数字中医中药

DOI:10.13193/j.issn.1673-7717.2025.10.003

基于“互联网+中医药”的人工体外胰腺设备构建研究

幸享玲[1],王烨曼[1],陈璐瑶[1],张亚飞[1],杨欣宇[2],朱垚[1],陆明[1]
(1.南京中医药大学第一临床医学院,江苏 南京 210029;2.南京中医药大学护理学院,江苏 南京 210023)

摘要:随着糖尿病成为一项全球性的健康问题,传统的管理方法在个体化治疗和持续监测方面面临挑战。研究在梳理目前人工体外胰腺设备所用的自动胰岛素输注系统的基础上,提出结合人工智能(artificial intelligence,AI)舌诊及体质辨识系统、个性化中医药干预系统构建基于“互联网+中医药”的人工体外胰腺设备,着力于通过结合先进的技术和中医药理论,实现精准的血糖控制,并为糖尿病患者提供个性化中医药干预建议。该设备将目前已有的混合闭环胰岛素输注系统为基础,按照图像数据获取、图像预处理、图像分割、中医诊疗算法集成、预判模型训练等流程,构建AI舌诊及体质辨识系统和个性化中医药干预系统,实现设备下的三系统联动,期望为构建具有中医药特色的人工体外胰腺设备提供思路,进一步促进中医药智能化的应用与发展。

关键词:人工智能;体外胰腺设备;中医药干预;糖尿病;舌诊;体质辨识
中图分类号:R2-03 **文献标志码**:A **文章编号**:1673-7717(2025)10-0015-05

Research on Construction of Artificial Extracorporeal Pancreas Device Based on “Internet + Traditional Chinese Medicine”

XING Xiangling[1],WANG Yeman[1],CHEN Luyao[1],ZHANG Yafei[1],YANG Xinyu[2],ZHU Yao[1],LU Ming[1]
(1. The First Clinical Medical College of Nanjing University of Chinese Medicine,Nanjing 210029,Jiangsu,China;
2. School of Nursing,Nanjing University of Chinese Medicine,Nanjing 210023,Jiangsu,China)

Abstract:As diabetes mellitus has become a global health problem,traditional management methods face challenges in individualised treatment and continuous monitoring. In this study,on the basis of the automatic insulin infusion system used in the current artificial extracorporeal pancreas device,it proposes to construct an artificial extracorporeal pancreas device based on “Internet + traditional Chinese medicine” by combining the AI tongue diagnosis and constitution recognition system and personalised traditional Chinese medicine(TCM) intervention system,and it focuses on the combination of advanced technology and TCM theory to achieve accurate glucose control and provide personalised TCM intervention suggestions for diabetic patients. Based on the existing hybrid closed-loop insulin infusion system,the device will construct an AI tongue diagnosis and constitution recognition system and a personalised TCM intervention system in accordance with the processes of image data acquisition,image pre-processing,image segmentation,TCM diagnosis and treatment algorithm integration,and prognostic model training,so as to realize the linkage of the three systems under the device. This study is expected to provide ideas for the construction of artificial extracorporeal pancreatic devices with traditional Chinese medicine characteristics,and further promote the application and development of intelligent Chinese medicine.

Keywords:artificial intelligence;extracorporeal pancreatic device;traditional Chinese medicine intervention;diabetes mellitus;tongue diagnosis;body mass identification

中国是全球糖尿病第一大国,其患病率、病死率和疾病负担呈逐年上升趋势。为了更好地管理糖尿病患者,迫切需要一种创新的解决方案,基于“互联网+中医药”的人工体外胰腺设备的提出就是为了满足这一需求。

目前,自动胰岛素输注(automated insulin delivery,AID)疗法可增加糖尿病患者目标血糖范围的控制时间[1],但尚无明确数据支持早期强化治疗对β细胞保存的益处[2]。近年来,中医药在糖尿病治疗中的作用逐渐得到认可,研究发现中药单体可以增加胰岛素的合成和分泌,减少β细胞凋亡,保护β细胞的功能[3-5]。因此,基于“互联网+中医药”,在自动胰岛素输注系统的基础上融合人工智能(artificial intelligence,AI)舌诊及体质辨识系统以及包含多方式的个性化中医药干预系统,力求在糖尿病患者达到目标血糖的前提下,减少胰岛素输注

基金项目:中华人民共和国文化和旅游部国家级非物质文化遗产代表性项目(205IX-2);江苏省卫生健康委员会国医大师周仲瑛甲状腺疾病辨治规律挖掘及临床决策支持系统构建与应用项目(Z2020024);江苏省六大人才高峰项目(RJFW-40);江苏省“333高层次人才培养工程”项目(2018III-0121);江苏省科技型企业技术创新资金项目(BC2015022);南京市非物质文化遗产代表性项目(NJVIII-20);南京市浦口区非物质文化遗产代表性项目(PKIX-4)
作者简介:幸享玲(1998-),女,四川自贡人,硕士,研究方向:中医内科内分泌学。
通讯作者:朱垚(1979-),男,江苏南京人,副教授,博士,研究方向:国医大师周仲瑛学术思想传承,中医内科急难症辨治,中医大数据信息处理。E-mail:zhongyiyaochuanren@126.com。

量、保留β细胞的功能，从整体上调节患者自身状态尤为重要。本创新方案通过结合先进的技术和中医药理论，旨在实现精准的血糖控制，并为糖尿病患者提供个性化的中医药干预建议，从而提高病患的生活质量。

1 相关现状讨论

1.1 自动胰岛素输注系统的发展

自动胰岛素输注系统是目前领先的糖尿病治疗技术，在最新颁布的2024版美国糖尿病协会(American Diabetes Association，ADA)《糖尿病医学诊疗标准》中，被推荐为所有成人1型糖尿病患者均应考虑的治疗手段[6]。目前获美国食品药品监督管理局(Food and Drug Administration，FDA)批准的AID系统来自美敦力、Tandem、Insulet三大公司。这些系统的不断进步为人工体外胰腺设备的发展提供了技术基础。

1.1.1 Medtronic Diabetes 美敦力公司所研发的混合闭环胰岛素输注系统目前已推出MiniMed 670G、MiniMed 770G、MiniMed 780G。MiniMed 670G于2016年获得FDA批准[7]，是全球首个能自动检测血糖并调节Ins给药的混合闭环系统。该系统使用MiniMed 670G胰岛素泵、美敦力Guardian Sensor 3血糖监测仪和嵌入胰岛素泵的SmartGuard算法[8-9]。系统包括手动和自动两种模式[7]：手动模式允许泵像传统的胰岛素泵一样运行，但当与传感器配对时，则可增加预测低葡萄糖暂停(predicted low glucose suspension，PLGS)功能。自动模式包括基于前2~6 d的每日总剂量和当前传感器的葡萄糖值，使用改进的比例-积分-导数(proportional-integral-derivative，PID)算法全自动输送基础胰岛素[10]。在美国，770G提供与670G相同的算法和传感器，胰岛素泵使用的是改进后的780G泵设备，该设备具有蓝牙连接功能和接收软件更新功能[11]。780G也称为高级混合闭环(advanced hybrid closed coop，AHCL)，是670G的升级版，增加了蓝牙连接、远程软件更新和自动提供校正推注的功能[9]。

1.1.2 Tandem Diabetes Care Tandem Control-IQ系统于2019年获得FDA批准[12]。该系统使用Tandem t:slim X2胰岛素泵和Dexcom G6持续葡萄糖监测(continuous glucose monitoring，CGM)。Control-IQ算法可提前30 min预测血糖，并相应地改变胰岛素的给药量，并且还允许在夜间设定额外的目标值[12]。获得FDA批准的临床试验显示，血糖在范围内(尤其是夜间)的时间较前增加，高血糖时间较前减少，但发生低血糖的情况并没有增加[13]。

1.1.3 Insulet Corporation Insulet公司的Omnipod 5系统于2022年获得FDA批准并获得欧洲合格评定(European Conformity，CE)认证，适用于2岁及以上的1型糖尿病患者[14]。该系统由一个无管胰岛素泵、一个用于操作胰岛素泵的无线手持设备和Dexcom G6 CGM组成[7]。与大多数AID系统不同，Omnipod 5没有连接输液部位的管道。系统每5 min提供一次胰岛素微量注射，要求用户在进餐时提供胰岛素注射[7]。近来一项研究表明：Omnipod 5自动胰岛素输送系统在成人2型糖尿病中也具有安全性和有效性[15]。

1.2 中医药在糖尿病管理中的作用

近年来，中医药在糖尿病管理中的作用逐渐受到重视。基于这一认识，将中医药与现代技术相结合，成为探索糖尿病管理新途径的一个重要方向。

1.2.1 舌诊信息的集成与处理 在中医理论中，舌诊是一种重要的诊断方法。五脏之脉皆络于舌，赖气血津液上输濡养，通过舌诊可以直接观察到病变所属脏腑的虚实、气血的盈亏、病邪的性质及浅深。现代研究[16-18]表明，体质与舌象表现密切相关。另一方面，近年来对于舌诊信息预测疾病发展、变化的研究已有一定进展。屈德春等[19]通过对21例结直肠癌患者舌苔样本、癌组织及癌旁组织样本以及6例健康人的舌苔样本行高通量5R 16S rDNA测序分析，得出结直肠癌患者黄腻苔和白腻苔的舌象特征主要体现湿热蕴结和脾虚湿盛证，主要出现在结肠癌早中期。目前根据舌诊信息反映血糖变化相关研究亦有一定进展[20-21]：陈清光等[22]研究发现不同糖代谢状态人群(糖代谢正常人群、2型糖尿病患者、糖尿病前期人群)的舌象表现存在显著差异，主要体现在以舌质颜色、舌苔颜色为代表的舌象客观化指标上；杨睿博等[23]通过舌象特征量化(专家程度赋值、RGB色彩模型)发现不同病程2型糖尿病(type 2 diabetes mellitus，T2DM)患者舌神、紫黯舌、瘀斑舌等舌象特征与实验室指标之间的相关性，进一步为舌诊信息能够反映血糖变化提供理论依据。综上，舌诊信息在体质辨识以及反映糖代谢状态方面具有参考价值。

1.2.2 “互联网+中医药”在糖尿病管理中的意义 国家中医药管理局《关于推进中医药健康服务与互联网融合发展的指导意见》指出：“鼓励发展中医养生保健互联网服务，让‘互联网+中医药’在中医养生保健、健康管理、中医特色康复和健康养老等方面发挥重要作用。”中药干预、健身功法训练以及合理饮食是糖尿病管理的重要手段。近年来，中医药在防治糖尿病方面取得了显著成果[24-25]。中医强调整体观念、辨证施治，能根据患者的体质、病情和病因进行个性化治疗。研究显示，中医药的有效干预不仅可以控制血糖水平[25]，还能预防和治疗糖尿病的并发症[26-27]。鉴于此，设计一个综合系统，结合糖尿病患者的具体情况，为其提供中药汤剂、健身功法和营养膳食的推荐，能够帮助糖尿病患者更好地管理病情，提高生活质量。同时，智能手机等移动设备得以迅速普及，成为面向大众提供知识服务的一种有效手段，在中医药干预和养生领域，已经涌现了很多安全且使用便捷的优秀APP产品，但基于互联网的中医药干预糖尿病产业尚未成熟，建立一个基于“互联网+中医药”的糖尿病干预系统，能较好地为糖尿病患者在有现代仪器监测和治疗的基础上，推荐个性化中医药干预方案。

2 基于“互联网+中医药”的人工体外胰腺设备的研制方向

基于“互联网+中医药”的人工体外胰腺设备的构建坚持以中医药特色为主，具体以糖尿病患者通过自动胰岛素输注系统实现持续血糖监测和闭环胰岛素注射。另一方面，患者采集舌图，AI舌象及体质辨识系统将接收患者舌图信息，根据患者舌图信息进行体质辨识。个体化中医药干预系统接收患者实时血糖值、输注胰岛素量、舌象以及体质辨识信息，综合患者的基础信息和兴趣，基于中医诊疗算法和用户行为数据算法，进行相应的中药干预、健身功法以及合理膳食推荐(图1)。

3 人工体外胰腺设备的功能设计

为了实现人工体外胰腺设备的目标，需要构建混合闭环胰岛素输注系统、AI舌象及体质辨识系统和个性化中医药干预系统。以下是这三个系统的主要内容和相关关联关系。

3.1 混合闭环胰岛素输注系统

混合闭环胰岛素输注系统主要是通过人体佩戴的葡萄糖传感器对皮下组织间液的葡萄糖浓度趋势持续监测，根据接收的动态葡萄糖监测水平，混合闭环胰岛素泵可持续向糖尿病患

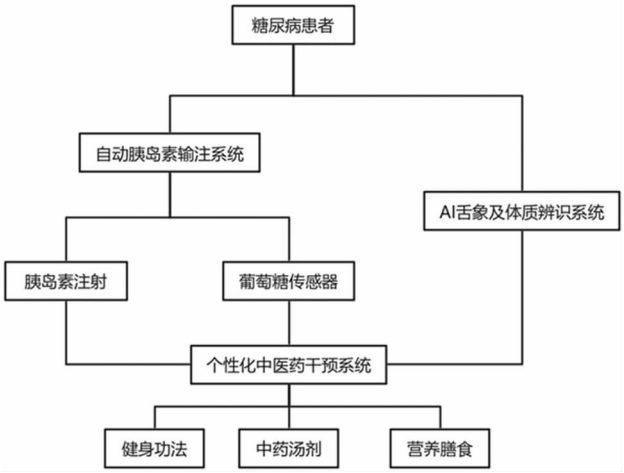


图1 基于“互联网+中医药”的人工体外胰腺设备研发构想

者体内输注胰岛素,通过安全防护技术,可根据持续葡萄糖监测情况自动调整基础率胰岛素的输注,确保全天候的血糖可控,便利糖尿病患者的生活。

3.2 AI舌象及体质辨识系统

AI舌象及体质辨识系统通过图像数据的获取、图像的预处理、图像分割、特征提取/选择和分类识别来实现糖尿病患者的体质辨识。图像数据的获取一般可从外部电子设备(手机、PAD等)中获取。图像的预处理则指对原始图像进行颜色校正、对比度调整、去噪等预处理以调整图像质量,便于后期的图像分析。图像分割是指从图像中准确地划分出待分析区域。特征提取/选择即为采用传统的机器学习方法或深度学习中的神经网络方法完成分割区域的特征编码。最后,根据编码得到的特征,可完成相关体质辨识的分类识别。

3.3 个性化中医药干预系统

个性化中医药干预系统是结合大数据人物特征刻画技术与传统中医整体观念思想,以舌象体质辨识算法为基础,结合脏腑间内在联系、疾病间内在联系,建立中医诊疗算法库;基于用户基础信息、用户使用习惯等建立行为数据算法库,进而推荐患者倾向的干预方案(包括中药汤剂、健身功法、合理饮食)。并不断进行机器深度学习,训练预判模型,形成个性化中医药干预指导系统。

4 人工智能在糖尿病管理中的关键技术

4.1 舌象自动化分割

舌象的自动化分割是整个系统中的一个重要环节,旨在准确地从舌部图像中提取出舌体的轮廓,以便后续的舌象特征提取和体质辨识。我们提出了一种融合超像素分割技术的舌象自动化分割方法。见插页Ⅰ图2。该方法以Unet为骨干网络,并引入ResNet的残差结构作为编码路径特征提取层。考虑到舌像背景的嘈杂性,我们发现传统的卷积神经网络对舌像边缘处理与舌像边缘贴合性存在一定的误差。因此,我们提出利用超像素分割进行优化,以提高分割的准确度。

4.2 舌象体质辨识

舌象体质辨识是根据患者的舌部图像来判断其体质类型的关键技术。我们设计了一种融合多尺度特征的中医舌象体质辨识方法。见插页Ⅰ图3。该方法通过设计通道注意力模块(channel attention mechanism,CAM)和空间注意力模块(spatial attention mechanism,SAM),分别计算舌象特征图的注意力信息。同时,我们还将电子病历的文本信息进行向量化编码,并融合到模型中,以进一步提高模型的预测精度。

4.3 个性化推荐算法

个性化中医药干预系统的核心在于如何根据患者的特征和需求,为其提供个性化的中医药干预方案。我们提出了一种结合大数据人物特征刻画技术与传统中医整体观念思想的个性化推荐算法。该算法首先建立了中医诊疗算法库和行为数据算法库,以脏腑集内关联算法和疾病集内关联算法为基础,为患者提供个性化的中医药干预方案。同时,该算法还利用人物特征刻画算法,根据患者的基础信息和兴趣,实现了基于用户基础信息和兴趣的个性化推荐。

4.3.1 基于中医整体观念思想的推荐 脏腑集内关联算法基于中医整体观念,创新性利用“五脏一体观”思想。中医认为人体是以五脏为中心,以六腑相配合,以气血精津液为物质基础,通过经络使脏与脏、脏与腑、腑与腑密切联系,外连五官九窍、四肢百骸,构成一个统一的有机整体,即“五脏之气,皆相贯通”(《侣山堂类辨》)之意。该算法认识体质的重要特点是从整体观、动态观来审视阴阳、脏腑与经络,并考虑到病机的动态转化。肝、心、脾、肺、肾五脏各具不同的生理功能和特有的病理变化。但脏腑之间不是孤立的,而是彼此密切联系着的,这种联系不仅表现在形态结构方面,它们在生理活动和病理变化上也有着必然的内在联系,因而形成了一种特定的脏腑关联规律。该算法基于这种脏腑关联规律,利用患者的舌象、体质等中医信息,结合其病史、症状等临床资料,为患者提供个性化的中医药干预方案。

4.3.2 基于疾病间联系的推荐 疾病集内关联算法是为预防和延缓用户疾病进一步发展而设计,不仅关注疾病本身,还注意到相关并发症及疾病发展趋势。该算法借鉴现代医学发展成果,主要兼顾了疾病的并发症和其发生发展的一般规律。比如从慢性支气管炎到慢性肺源性心脏病的发展,个人的体质因素也在其中起着重要的影响。也就是说,疾病以体质为主要影响因素之一,之间存在密切的内在联系。把握个体的体质及疾病一般发展规律对延缓和预防疾病进一步发展起着至关重要的作用。该算法基于疾病间的联系,利用患者的舌象、体质等中医信息,结合其病史、症状等临床资料,为患者提供个性化的中医药干预方案。

4.3.3 基于用户基础信息和兴趣的推荐 人物特征刻画算法可采集用户基础信息、浏览痕迹、停留时长等。该算法依据用户基础信息(感兴趣养生方向、基础疾病的选择等),强化标签推荐,以用户为核心,将用户具备的明确的人群特征(如疾病、家族史、年龄、性别、收入、地域等)作为统计数据,同时根据用户浏览痕迹、搜索关键词、停留时长等内容,将用户兴趣点标签化,计算内容标签相似度,选择相似度较高的其他内容进行关联推荐,内容为核心,提高对用户兴趣捕捉的稳定性。当用户浏览其他内容或更改兴趣标签时,各推荐标签出现的概率也随之发生改变,表现出明显的时效性,系统利用这些信息,结合时令特点,形成相关中医药干预方案推荐库。

5 总结与讨论

我国是糖尿病第一大国,糖尿病患者的管理需要长期、持续的血糖监测和控制。目前,以中医药理论为指导、互联网为依托、融入现代健康管理理念的中医药健康服务模式正在形成并快速发展,其将中医药在重大疾病治疗中的协同作用、在疾病康复中的核心作用得到充分发挥。基于此,本构想提出基于目前已有的混合闭环胰岛素输注系统,按照图像数据获取、图

像预处理、图像分割、中医诊疗算法库及行为数据算法库建立、预判模型训练等流程，构建 AI 舌象及体质辨识系统和个性化中医药干预系统，进而开发一种基于“互联网 + 中医药”的人工体外胰腺设备。AI 舌象及体质辨识系统主要涉及舌图处理、舌象自动化分割、舌象体质辨识等技术。在舌图处理方面，首先，利用团队开发的舌图快速采集 APP 采集大量糖尿病患者舌图，由于快速采集 APP 以手机作为载体，受到外界的干扰较大，利用团队前期研发的基于比色卡的深度色彩校正模型对原始舌图进行校正；之后，舌图进行分割和标注，利用图像特征工程方法提取舌图的颜色、纹理等特征，形成舌图特征集合。在临床数据方面，通过结构化处理、数据筛选、数据清洗等工作，形成相对规整的数据集，采用特征工程系列方法提取有效特征，并进行归一化处理，形成临床特征集合。在辅助决策方面，利用人工智能前沿的深度学习、表示学习、集成学习方法，设计舌图特征到体质特征之间的映射模型，探索舌图和体质分型之间的潜在关系，构建舌象到体质分型模型。个性化中医药干预系统主要包含脏腑集内关联算法、疾病集内关联算法，编写人物特征刻画算法，形成中医诊疗算法库、行为数据算法库，同时进行机器深度学习，训练预判模型算法。本构想提出的基于“互联网 + 中医药”的人工体外胰腺设备，是对现有糖尿病治疗方式的创新补充。通过集成混合闭环胰岛素输注系统、AI 舌象及体质辨识系统、个性化中医药干预系统，不仅能够实现精准的血糖控制，还能提供个性化的中医药治疗建议，让“互联网 + 中医药”更好地服务于糖尿病管控领域。

参考文献

[1] PHILLIP M, NIMRI R, BERGENSTAL R M, et al. Consensus recommendations for the use of automated insulin delivery technologies in clinical practice[J]. Endocr Rev, 2023, 44(2): 254 – 280.
[2] BUCKINGHAM B, BECK R W, RUEDY K J, et al. Effectiveness of early intensive therapy on β – cell preservation in type 1 diabetes [J]. Diabetes Care, 2013, 36(12): 4030 – 4035.
[3] LI N, ZHANG H L, LI X H. Advances in research on the protective mechanisms of traditional Chinese medicine (TCM) in islet β cells [J]. Evid Based Complementary Altern Med, 2019, 2019: 7526098.
[4] LI Z, SHANGGUAN Z, LIU Y, et al. Puerarin protects pancreatic β – cell survival *via* PI3K/Akt signaling pathway[J]. J Mol Endocrinol, 2014, 53(1): 71 – 79.
[5] SANCHES J R, FRANÇA L M, CHAGAS V T, et al. Polyphenol – rich extract of *Syzygium cumini* leaf dually improves peripheral insulin sensitivity and pancreatic islet function in monosodium L – glutamate – induced obese rats[J]. Front Pharmacol, 2016, 7: 48.
[6] American Diabetes Asscociation. Standards of Care in Diabetes – 2024 [J]. Diabetes Care, 2024, 47(Suppl 1): 13 – 21.
[7] COBRY E C, BERGET C, MESSER L H, et al. Review of the omnipod® 5 automated glucose control system powered by horizon™ for the treatment of type 1 diabetes [J]. Ther Deliv, 2020, 11(8): 507 – 519.
[8] SAUNDERS A, MESSER L H, FORLENZA G P. MiniMed 670G hybrid closed loop artificial pancreas system for the treatment of type 1 diabetes mellitus: overview of its safety and efficacy[J]. Expert Rev Med Devices, 2019, 16(10): 845 – 853.
[9] SHERWOOD J S, RUSSELL S J, PUTMAN M S. New and emerging technologies in type 1 diabetes[J]. Endocrinol Metab Clin North Am, 2020, 49(4): 667 – 678.
[10] KESAVADEV J, SABOO B, KRISHNA M B, et al. Evolution of insulin delivery devices: from syringes, pens, and pumps to DIY artificial pancreas[J]. Diabetes Ther, 2020, 11(6): 1251 – 1269.
[11] PEACOCK S, FRIZELLE I, HUSSAIN S. A systematic review of commercial hybrid closed – loop automated insulin delivery systems [J]. Diabetes Ther, 2023, 14(5): 839 – 855.
[12] FORLENZA G P, BUCKINGHAM B A, BROWN S A, et al. First outpatient evaluation of a tubeless automated insulin delivery system with customizable glucose targets in children and adults with type 1 diabetes [J]. Diabetes Technology & Therapeutics, 2020, 23(6): 546.
[13] BROWN S A, KOVATCHEV B P, RAGHINARU D, et al. Six – month randomized, multicenter trial of closed – loop control in type 1 diabetes[J]. N Engl J Med, 2019, 381(18): 1707 – 1717.
[14] BROWN S A, FORLENZA G P, BODE B W, et al. Multicenter trial of a tubeless, on – body automated insulin delivery system with customizable glycemic targets in pediatric and adult participants with type 1 diabetes[J]. Diabetes Care, 2021, 44(7): 1630 – 1640.
[15] DAVIS G M, PETERS A L, BODE B W, et al. Safety and efficacy of the omnipod 5 automated insulin delivery system in adults with type 2 diabetes: from injections to hybrid closed – loop therapy[J]. Diabetes Care, 2023, 46(4): 742 – 750.
[16] 段梦遥，毛伯，周恒宇，等. 不同中医体质类型的舌象特征定量分析[J]. 中华中医药杂志，2023，38(10)：4955 – 4958.
[17] 田桐，孙丽平. 长春中医药大学附属医院 609 名体检儿童中医体质与舌象关系调查分析[J]. 中国医药导报，2022，19(5)：64 – 67.
[18] 黄冕，张梦圆，陈佳，等. 体胖儿童 102 例体质类型与面象、舌象特征相关性研究[J]. 中华中医药杂志，2020，35(2)：888 – 891.
[19] 屈德春，吕琨，朱跃坤，等. 结直肠癌患者舌苔变化与舌苔菌群和肠道菌群的相关性研究[J]. 世界中医药，2024，19(12)：1802 – 1810.
[20] 郝一鸣，王忆勤，张之辰，等. 2 型糖尿病患者舌象参数特征及与空腹血糖的相关性初探[J]. 时珍国医国药，2017，28(1)：253 – 255.
[21] 贺宏波，闫韶哗，杨玲玲，等. 5930 例 2 型糖尿病患者舌象与实验室指标相关性分析[J]. 中医杂志，2013，54(23)：2031 – 2034.
[22] 陈清光，蔡梦洁，袁培琼，等. 不同糖代谢人群的舌象客观化特征研究[J]. 辽宁中医杂志，2021，48(3)：88 – 91.
[23] 杨睿博，张艳，罗文轩，等. 不同病程 2 型糖尿病患者舌象的相关因素研究[J]. 环球中医药，2023，16(11)：2232 – 2239.
[24] LIAN F M, WU L, TIAN J X, et al. The effectiveness and safety of a Danshen – containing Chinese herbal medicine for diabetic retinopathy: a randomized, double – blind, placebo – controlled multicenter clinical trial[J]. J Ethnopharmacol, 2015, 164: 71 – 77.
[25] XU J, LIAN F, ZHAO L, et al. Structural modulation of gut microbiota during alleviation of type 2 diabetes with a Chinese herbal formula[J]. ISME J, 2015, 9(3): 552 – 562.
[26] LIU X Y, LIU L, CHEN P Y, et al. Clinical trials of traditional Chinese medicine in the treatment of diabetic nephropathy—a systematic review based on a subgroup analysis [J]. J Ethnopharmacol, 2014, 151(2): 810 – 819.
[27] SUN J, REN J G, HU X J, et al. Therapeutic effects of Chinese herbal medicines and their extracts on diabetes[J]. Biomed Pharmacother, 2021, 142: 111977.

基于“互联网 + 中医药”的人工体外胰腺设备构建研究

(正文见 15 – 18 页)

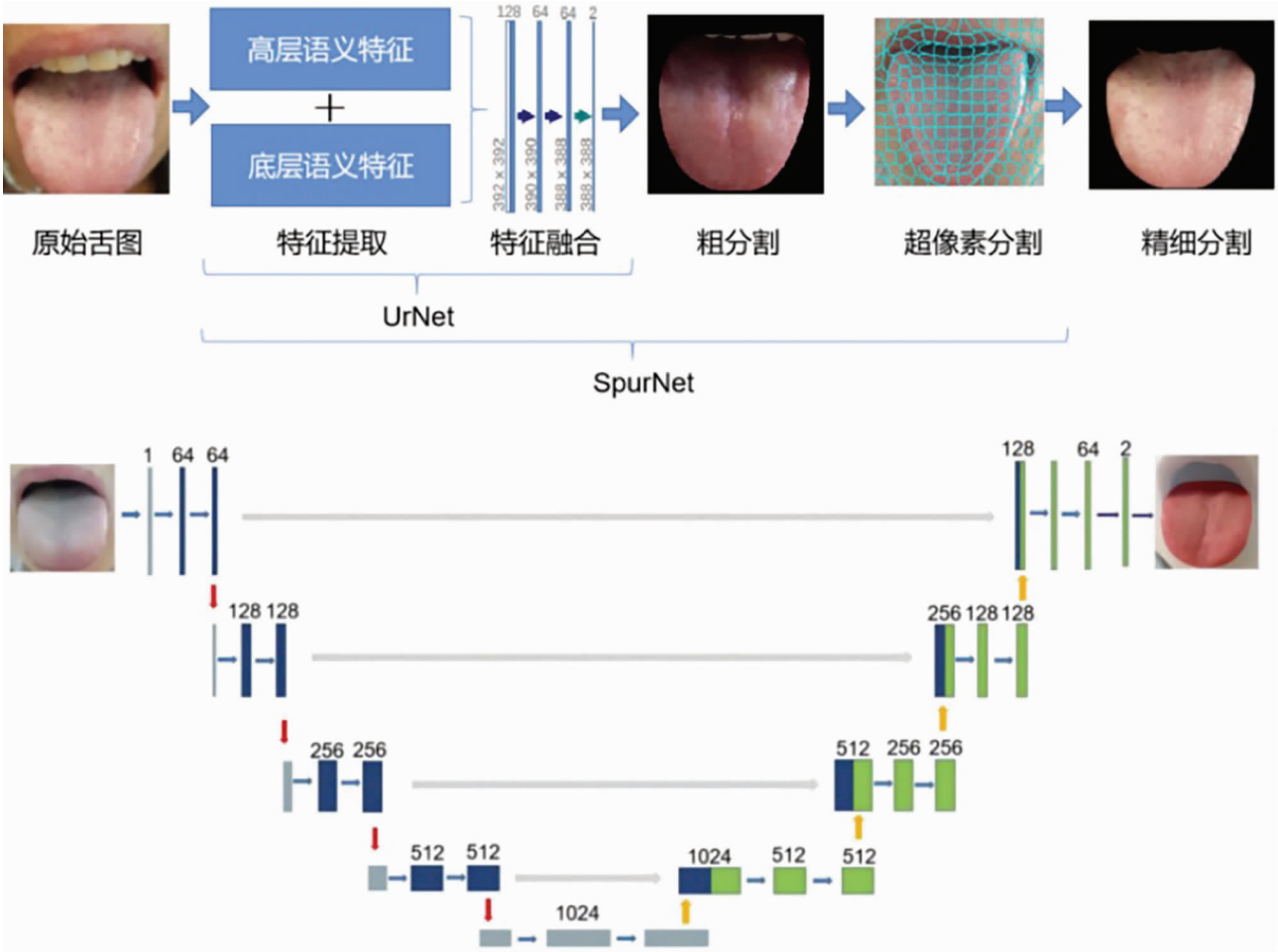


图 2 融合超像素分割技术的舌象自动化分割方法

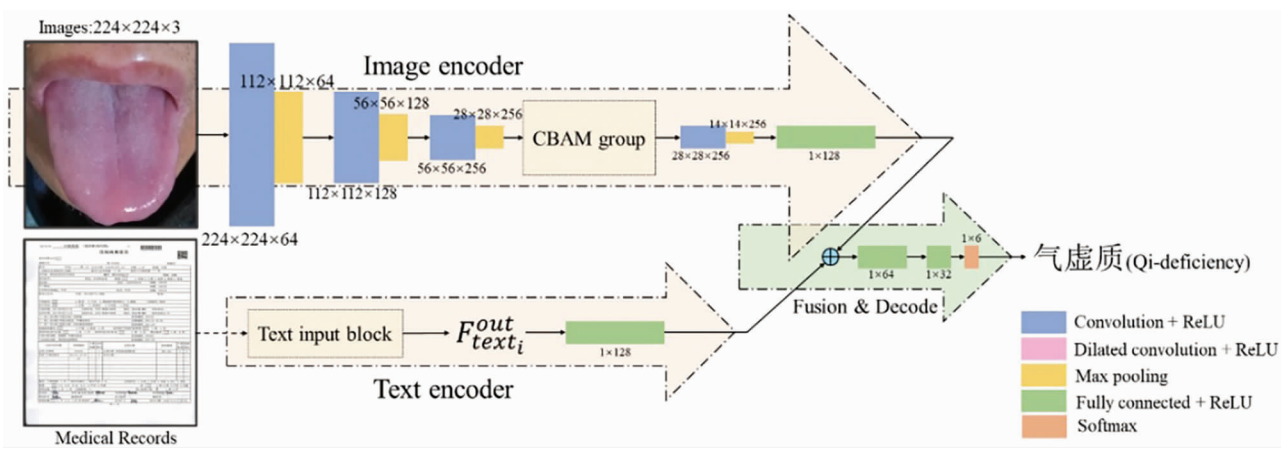


图 3 融合多尺度特征的中医舌象体质辨识方法