要调试很多参数,这在实践中可能费时费力。总之尽管 SVM 易于使用,但模型的精确度和适应性相对较低^[29]。SVM 已被用于探索医学领域的预测模型。有报道^[30]使用 SVM 分析突发性聋患者大脑的影像学改变,以探究大脑区域标志物是否可以作为预测突发性聋的指标。

3.7 多层感知器(multilayer perception, MLP)

MLP 的基础理论源于单层感知器。单层感受器是神经网络中最简单的形式,其由直接相连的输

入节点和输出节点组成。单层感受器外部输入数据后首先对数据进行加权处理,并与事前设置好的阈值进行比较^[31]。若处理结果 \geq 阈值,则结果记为 +1,表示该对象属于一类。如果处理结果 $<$ 阈值,则结果记为 -1,表示该对象属于另一类^[32]。MLP 是单层感知器的推广,但又并非多个单层感受器的直接叠加,而是增加了隐含层,在隐含层内每一个输入的信号都会生成一个特有的输出映射^[33]。

3.8 深度学习模型(deep learning, DL)

DL 是 ML 领域中一个新的研究方向,它被引入机器学习使其更接近于最初的目标—人工智能。DL 的概念源于人工神经网络的研究,含多个隐藏层的多层感知器就是一种 DL 结构,它通过组合低层特征形成更加抽象的高层表示属性类别或特征,以发现数据的分布式特征表示^[34]。DL 的动机在于建立模拟人脑进行分析学习的神经网络,模仿人脑的机制来解释数据,例如图像、声音和文本等,典型的 DL 模型有卷积神经网络(convolutional neural network, CNN)、深度信念网络(deep belief network, DBN)和堆栈自编码网络(stacked auto-encoder network, SAE)模型等^[35],深度学习在耳科学中的应用主要涉及计算机视觉,包括图像分类、目标检测及图像分割技术,实现目标的两分类或多分类、器官定位或病变识别、器官和子结构分割^[36]。Kim 等^[37]的研究表明 DL 可用于评估突发性感音神经性听力损失患者是否存在血液迷路屏障渗漏,并在治疗后早期提供预后价值。

4 ML 预测模型的评价

一旦 ML 模型建成,需要对 ML 性能进行相应评价以便于更好地推广和应用。ML 模型的评价包括内部验证和外部验证^[38]。在模型评估过程中,原始数据会被随机拆分为训练集、测试集及验证集,训练集用于拟合模型;测试集用于内部验证,主要用于评估模型性能;而验证集则用于外部验证,可进行模型调参。但是大多数情况下 ML 模型随机拆分为训练集与验证集,需要重新纳入新的数据进行外部验证,外部验证与内部验证的数据需在发生时间或地点等方面不重叠。不管是内部还是外部验证,均需要一定的模型性能评估指标来进行评价。常用的评价指标有^[39]:混淆矩阵、精确率、召回率、F1 评分、准确率、敏感性、特异性及 ROC 曲线及 AUC 值等。

5 ML 预测模型的呈现

ML 模型的最终目标是应用于临床、服务于医

疗,因此 ML 需要以适合医生和患者需求的形式呈现。目前 ML 相关研究中列线图是最常见的呈现形式,对于比较复杂的模型可采用网页计算器、手机软件(Application, APP)等多种形式^[40]。例如一个常用的网页计算器网站是 <https://www.shinyapps.io/>,其具体操作流程包括在平台上注册,导入 R 语言包中的模型代码,并最终生成可供公众通过网络使用的网页计算器^[41]。

在信息化的现代社会,互联网是患者获取健康信息的首选媒介。如果有了相关的预测疾病的互联网评价工具,患者可通过搜索引擎、短视频、公众号等了解到有关突发性聋的知识,从而更好了解自身病情。与此同时,医疗服务人员可利用各种在线平台,如在线学习模板、公众号、网页计算器等途径向患者传递准确的突发性聋知识,帮助患者制定个性化治疗方案或预测疗效。Simani 等^[42]报道 1 项关于评价突发性聋网络信息质量的横断面描述性研究。该研究通过谷歌搜索引擎在线搜索 10 个常见患者教育网站,并通过一系列患者教育评估工具进行评估,结果发现通过互联网进行患者教育的资源质量参差不齐,但大多数都能满足患者的理解力水平。同时研究还指出需要更全面、更易于理解的信息来提高患者对自身病情的认识。Deutsch 等^[40]通过 ML 的方法建立了头颈部肿瘤患者放化疗后患突发性聋概率的预测模型,并以列线图的形式呈现。研究邀请医生体验并进行访谈,医生们建议可以将预测模型的列线图加入到患者咨询中,帮助患者在治疗前明确治疗的利弊。但目前国内外关于突发性聋预测模型的网页计算器未见报道,因此突发性聋预测模型的呈现模型仍值得进一步探究。

6 ML 在突聋中的应用

目前国内外关于运用 ML 对突发性聋的诊断及疗效的预测并不多。Park 等^[43]运用自适性增强、KNN、MLP、RF 及 SVM 等 ML 方法对 523 例突聋患者进行预后预测,结果发现发现 SVM 模型的准确率最高(75.36%)。但该研究未对模型内部进行解释,也未进行外部验证。Uhm 等^[44]回顾性分析了 244 例突聋患者鼓室内和全身类固醇联合治疗的医疗数据,研究纳入 35 个变量来预测听力恢复情况,并比较了传统的逻辑回归模型和机器学习模型的优劣,认为机器学习在突聋治疗后听力恢复的预测能力优于传统的逻辑回归,但该研究纳入的总体样本量较小,可能缺乏代表性。2022 年 Lee^[45]等利用 LR、SVM 及 MLP 等 ML 方法对 453 例突聋

患者预后进行预测,发现听力下降类型对突聋预后影响最大,同时该研究团队使用了一种机器学习可解释工具对模型进行解释,最终成功构建了 ML 预测突聋预后的模型。尽管该模型使用了多种 ML 方法建模,并对其模型内部结果进行了相关解释,但由于纳入数据较少、仅使用了单中心数据,且未对模型进行外部验证,因此模型的泛化性有待进一步研究证实。冰丹等^[46]回顾性分析了千余例突聋患者的临床特征、听力学资料及血清学数据,从中提取出 228 个变量,运用 DBN 构建一种临床预测模型用于预判突发性聋患者的预后有效率。同时,研究还探索了不同的疗效判定标准对 DBN 预测情况的影响。研究结果表明,二分类结局的各项预测性能均优于以四分类结局。该研究初步显示 DBN 在处理变量特征分类较多的数据集时的良好预测能力。汪志伟等^[47]使用 CART 分类回归树和 TreeNet 算法建立突聋筛选和识别模型。研究纳入 1 218 例突发性聋患者作为实验组,95 861 例健康人作为对照组。研究认为突聋的高患病率与嗜酸性粒细胞、网织红细胞和纤维蛋白原有关。嗜酸性粒细胞是鉴别突发性感音神经性耳聋的第一个重要指标。但根据 2019 年指南,目前强烈反对对突发性聋患者进行实验室检查,因为没有足够证据表明实验室检查对于突发性聋的诊治明显利大于弊,因此需要更进一步结合临床实践进行。

7 总结

突聋是一种常见的耳科急症,该病的发病机制仍有争议。根据不同的基本机制,其治疗也存在多种方案。使用 ML 方法建立临床预测模型可以通过 ML 对以往的大数据进行学习分析,并从中挖掘出该数据集特有的规律,建立的模型不仅可以对突聋患者预后的有效率进行比较准确的预测,同时可以根据以往数据的经验选择出对患者最有利的治疗方案。随着人类科学文明的持续演进,医学模式历经了从传统的经验医学到循证医学,再到精准医学的深刻转变。在这一过程中,临床相关医学数据的价值日益凸显,成为医学研究和实践不可或缺的部分。未来,医患关系的模式亦将逐渐从指导配合型向共同决策型转变,这标志着患者在医疗决策中扮演更加积极的角色。因此,ML 技术将在这一进程中发挥愈发重要的作用,成为推动医学进步和提升医疗服务质量的关键力量。

参考文献:

[1] Chandrasekhar SS, Tsai Do BS, Schwartz SR, et al.

- Clinical practice guideline: sudden hearing loss (update) [J]. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 2019, 161(1_suppl): S1-S45. doi:10.1177/0194599819859885
- [2] Kim SY, Min CY, Lee CH, et al. Bidirectional relation between depression and sudden sensorineural hearing loss: two longitudinal follow-up studies using a national sample cohort [J]. *Sci Rep*, 2020, 10(1): 1482. doi:10.1038/s41598-020-58547-w
- [3] Chandrasekhar SS, Tsai Do BS, Schwartz SR, et al. Clinical Practice Guideline: Sudden Hearing Loss (Update) [J]. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 2019, 161(1_suppl): S1-S45. doi:10.1177/0194599819859885
- [4] Chow N, Gallo L, Busse JW. Evidence-based medicine and precision medicine: complementary approaches to clinical decision-making [J]. *Precis Clin Med*, 2018, 1(2): 60-64. doi:10.1093/pccmedi/pby009
- [5] Sajjadian M, Lam RW, Milev R, et al. Machine learning in the prediction of depression treatment outcomes: a systematic review and meta-analysis [J]. *Psychol Med*, 2021, 51(16): 2742-2751. doi:10.1017/S0033291721003871
- [6] Velde HM, Rademaker MM, Damen J, et al. Prediction models for clinical outcome after cochlear implantation: a systematic review [J]. *J Clin Epidemiol*, 2021, 137: 182-194. doi:10.1016/j.jclinepi.2021.04.005
- [7] 夏静. 基于有限数据的临床预测模型研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2019.
- [8] 郑帅, 黄韬, 杨瑞, 等. 多变量选择方法在临床预测模型中的验证: 基于 MIMIC 数据库 [J]. *中国循证医学杂志*, 2021, 21(12): 1463-1467. doi:10.7507/1672-2531.202107175
- ZHENG Shuai, HUANG Tao, YANG Rui, et al. Validation of multivariate selection method in clinical prediction models: based on MIMIC database [J]. *Chinese Journal of Evidence-Based Medicine*, 2021, 21(12): 1463-1467. doi:10.7507/1672-2531.202107175
- [9] Adams ST, Leveson SH. Clinical prediction rules [J]. *BMJ*, 2012, 344: d8312. doi:10.1136/bmj.d8312
- [10] Aho K, Derryberry D, Peterson T. Model selection for ecologists: the worldviews of AIC and BIC [J]. *Ecology*, 2014, 95(3): 631-636. doi:10.1890/13-1452.1
- [11] Ahmed N, Abbasi MS, Zuberi F, et al. Artificial intelligence techniques: analysis, application, and outcome in dentistry—a systematic review [J]. *Biomed Res Int*, 2021, 2021: 9751564. doi:10.1155/2021/9751564
- [12] Cho Y, Kim J, Oh SJ, et al. Clinical features and prognosis of severe-to-profound sudden sensorineural hearing loss [J]. *Am J Otolaryngol*, 2022, 43(3): 103455. doi:10.1016/j.amjoto.2022.103455
- [13] 郑重, 沈颖, 夏俚, 等. 全频型突发性聋的疗效影响因素分析 [J]. *中华耳科学杂志*, 2020, 18(1): 74-79. doi:10.3969/j.issn.1672-2922.2020.01.013
- ZHENG Zhong, SHEN Ying, XIA Liang, et al. Analysis of factors affecting treatment outcomes in all frequency sudden sensorineural hearing loss [J]. *Chinese Journal of Otolaryngology*, 2020, 18(1): 74-79. doi:10.3969/j.issn.1672-2922.2020.01.013
- [14] Lam M, Bao YY, Hua GB, et al. Sudden sensorineural hearing loss and metabolic syndrome: a systematic review and meta-analysis [J]. *Otol Neurotol*, 2021, 42(9): 1308-1313. doi:10.1097/MAO.0000000000003302
- [15] 杨峻豪, 高敏琦, 张秋静. 肾功能不全患者突发性耳聋的诊疗进展 [J]. *中华耳科学杂志*, 2022, 20(3): 471-475. doi:10.3969/j.issn.1672-2922.2022.03.019
- YANG Junhao, GAO Minqi, ZHANG Qiujing. Progress in diagnosis and treatment of sudden sensorineural hearing loss in patients with renal insufficiency [J]. *Chinese Journal of Otolaryngology*, 2022, 20(3): 471-475. doi:10.3969/j.issn.1672-2922.2022.03.019
- [16] Ha SM, Hwang KR, Park IH, et al. Circulating microRNAs as potentially new diagnostic biomarkers of idiopathic sudden sensorineural hearing loss [J]. *Acta Otolaryngol*, 2020, 140(12): 1013-1020. doi:10.1080/00016489.2020.1810859
- [17] Troiano G, Nibali L, Petsos H, et al. Development and international validation of logistic regression and machine-learning models for the prediction of 10-year molar loss [J]. *J Clin Periodontol*, 2023, 50(3): 348-357. doi:10.1111/jcpe.13739
- [18] Zhao Y, Zhang RS, Zhong Y, et al. Statistical analysis and machine learning prediction of disease outcomes for COVID-19 and pneumonia patients [J]. *Front Cell Infect Microbiol*, 2022, 12: 838749. doi:10.3389/fcimb.2022.838749
- [19] Cervantes J, Garcia-Lamont F, Rodríguez-Mazahua L, et al. A comprehensive survey on support vector machine classification: applications, challenges and trends [J]. *Neurocomputing*, 2020, 408: 189-215. doi:10.1016/j.neucom.2019.10.118
- [20] 崔静静, 胡泽文, 任萍. 基于决策树和逻辑回归模型的人工智能领域潜在“精品”论文识别研究 [J]. *情报科学*, 2022, 40(5): 90-96. doi:10.13833/j.issn.1007-7634.2022.05.012
- CUI Jingjing, HU Zewen, REN Ping. Identification of “hidden treasures” among massive literature from artificial intelligence field based on decision tree and logistic regression [J]. *Information Science*, 2022, 40(5): 90-96. doi:10.13833/j.issn.1007-7634.2022.05.012
- [21] Yu XH, Wang T, Huang SP, et al. How can gene-expression information improve prognostic prediction in TCGA cancers: an empirical comparison study on regu-

- larization and mixed cox models [J]. *Front Genet*, 2020, 11: 920. doi:10.3389/fgene.2020.00920
- [22] Yeo CD, Yeom SW, You YS, et al. Association of sudden sensorineural hearing loss with increased risk of insomnia: a nationwide population-based cohort study [J]. *J Clin Sleep Med*, 2022, 18(5): 1335-1342. doi: 10.5664/jcsm.9864
- [23] Lin SC, Lin MY, Kang BH, et al. Artificial neural network-assisted classification of hearing prognosis of sudden sensorineural hearing loss with Vertigo [J]. *IEEE J Transl Eng Health Med*, 2023, 11: 170-181. doi: 10.1109/JTEHM.2023.3242339
- [24] Doubleday K, Zhou J, Zhou H, et al. Risk controlled decision trees and random forests for precision Medicine [J]. *Stat Med*, 2022, 41(4): 719-735. doi: 10.1002/sim.9253
- [25] Chang YS, Park H, Hong SH, et al. Predicting cochlear dead regions in patients with hearing loss through a machine learning-based approach: a preliminary study [J]. *PLoS One*, 2019, 14(6): e0217790. doi: 10.1371/journal.pone.0217790
- [26] Miron M, Moldovanu S, tef nescu BI, et al. A new approach in detectability of microcalcifications in the placenta during pregnancy using textural features and K-nearest neighbors algorithm [J]. *J Imaging*, 2022, 8(3): 81. doi: 10.3390/jimaging8030081
- [27] Hohmann E. Editorial commentary: big data and machine learning in medicine [J]. *Arthroscopy*, 2022, 38(3): 848-849. doi: 10.1016/j.arthro.2021.10.008
- [28] 黄英辉, 李立奇, 罗万春. 支持向量机在临床疾病诊断中的应用 [J]. *数学的实践与认识*, 2008, 38(23): 101-103.
 HUANG Yinghui, LI Liqi, LUO Wanchun. The use of SVM in the clinical disease diagnosis [J]. *Mathematics in Practice and Theory*, 2008, 38(23): 101-103.
- [29] Rodríguez-Pérez R, Bajorath J. Evolution of support vector machine and regression modeling in chemoinformatics and drug discovery [J]. *J Comput Aided Mol Des*, 2022, 36(5): 355-362. doi: 10.1007/s10822-022-00442-9
- [30] Liu L, Fan J, Zhan H, et al. Abnormal regional signal in the left cerebellum as a potential neuroimaging biomarker of sudden sensorineural hearing loss [J]. *Front Psychiatry*, 2022, 13: 967391. doi: 10.3389/fpsy.2022.967391
- [31] Mac A, Xu T, Wu JKY, et al. Deep learning using multilayer perception improves the diagnostic acumen of spirometry: a single-centre Canadian study [J]. *BMJ Open Respir Res*, 2022, 9(1): e001396. doi: 10.1136/bmjresp-2022-001396
- [32] Basheer IA, Hajmeer M. Artificial neural networks: fundamentals, computing, design, and application [J]. *J Microbiol Methods*, 2000, 43(1): 3-31. doi: 10.1016/s0167-7012(00)00201-3
- [34] Krizhevsky A, Sutskever I, Hinton GE. ImageNet classification with deep convolutional neural networks [J]. *Commun ACM*, 2017, 60(6): 84-90. doi: 10.1145/3065386
- [35] Esteva A, Robicquet A, Ramsundar B, et al. A guide to deep learning in healthcare [J]. *Nat Med*, 2019, 25(1): 24-29. doi: 10.1038/s41591-018-0316-z
- [36] 扈晓君, 杨宝栋. 基于深度学习的医学图像分析综述 [J]. *电子技术与软件工程*, 2021(18): 137-138.
 HU Xiaojun, YANG Baodong. Summary of medical image analysis based on deep learning [J]. *Electronic Technology & Software Engineering*, 2021(18): 137-138.
- [37] Kim M, Lee HJ, Lee S, Lee J, Kang Y. Three-dimensional heavily T2-weighted FLAIR in the detection of blood-labyrinthine barrier leakage in patients with sudden sensorineural hearing loss: comparison with T1 sequences and application of deep learning-based reconstruction [J]. *Eur Radiol*, 2024. doi: 10.1007/s00330-023-10580-9
- [38] Austin PC, Tu JV. Bootstrap methods for developing predictive models [J]. *Am Stat*, 2004, 58(2): 131-137. doi: 10.1198/0003130043277
- [39] Verhaeghe J, Dhaese SAM, De Corte T, et al. Development and evaluation of uncertainty quantifying machine learning models to predict piperacillin plasma concentrations in critically ill patients [J]. *BMC Med Inform Decis Mak*, 2022, 22(1): 224. doi: 10.1186/s12911-022-01970-y
- [40] Deutsch BC, Collopy C, Kallogjeri D, et al. Validation of hearing loss prediction tool for cisplatin chemotherapy and radiation in head and neck cancer treatment [J]. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg*, 2021, 147(2): 182-189. doi: 10.1001/jamaoto.2020.4620
- [41] Gittleman H, Sloan AE, Barnholtz-Sloan JS. An independently validated survival nomogram for lower-grade glioma [J]. *Neuro Oncol*, 2020, 22(5): 665-674. doi: 10.1093/neuonc/noz191
- [42] Simani L, Oron Y, Handzel O, et al. Evaluation of the quality of online information on sudden sensorineural hearing loss [J]. *Otol Neurotol*, 2022, 43(2): 159-164. doi: 10.1097/MAO.0000000000003424
- [43] Park KV, Oh KH, Jeong YJ, et al. Machine learning models for predicting hearing prognosis in unilateral idiopathic sudden sensorineural hearing loss [J]. *Clin Exp Otorhinolaryngol*, 2020, 13(2): 148-156. doi: 10.21053/ceo.2019.01858

- [44] Uhm T, Lee JE, Yi S, et al. Predicting hearing recovery following treatment of idiopathic sudden sensorineural hearing loss with machine learning models [J]. *Am J Otolaryngol*, 2021, 42(2): 102858. doi:10.1016/j.amjoto.2020.102858
- [45] Lee MK, Jeon ET, Baek N, et al. Prediction of hearing recovery in unilateral sudden sensorineural hearing loss using artificial intelligence[J]. *Sci Rep*, 2022, 12(1): 3977. doi: 10.1038/s41598-022-07881-2
- [46] Bing D, Ying J, Miao J, et al. Predicting the hearing outcome in sudden sensorineural hearing loss via machine learning models [J]. *Clin Otolaryngol*, 2018, 32(15): 1125-1129. doi:10.13201/j.issn.1001-1781.2018.15.001
- [47] 汪志伟, 陆月文, 窦晓辉, 等. 基于人工智能下突发性聋与血清指标的相关因素分析[J]. *临床耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2020, 34(11): 977-980. doi:10.13201/j.issn.2096-7993.2020.11.004
- WANG Zhiwei, LU Yuewen, DOU Xiaohui, et al. Analysis of related factors between sudden sensorineural hearing loss and serum indices base on artificial intelligence and big data[J]. *Journal of Clinical Otorhinolaryngology Head and Neck Surgery*, 2020, 34(11): 977-980. doi:10.13201/j.issn.2096-7993.2020.11.004
- (编辑:李纬)
-
- (上接第 144)
- [21] Tarabichi O, Kozin ED, Kanumuri VV, et al. Diffusion tensor imaging of central auditory pathways in patients with sensorineural hearing loss: a systematic review[J]. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 2018, 158(3): 432-442. doi:10.1177/0194599817739838
- [22] Zhang Y, Zhang Z, Jia X, et al. Imaging parameters of the ipsilateral medial geniculate body may predict prognosis of patients with idiopathic unilateral sudden sensorineural hearing loss on the basis of diffusion spectrum imaging[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2021, 42(1): 152-159. doi:10.3174/ajnr.A6874
- [23] Shang YY, Hinkley LB, Cai C, et al. Functional and structural brain plasticity in adult onset single-sided deafness[J]. *Front Hum Neurosci*, 2018, 12: 474. doi:10.3389/fnhum.2018.00474
- [24] Langers DRM, van Dijk P, Backes WH. Lateralization, connectivity and plasticity in the human central auditory system[J]. *NeuroImage*, 2005, 28(2): 490-499. doi: 10.1016/j.neuroimage.2005.06.024
- [25] Kim HN, Kim YH, Park IY, et al. Variability of the surgical anatomy of the neurovascular complex of the cerebellopontine angle[J]. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 1990, 99(4 Pt 1): 288-296. doi:10.1177/000348949009900408
- [26] Kazawa N, Togashi K, Ito J. The anatomical classification of AICA/PICA branching and configurations in the cerebellopontine angle area on 3D-drive thin slice T2WI MRI[J]. *Clin Imaging*, 2013, 37(5): 865-870. doi:10.1016/j.clinimag.2011.11.021
- [27] Ezerarslan H, Sanhal EO, Kurukahvecioğlu S, et al. Presence of vascular loops entering internal acoustic channel may increase risk of Sudden sensorineural hearing loss and reduce recovery of these patients[J]. *Laryngoscope*, 2017, 127(1): 210-215. doi: 10.1002/lary.26054
- (编辑:王磊)