



安徽大学

大学生创新创业训练计划项目 申报书

院 系： 人工智能学院

项目名称： 多模态智能咀嚼测量装置研究

项目类型： 创新训练项目

项目类别： ☐ 一般项目 ☐ 重点支持领域项目

负 责 人： 王硕硕

指导教师： 董兴波 金哲

安徽大学教务处 制

填 写 说 明

一、项目类型说明：

1. 创新训练项目：本科生个人或团队在导师指导下，自主完成创新性研究项目设计、研究条件准备和项目实施、研究报告撰写、成果（学术）交流等工作。

2. 创业训练项目：本科生团队在导师指导下，团队中每个学生在项目实施过程中扮演一个或多个具体角色，完成商业计划书编制、可行性研究、企业模拟运行、撰写创业报告等工作。

3. 创业实践项目：学生团队在学校导师和企业导师共同指导下，采用创新训练项目或创新性实验等成果，提出具有市场前景的创新性产品或服务，以此为基础开展创业实践活动。

二、项目类别说明

1. 一般项目：按每年惯例申报的大学生创新创业训练计划项目。

2. 重点支持领域项目：为 2021 年起新增项目，旨在鼓励引导大学生根据国家经济社会发展和重大战略需求，结合创新创业教育发展趋势，在重点领域和关键环节取得突出创新创业成果。

三、申报书请按顺序逐项填写，填写内容必须实事求是，表达明确严谨。空缺项要填“无”。

四、申请参加大学生创新创业训练计划项目团队的人数含负责人在内不得超过 5 人。

五、填写时可以改变字体大小等，但要确保表格的样式没有被改变；填写完后用 A4 纸张打印，不得随意涂改。

六、申报过程有不明事宜，请与学校教务处实践教育科联系和咨询，电话 0551-63861232。

| | | | | | |
|--------|------|-----------------------|------------------|-------------|-------------------------|
| 项目名称 | | 多模态智能咀嚼测量装置研究 | | | |
| 重点支持领域 | | (一般项目不填, 见重点支持领域项目指南) | | | |
| 负责人 | 姓 名 | 学号 | 所在院系年级专业 | 手机 | E-mail |
| | 王硕硕 | WA2314221 | 人工智能学院 23 级人工智能 | 13805686903 | S. S. W2004@outlook.com |
| 项目组成员 | 刘祥超 | WA2314165 | 人工智能学院 23 级人工智能 | 19810922091 | 3231463717@qq.com |
| | 张立璇 | WA2324075 | 人工智能学院 23 级机器人工程 | 18355428939 | 673160534@qq.com |
| | 时启硕 | WA2314006 | 人工智能学院 23 级人工智能 | 15510890822 | shi20050822@outlook.com |
| | 范侯辰 | M92314006 | 商学院 23 级物流管理 | 15385978654 | 3515996474@qq.com |
| 指导教师 | 姓 名 | 董兴波 | | 职务/职称 | 讲师 |
| | 所在单位 | 人工智能学院 | | | |
| | 手 机 | 15527456680 | | E-mail | xingbo.dong@ahu.edu.cn |
| | 姓 名 | 金哲 | | 职务/职称 | 教授 |
| | 所在单位 | 人工智能学院 | | | |
| | 手 机 | 13215655737 | | E-mail | Jinzhe@ahu.edu.cn |

一、项目简介（结合调研报告阐述研究目的、研究内容、国内外研究现状和发展动态）

1.1 研究目的

1.1.1 实验项目的建设目标

本项目旨在创新开发一种融合多模态数据采集与先进人工智能技术的咀嚼能效评估装置，以实现更精准、高效的咀嚼能力评估。该装置在营养学、口腔医学、牙科治疗以及与咀嚼功能障碍相关的疾病的管理中起到关键作用。与传统问卷调查或临床人工观察判断咀嚼能力的方式相比，该咀嚼能效评估装置不仅可以利用空气麦克风和骨传导麦克风采集咀嚼声音信息，还借助传统帧式相机采集正、侧颌面部咀嚼动作信息，音频与图像信息相结合，可获得更加丰富的数据集，全面性更强。对于口腔健康、临床决策、治疗规划、营养学、口腔卫生政策等方面，咀嚼能力评估系统蕴藏着深远的战略价值，具备卓越的发展潜力。

针对传统咀嚼能效评估方法较高依赖医生或评估者的临床经验、评估过程所需要的时间资源难以标准化、可能涉及引起不适的测试工具、由于人为干涉无法准确反映咀嚼功能的细节、缺乏长期、全面、有效的数据支撑等问题，本项目通过自动化设备和多维数据采集，提高了评估结果的准确性，减少人为的干扰，自动化设备同时也简化了评估过程，降低时间成本和操作复杂度，便于大规模人群普查。此外，非侵入式评估方式避免了传统方法带来的不适感，更适用于长期连续监测。本装置是首个将多模态人工智能大模型与评估咀嚼效率相结合，创新性的提出了一种评估咀嚼效率的硬件及系统。该咀嚼能效评估装置采用非侵入式的多模态方法，不会对人体造成潜在的健康风险，参与者在进行评估时舒适度较高，且不需要复杂的准备或配合，降低参与者的心理负担和不适感。相较于传统方法问卷调查或人工观察判断咀嚼能力相比，咀嚼能效评估装置仅需较少步骤就能完成数据采集、评估咀嚼能力等一系列过程，大大节约了时间成本。

本项目有望推动人工智能技术在咀嚼能效评估领域的应用，提高评估的效率和客观性，能够为老年人和特定患者群体提供更为有效的营养健康监测手段。临床医生可据此获得更加准确的评估结果，为患者制定个性化的饮食和治疗方案。在社会层面，本研究成果也可应用于公共卫生领域，为大规模人群的健康管理提供支持，促进健康老龄化和疾病预防工作的开展。

1.1.2 项目面临的困难

项目存在多模态数据同步，算法泛化性不足等难题。在多模态数据同步与融合方面，团队需确保不同传感器采集的音频、视频数据在时间上严格对齐，避免时序错

位导致特征关联失效，且需要设计高效的算法架构，将音频、视觉数据进行特征级或决策级融合，以充分挖掘不同模态间的互补性。在硬件系统稳定性与适用性方面，团队成员需确保骨传导麦克风在测试过程中稳定固定在受试者额头，避免因受试者动作导致位移或接触不良，影响信号质量，同时，不同传感器的硬件参数需协调匹配，以确保数据采集一致性。在数据处理方面，选取的神经网络模型需要从复杂多模态数据中精准提取与咀嚼能效相关的特征，并有效抑制环境噪声或无效信息。在模型泛化与个性匹配方面，数据归类需充分考虑受试者的年龄、性别、口腔健康状况差异等可能导致数据分布偏移的因素，以增强模型的鲁棒性，避免过拟合单一群体。在验证模型可靠性方面，团队需要将训练模型高效部署至实际应用场景，通过大规模临床试验验证系统的有效性和可靠性。

1.2 研究内容

传统方法依赖自我报告或人工观察作为系统设计的标准，具有较强人为因素干扰，为提高装置咀嚼能效评估的准确性和鲁棒性，本装置采用特殊变色口香糖，利用 `lotte_gum_check_app` 软件评估咀嚼能力等级，从而获得高拟合的评估结果。咀嚼能效评估系统的重点在于将多模态神经算法与骨传导麦克风、事件相机、等硬件相结合，能够有效处理复杂的多模态数据关系。为此，本项目将深入研究并优化 `ESResNet` 等深度学习模型，根据测试结果对模型参数进行优化，以克服传统硬件设备或特殊口香糖评估方法在自动化性和精确性方面的不足，实现咀嚼能力的智能化、精准化评估。利用空气麦克风与骨传导麦克风采集参与者的咀嚼声音信息，利用传统帧式相机采集参与者正、侧颌面部信息，重点分析腮腺咬肌在咀嚼时的动作，音频和图像两两结合，采集咀嚼时同一时刻的颌部正面与侧面动作，相较于单独使用骨传导传感设备或传统帧式相机采集图像。本项目旨在开发一种基于多模态数据和人工智能技术的智能咀嚼评估装置，这种多模态数据结合的研究方式使得对咀嚼行为的分析更加深入，可靠性大大提高。

在此基础上，本项目会继续深入实践，落地于医疗健康、疾病预防领域，为老年人和特定患者群体提供更有效的营养健康监测手段，本项目也可应用于公共卫生领域，为大规模人群的健康管理提供支持，促进健康老龄化和疾病预防工作的开展，并根据用户反馈对神经网络模型进行进一步优化。

1.3 国内外研究现状和发展动态

1.3.1 咀嚼评估的发展

Borette^[1]等人指出咀嚼能力 (masticatory ability) 和咀嚼效率 (masticatory efficiency) 的评估方法包括问卷调查、个人访谈和咀嚼测试。如 Leake^[2]于 1990 年开发测试一个适合用于流行病学调查的咀嚼能力指数 (Chewing Ability Index), 咀嚼能力的评估基于受试者的自我报告, Moriya^[3]等人通过问卷获取社区老年人自我评估咀嚼能力数据, 为理解老年人自我评估咀嚼能力与口腔健康之间的关系提供了重要数据, Takeshita^[4]等人利用“基本清单” (Kihon Checklist, KCL) 评估身体功能, GULCO SENSOR GS-II、DENTALPRESCALE II 分别评估咀嚼功能和咬合力都是通过传统自我报告、访谈等方式来评估咀嚼能力。除此之外, 研发测试工具间接反映咀嚼能力同样受到相关领域学者青睐, 如 Nakasima^[5]等人于 1989 年创新性地提出使用一种含有食用红色色素 (erythrosin) 和少量的结晶纤维素、乳糖、玉米淀粉以及其他成分的特殊色素涂层颗粒 (胶囊) 来测量咀嚼过程所做的功, 从而评估受试者的咀嚼能力, Liedberg^[6]等人、Hayakawa^[7]等人、Yousof^[8]等人和 Schimmel^[9]等人利用双色口香糖进行咀嚼评估研究。Hama^[10]等人开发一种可用于评估咀嚼能力的变色口香糖, Yashiro^[11]等人探讨了使用变色口香糖评估食物咀嚼性的有效性和可靠性, 特别是通过视觉评估 (使用颜色量表) 与色度仪评估结果的一致性。Hama^[12]等人推出用于检测咀嚼能力的可变色口香糖应用。随着医疗仪器精准度提升, Kohyama^[13]等人和 Bakke^[14]等人将肌电图 (EMG) 应用到咀嚼研究当中, Farooq^[15]等人通过压电传感器系统自动量化地捕获咀嚼事件来观察食物摄入量和监控饮食习惯, 依靠咀嚼作为食物摄入量指标, 使用耳内微型麦克风、加速器监控摄像机和下颌上的压电传感器来监控咀嚼过程。咀嚼能效评估研究历史上不缺乏新颖、创造性的方案, 如 Jockusch^[16]等人探讨了是否可以通过测量手握力 (handgrip strength) 来替代评估痴呆症患者的咀嚼功能, Kosaka^[17]等人通过传统粉碎方式测试咀嚼后果冻 (gummy jelly) 表面积增加量评估咀嚼性能, 在此基础上 Murakami^[18]等人讨论了在传统粉碎测试难以完成的情况下能否使用半尺寸果冻来评估咀嚼能力, Sugimoto^[19]等人研究食物颗粒损失程度对使用图像分析法评估咀嚼能力的影响, 并探究较大颗粒是否能准确反映老年人咀嚼能力, Sun^[20]等人提出利用离散元素法 (Discrete Element Method, DEM) 结合逆向工程和 DEMBCAD 分析食物颗粒与咀嚼器官之间的力学相互作用, 揭示了食物性质与咀嚼功能之间的关系。部分学者立足于咀嚼评估研究营养学、生理学等相关领域。如 Fujimoto^[21]等人研究了老年人的咀嚼能力与营养状况 (以 BMI 为指标) 之间的关系, Kim^[22]等人研究年龄相关变化对正常人群咀嚼功能的影响, 还探讨了与年龄相关的生理、肌肉和牙齿因素对咀嚼功能的影响。

1.3.2 咀嚼能效评估进展分析

随着科技的进步，越来越多的硬件和软件设备被应用于食物摄入和咀嚼能力评估当中，传统的问卷、临床观察和研磨检测等方法逐渐被取代。Maruyama^[23]等人提出利用**压力敏感膜（Dental Prescale）**和**舌压测量装置（TPM-01）**获得个体咬合力和最大舌压来分析咀嚼能力和口腔功能之间的关系。K ü ç ü k^[24]等人开发一种新的数字方法（**Mastimeter**）用于颜色混合分析，并验证这种方法在量化咀嚼性能方面的有效性，能够量化双色混合能力，且具有潜力用于研究和临床环境中的咀嚼性能评估目标。Le Fontana^[25]等人利用带有**骨传导声音系统下颌运动传感器**来监测咀嚼行为，随后通过**支持向量机（SVM）**来对事物摄入量进行分析。Qian^[26]等人研究了面包咀嚼过程中**图像纹理属性与咀嚼行为及机械属性**之间的关系。

在利用硬件或软件进行咀嚼能效评估之外，许多学者也将咀嚼能力评估应用于老年人健康监测和营养监护中。Özs ü rekci^[27]等人探讨老年人咀嚼能力与营养相关问题（包括**营养不良、肌肉减少症和虚弱**）之间的可能关系。研究首次将咀嚼能力与超声测量的咬肌和腓肠肌厚度以及营养相关问题（包括肌肉减少症、营养不良和虚弱）联系起来。Park^[28]等人强调了为老年人设计改良质地食物的重要性，通过提高老年人的咀嚼能力和食物接受度，从而改善他们的营养摄入和生活质量。Takahara^[29]等人评估了一种**变色口香糖**测试在代谢性疾病患者中筛查咀嚼功能下降的性能。变色口香糖测试是一种简单、实用的工具，可用于临床环境中筛查代谢性疾病患者的咀嚼功能下降。Guzhov^[30]等人提出**基于卷积神经网络和残差结构的 ESResNet** 作为音频信号处理模型，ESResNet 网络具有优秀的特征提取能力，能够有效捕捉咀嚼音频信号中的关键模式

1.3.3 当前研究面临的挑战及存在的不足

1) 传统方法依赖人工观察（如视频标注）或专用设备（如色度计）进行咀嚼评估，存在主观偏差（如颜色视觉评分误差）和操作复杂性（如超声测量咬肌厚度需专业训练）

2) 现有研究多依赖单一数据源（如压电传感、声学麦克风或色度计），易受环境干扰（噪音、光照）或个体差异（传感器位置偏差）影响，导致精度受限。

3) 侵入式传感器（如贴附式压电片）或复杂设备（如肌电图）降低用户舒适度，无法做到长期监测和大规模应用。

4) 硬件设备（如肌电图、色度计、压电传感器）或特殊口香糖进行咀嚼能力评估测试存在的缺乏自动化性和高精确性的问题。

本项目采用**非侵入式多模态传感器**（骨传导麦克风、事件相机）结合智能手机应用（如 Lotte_gum_check_app），通过**自动化算法**（ESResNet）消除人为因素，减少对专业设备和人工标注的依赖，且融合**多模态数据**（声音+视觉+力学信号），通过**跨模态特征提取**增强鲁棒性，弥补单一传感器缺陷。同时，**非侵入式设计**（如事件相机远距离捕捉、骨传导麦克风隐蔽佩戴）能够提升用户体验和公共卫生场景的可推广性。项目基于 ESResNet 模型，解决了仅利用硬件设备或特殊口香糖进行咀嚼能力评估测试存在的缺乏自动化性和高精确性的问题。本项目的实施，不仅提升了咀嚼能效分析的精度和效率，还为未来在人工智能与口腔医学交叉领域的研究提供了新的方向。

1.4 项目意义

1.4.1 科学意义

作为全球科技竞争的核心领域，人工智能已然成为各国推动科技跨越式发展、实现产业优化升级、争夺全球竞争优势的关键驱动力。在我国，人工智能更是被赋予了国家战略层面的高度重视，成为引领未来发展的重要支撑。医疗健康是与人工智能密切相关的领域，借助人工智能技术实现咀嚼能力的有效评估意义重大。国家《新一代人工智能发展规划》中明确指出人工智能技术可发展便捷高效的智能服务，推广应用人工智能治疗新模式新手段，建立快速精准的智能医疗体系，可以精准感知、预测和预警个体的健康状况与营养需求，实时分析生理数据并提供个性化的健康管理方案。人工智能还可以结合大数据分析 with 深度学习算法，优化营养方案与治疗路径，提升疾病预防和管理的效率。国家《关于加快场景创新以人工智能高水平应用促进经济高质量发展的指导意见》中强调建设人工智能可应用于医疗领域积极探索医疗影像智能辅助诊断、临床诊疗辅助决策支持、医用机器人、互联网医院、智能医疗设备管理、智慧医院、智能公共卫生服务。本项目拟基于人工智能和多模态数据采集技术，研究非侵入式骨传导麦克风检测咀嚼肌动作方法，构建变色口香糖-lotte_gum_check_app 软件咀嚼能力评估方法，探索基于多模态数据结合的咀嚼行为分析方法，实现基于多模态神经网络算法的咀嚼能力评估方法，建立一套人工智能与多模态数据采集相结合的咀嚼能力评估装置。本项目的实施能够为生物医疗领域提供一种新型的医疗评估工具，对于制定预后个性化饮食和治疗方案，推动群众健康管理和老年人营养监测的发展具有非常重要的科学意义

1.4.2 实际价值

在医疗智能化的时代趋势下，立足当下人口老龄化的时代背景，如何有效应对老龄化社会带来的挑战成为我国社会发展的重要课题。大数据分析、人工智能诊断、智能穿戴设备诊断等医疗智能化技术作为应对这一挑战的关键力量，将助力我国构建起适应人口老龄化需求的健康管理体系。该咀嚼评估系统的应用可以帮助医疗人员提前发现老年人常见的吞咽困难、咀嚼障碍等问题，并制定个性化饮食和治疗方案，后期该咀嚼评估系统也可应用于公共卫生领域，为大规模人群的健康管理提供支持，促进健康老龄化和疾病预防工作的开展，同时可根据用户反馈和数据集更新更新数据库和优化神经网络模型，获得与深度学习模型高拟合的标准评估结果。

1.5 参考文献

- [1] Boretti G, Bickel M, Geering AH. A review of masticatory ability and efficiency. *J Prosthet Dent*. 1995 Oct;74(4):400-3.
- [2] Leake JL. An index of chewing ability. *J Public Health Dent*. 1990 Summer;50(4):262-7.
- [3] Moriya S, Tei K, Muramatsu T, Murata A, Muramatsu M, Harada E, Inoue N, Miura H. Factors associated with self-assessed masticatory ability among community-dwelling elderly Japanese. *Community Dent Health*. 2012 Mar;29(1):39-44.
- [4] Takeshita M, Naito M, Nishimura R, Fukutani H, Kondo M, Kurawaki Y, Yamada S, Uchibori N. Association of physical function with masticatory ability and masticatory habits: a cohort study. *BMC Oral Health*. 2024 Oct 24;24(1):1277.
- [5] Nakasima A, Higashi K, Ichinose M. A new, simple and accurate method for evaluating masticatory ability. *J Oral Rehabil*. 1989 Jul;16(4):373-80.
- [6] Liedberg B, Owall B. Oral bolus kneading and shaping measured with chewing gum. *Dysphagia*. 1995 Spring;10(2):101-6.
- [7] Hayakawa I, Watanabe I, Hirano S, Nagao M, Seki T. A simple method for evaluating masticatory performance using a color-changeable chewing gum. *Int J Prosthodont*. 1998 Mar-Apr;11(2):173-6.
- [8] Yousof Y, Salleh NM, Yusof F. Assessment of masticatory performance by geometric measurement of the mixing ability with 2-color chewing gum. *J Prosthet Dent*. 2019 Jun;121(6):916-921.
- [9] Schimmel M, Rachais E, Al-Haj Husain N, Müller F, Srinivasan M, Abou-Ayash S. Assessing masticatory performance with a colour-mixing ability test using smartphone camera images. *J Oral Rehabil*. 2022 Oct;49(10):961-969.

- [10] Hama Y, Kanazawa M, Minakuchi S, Uchida T, Sasaki Y. Properties of a color-changeable chewing gum used to evaluate masticatory performance. *J Prosthodont Res.* 2014 Apr;58(2):102-6.
- [11] Yashiro T, Wada S, Kawate N. The use of color-changeable chewing gum in evaluating food masticability. *Eur Geriatr Med.* 2024 Apr;15(2):497-504.
- [12] Hama Y, Sasaki Y, Soeda H, Yamaguchi K, Okada M, Komagamine Y, Sakanoshita N, Hirota Y, Emura K, Minakuchi S. Accuracy of newly developed color determination application for masticatory performance: Evaluating color-changeable chewing gum. *J Prosthodont Res.* 2024 Oct 16;68(4):650-657.
- [13] Kohyama, K., Nakayama, Y., Nakayama, M., Hayakawa, F., & Sasaki, T. (2007). Mastication efforts to block and finely cut foods studied by electromyography. *Food Quality and Preference*, 18(3), 313–320.
- [14] Bakke M, Tuxen A, Vilmann P, Jensen BR, Vilmann A, Toft M. Ultrasound image of human masseter muscle related to bite force, electromyography, facial morphology, and occlusal factors. *Scand J Dent Res.* 1992 Jun;100(3):164-71.
- [15] Farooq M, Sazonov E. Automatic Measurement of Chew Count and Chewing Rate during Food Intake. *Electronics (Basel).* 2016;5(4):62.
- [16] Jockusch J, Hahnel S, Nitschke I. Use of handgrip strength measurement as an alternative for assessing chewing function in people with dementia. *BMC Geriatr.* 2022 Sep 24;22(1):769.
- [17] Kosaka T, Kida M, Kikui M, Hashimoto S, Fujii K, Yamamoto M, Nokubi T, Maeda Y, Hasegawa Y, Kokubo Y, Watanabe M, Higashiyama A, Miyamoto Y, Ono T. Factors Influencing the Changes in Masticatory Performance: The Suita Study. *JDR Clin Trans Res.* 2018 Oct;3(4):405-412.
- [18] Murakami K, Yoshimoto T, Hori K, Sato R, Sta Maria MT, Marito P, Takano H, Khaing AMM, Nokubi T, Ono T. Masticatory Performance Test Using a Gummy Jelly for Older People with Low Masticatory Ability. *J Clin Med.* 2023 Jan 11;12(2):593.
- [19] Sugimoto H, Tanaka Y, Kodama N, Minagi S. Effects of food particle loss on the evaluation of masticatory ability using image analysis. *J Prosthodont Res.* 2022 Jul 30;66(3):484-490.
- [20] Y. Sun, H. Wen, Q. Chen, D. Zhang, J. Qi and D. Hu, "An alternative method on dynamic analysis of food mastication based on discrete element method," 2011 International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet), Xianning, China, 2011,
- [21] Fujimoto K, Suito H, Nagao K, Ichikawa T. Does Masticatory Ability Contribute to Nutritional Status in Older Individuals? *Int J Environ Res Public Health.* 2020 Oct 9;17(20):7373.
- [22] Kim S, Doh RM, Yoo L, Jeong SA, Jung BY. Assessment of Age-Related Changes on Masticatory Function in a Population with Normal Dentition. *Int J Environ Res Public Health.* 2021 Jun 27;18(13):6899.

- [23] Maruyama M, Morita K, Kimura H, Nishio F, Yoshida M, Tsuga K. Association between masticatory ability and oral functions. *J Clin Exp Dent*. 2020 Nov 1;12(11):e1011-e1014.
- [24] Küçük C, Sabuncular G, Bayram F, Aktaş Ş, Evren B, Güneş FE. Nutrition, Chewing Ability and Quality of Life in Older Adults With Implant Overdentures: A Prospective Clinical Study. *Gerodontology*. 2024 Dec 11.
- [25] Fontana JM, Sazonov ES. A robust classification scheme for detection of food intake through non-invasive monitoring of chewing. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*. 2012;2012:4891-4.
- [26] Qian, M., Yonghai, S., Jumin, H., Libo, Y., Yang, L., Chao, L., & Na, X. (2016). Relationships of Image Texture Properties with Chewing Activity and Mechanical Properties during Mastication of Bread. *Food Engineering Progress*, 12(3), 311–321
- [27] Özsürekcı C, Kara M, Güngör AE, Ayçiçek GŞ, Çalışkan H, Doğu BB, Cankurtaran M, Halil MG. Relationship between chewing ability and malnutrition, sarcopenia, and frailty in older adults. *Nutr Clin Pract*. 2022 Dec;37(6):1409-1417.
- [28] Park YS, Hong HP, Ryu SR, Lee S, Shin WS. Effects of textured food masticatory performance in older people with different dental conditions. *BMC Geriatr*. 2022 May 2;22(1):384.
- [29] Takahara M, Shiraiwa T, Maeno Y, Yamamoto K, Shiraiwa Y, Yoshida Y, Nishioka N, Katakami N, Shimomura I. Screening for a Decreased Masticatory Function by a Color-changeable Chewing Gum Test in Patients with Metabolic Disease. *Intern Med*. 2022;61(6):781-787.
- [30] A. Guzhov, F. Raue, J. Hees and A. Dengel, "ESResNet: Environmental Sound Classification Based on Visual Domain Models," 2020 25th International Conference on Pattern Recognition (ICPR), Milan, Italy, 2021, pp. 4933-4940.

二、申请理由（包括自身/团队具备的知识条件、特长、兴趣等）

2.1 团队条件

本团队由五名分别来自人工智能学院的人工智能系和机器人工程系、商学院物流管理系的同学组成。

项目准备过程中，成员查阅并研读了大量相关论文资料，包括 Sun 等人于 2011 年发表的论文 *An alternative method on dynamic analysis of food mastication based on discrete element method*, Yohei Hama 等人于 2024 年发表的论文 *Accuracy of newly developed color determination application for masticatory performance: Evaluating color-changeable chewing gum*，团队成员对国内外咀嚼能力评估研究有了初步认知。

团队拥有相关经验，团队成员曾参加相关挑战杯赛事，因此获得更多专业技能和实践机会。项目前期团队借助问卷、访问等途径充分调研关于咀嚼能力检测对人们日常生活的影响，并详细统计并分析了人们对传统咀嚼能力评估方式的改进建议。其中舒适度、准确率成为人们评估咀嚼评估方式的主要方面，对此，团队围绕人工智能结合多模态数据采集和非侵入式评估方式开展项目研究，并在该领域取得一定成果。指导教师在生物特征识别和医学图像处理领域拥有丰富的项目经验。曾受欧盟“地平线 2020”项目资助，于法国欧洲电信学院、意大利萨萨里大学、奥地利萨尔兹堡大学访学，与生物特征领域知名专家 Dugelay 教授（IEEE 会士）、Massimo 教授（IAPR 会士）合作，开展生物特征识别研究，其指导的项目团队多次获得省级金奖、银奖。

2.2 成员情况

2.2.1 团队负责人

王硕硕同学：平均绩点 4.23，位于系前 3%。熟练掌握 C/C++/Python 等程序设计语言，项目准备过程中深入学习了算法设计、深度学习方向的相关内容，并能够利用 python 进行特定数据集的分析和处理；对 PyTorch 等深度学习框架有深入学习，在图像处理、数据分析处理和目标检测方面有一定学习基础；有较强的英文读写能力；熟练掌握各种数据算法，能进行图像、语音等多模态数据神经网络模型搭建。

2.2.2 团队成员

时启硕同学：熟练掌握 C/Python，深入学习过神经网络，擅长数据挖掘领域，曾参与实施了一项基于房源数据信息的房屋推荐系统项目。具备卓越的英文写作能力，能够撰写高质量英文摘要及其他相关学术或专业英文文章。熟练使用 Word、Excel 等办公软件

刘祥超同学：平均绩点位于全系 5%，熟练掌握 C/C++/Python 等程序设计语言，掌握多种深度学习的模型，对 PyTorch 等深度学习框架有深入学习，能够利用其构建神经网络模型，进行图像、语音等多模态数据的处理与分析。扎实掌握常见的算法以及各种数据结构的原理与应用，能够根据实际问题选择最优算法和数据结构以提升程序性能。

张立璇同学：熟练掌握 C/Python，深入学习过神经网络、UNet 语义分割和 MTNCC 实例分割等技术。曾参与有关项目的训练测试和模型优化，对深度学习有着浓厚的兴趣。致力于通过技术创新和团队协作提升项目的整体表现。

范侯辰同学：熟练掌握 C/python 程序设计语言。参与多个商业案例分析项目和模拟实训，熟练掌握物流流程优化方式，能够利用 WMS、TMS 系统等先进的物流信息技术提升物流效率和服务质量。具有优秀英文读写能力和高效学习能力。

2.3 指导教师

董兴波：博士，安徽大学人工智能学院讲师。（这里有一段切入）（自入职安徽大学以来，聚焦基于生物特征图像增强和隐私保护技术。董兴波博士作为玛丽居里访问学者，受欧盟“地平线 2020”项目资助，于法国欧洲电信学院、意大利萨萨里大学、奥地利萨尔兹堡大学访学，与生物特征领域知名专家 Dugelay 教授（IEEE 会士）、Massimo 教授（IAPR 会士）合作，开展生物特征识别研究。曾在 TCL 工业研究院 AI 实验室，带领团队开展生物特征增强技术研究。在延世大学博士后期间主持生物特征安全研究项目，获批韩国 BrainPool 人才项目，资助金额 40 万人民币。共发表高水平论文 22 篇，其中中科院 SCI 一区期刊论文 4 篇、二区 2 篇、三区 3 篇，CCF 推荐会议 A 类 2 篇、C 类 3 篇，发明专利 2 项已公开。担任多种计算机领域顶级期刊审稿人，包括 IEEE Transactions on Information Forensics and Security，

IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, IEEE Transactions on Multimedia 等期刊；担任中国计算机学会(CCF)A类计算机顶级会议程序委员会审稿人，包括 CVPR, ACMMM, ECCV 等顶级会议。

金哲：博士，教授，通过海外高层次引进人才计划，进入安徽大学人工智能学院工作，入选安徽省“xx 计划”。从 2007 起，先后在马来西亚 Multimedia University (MMU)，拉曼大学 (UTAR)，澳大利亚蒙纳士大学 (马来西亚校区) (MUM) 从事教学及科研工作十余年。期间，参加欧盟地平线计划的 IDENTITY (690907) 项目，作为玛丽居里学者访问奥地利萨尔茨堡大学 (合作教授：AndreasUhl) 和意大利萨萨里大学 (合作教授：MassimoTistarelli)，在生物特征攻击与对抗方向开展研究。同时与法国 EURECOM 的 Jean-LucDugelay 教授 (IEEE Fellow) 开展了跨频谱人脸识别与安全的研究。此外，通过与韩国 ETRI 研究所、延世大学 (合作教授：AndrewTeohBenng Jin) 合作 Bio-PIN 项目，开发高效生物特征密钥算法。在国内，与清华大学深圳研究生院 (合作教授：郭振华教授) 合作研究生物特征重构。主要研究方向：医学图像处理、可信人工智能、模式识别及安全、计算机视觉。

2.4 项目来源与依托实验室



图 1. 项目来源与依托实验室

三、项目研究方案

3.1 规划设备清单

1. 一台事件相机，用于拍摄受试者正面咀嚼动作
2. 两台帧式相机，一台用于拍摄受试者正面咀嚼动作，另一台用于拍摄受试者右侧面咀嚼动作
3. 骨传导麦克风，固定在受试者的额头处，用于捕捉受试者咀嚼时的声音
4. 空气麦克风，固定在受试者的衣领处，用于捕捉受试者咀嚼时的声音
5. 两个三脚架，用于固定相机
6. 电脑，用于采集和处理数据
7. lotte 牌口香糖（图 1），受试者需要咀嚼该口香糖，用于分析受试者的咀嚼能效
8. 阿奈牌老面包（图 2），对该面包切割为指定大小的面包块，受试者需要咀嚼该面包块

咀嚼チェックアプリ



图 2. 数据采集所用的口香糖



图 3. 测试采用的阿奈牌老面包

3.2 设备摆放位置

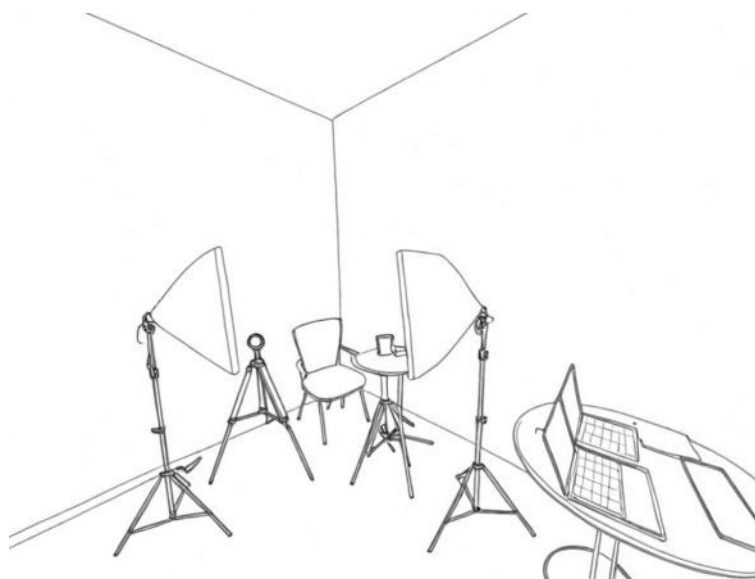


图 4 数据采集场景布局（三维）

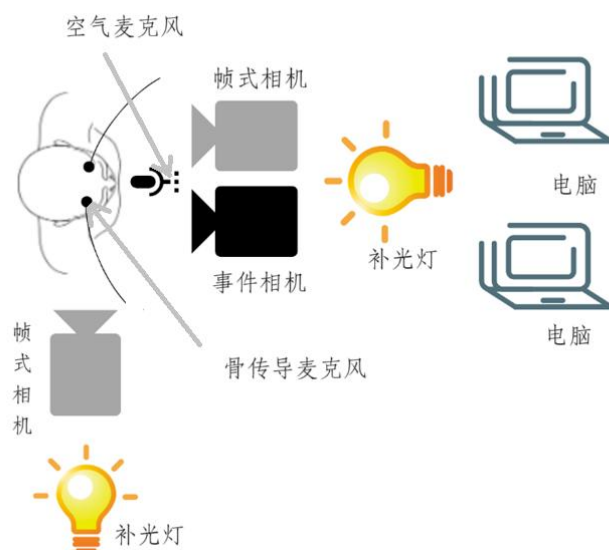


图5 传感器设备简易图

3.3 采样与分析步骤

1. 采集受试者的基本信息，包括年龄、性别、身高、体重和当前口腔情况
2. 让受试者坐到指定位置，在受试者的额头上固定骨传导麦克风，衣领上固定空气麦克风
3. 受试者正常平视前方相机的位置，听实验员指令，用平时吃饭的习惯咀嚼特定口香糖和面包块，待实验员喊停后停止咀嚼
4. 采集足量数据后得到一个包含咀嚼口香糖和咀嚼面包块两个部分的数据集，每个部分包含正面、右侧面帧式相机拍摄的视频、正面事件相机拍摄的视频、空气麦克风音频、骨传导麦克风音频
5. 把相关数据划分为训练集、验证集和测试集并输入至深度学习模型进行训练，得到一个可以用来检测咀嚼能效的回归模型
6. 利用测试集检测模型对咀嚼能效的泛化分析能力
7. 把相关模型部署在一个可投入使用的电脑软件中，投入使用

本项目提供了一种创新性技术方案，旨在通过多模态数据采集和深度学习技术，建立一套全面、准确的咀嚼能效检测方法。此技术方案详细列举了设备清单、摆放位置及具体的操作步骤，从数据采集到模型部署，确保了方案的完整性和实用性。

首先，本实验所需的设备包括事件相机、一台正面帧式相机、一台右侧面帧式相机、骨传导麦克风、空气麦克风、两个三脚架、一台计算机以及用于实验的咀嚼样本材料——lotte牌口香糖和阿奈牌老面包。事件相机被用于拍摄受试者正面咀嚼动作

的动态特征，而帧式相机分别从正面和右侧面获取咀嚼动作的高分辨率帧信息。骨传导麦克风则固定在受试者额头，用于记录咀嚼过程中由颌骨振动传导的声音信号；空气麦克风固定在衣领位置，捕捉环境中的咀嚼声音。上述设备通过两个三脚架固定在适当位置，确保数据采集的稳定性。所有采集到的数据由计算机实时存储和处理，为后续的分析奠定基础。

在实验开始前，需采集受试者的基本信息，包括年龄、性别、身高、体重及其当前的口腔健康状况。这些信息能够为模型分析提供个性化背景数据，提升模型的适应性和准确性。实验开始时，受试者被要求站立或坐在指定位置，实验员会分别将骨传导麦克风固定于额头处，以及将空气麦克风固定在衣领位置。受试者被指导以正常姿势正视正面相机，并在实验员的指令下，依照日常习惯咀嚼口香糖和面包块。为了确保实验的科学性，每种食物的咀嚼时间由实验员通过口头指令统一控制。

在数据采集阶段，正面和右侧面帧式相机记录了受试者咀嚼动作的完整动态画面，事件相机以高频方式捕获了正面动作的时序细节，而骨传导麦克风和空气麦克风则分别记录了颌骨振动和环境中的咀嚼音频信号。数据集包含了咀嚼口香糖和面包块两部分的多模态信息，提供了丰富的样本数据用于后续的建模和分析。

采集完成后，所有数据被分为训练集、验证集和测试集，并输入到深度学习模型进行训练。模型通过对帧图像、事件相机数据及多通道音频信号的综合分析，学习并提取咀嚼行为中的显著特征，从而建立一个精确的咀嚼能效回归模型。在模型训练过程中，通过验证集对模型参数进行优化，并利用测试集评估模型的泛化能力，以确保模型能准确预测未见样本中的咀嚼能效。我们选择了基于卷积神经网络和残差结构的 ESResNet 网络作为音频信号处理模型。ESResNet 网络具有优秀的特征提取能力，能够有效捕捉咀嚼音频信号中的关键模式。

ESResNet 网络的结构如下：

一、输入层：网络的输入是经过预处理的音频信号，通常采用短时傅里叶变换（STFT）或梅尔频谱（Mel-Spectrogram）表示，将一维的音频数据转换为二维特征图。这些特征图可以有效地捕获音频信号的时频信息，提供了网络所需的基础输入。

二、卷积层：初始的卷积层使用较小的卷积核（例如 3×3 或 7×7 ）对特征图进行特征提取，着重于捕获音频信号的局部频率和时间模式。卷积操作通过增加通道深度逐步提取更高层次的特征，同时保持空间分辨率。紧随卷积层的是批归一化（Batch Normalization）和激活函数（如 ReLU），这有助于加速训练并稳定网络。

三、残差块：网络的核心由多个残差块（Residual Blocks）构成。每个残差块包含两到三层卷积操作，辅以批归一化（BN）和 ReLU 激活函数。残差块的残差连

接使网络能够学习特征的残差映射，显著缓解了深层网络中的梯度消失问题，并提高了网络的训练效率。这种模块化设计不仅有助于特征的高效学习，还允许使用更深的网络结构而不会显著增加训练难度。

四、注意力机制（可选）：在部分实现中，残差块后可能引入注意力机制（Attention Mechanism），例如通道注意力（Channel Attention）或时间注意力（Temporal Attention）。这允许网络对音频信号中特定的重要区域（例如关键频率或时间段）进行更高的关注，进一步提升分类或回归性能。

五、全局池化层：在网络的后端，通过全局平均池化（Global Average Pooling, GAP）或全局最大池化（Global Max Pooling）对特征图进行时间维度上的压缩。此过程将多维特征映射转化为单一的全局特征向量，保留了最具判别力的信息，显著降低了参数量，同时提升了模型的泛化能力。

六、全连接层：全局特征向量被输入至全连接层，通常包括一层或多层神经元，用于对提取的特征进行进一步的非线性组合。最后一层是输出层，根据任务需求可以是分类头（Softmax 输出多类概率）或回归头（直接预测连续值）。在咀嚼音频信号的能效值预测任务中，输出为一个回归值，表示音频信号的能效水平。

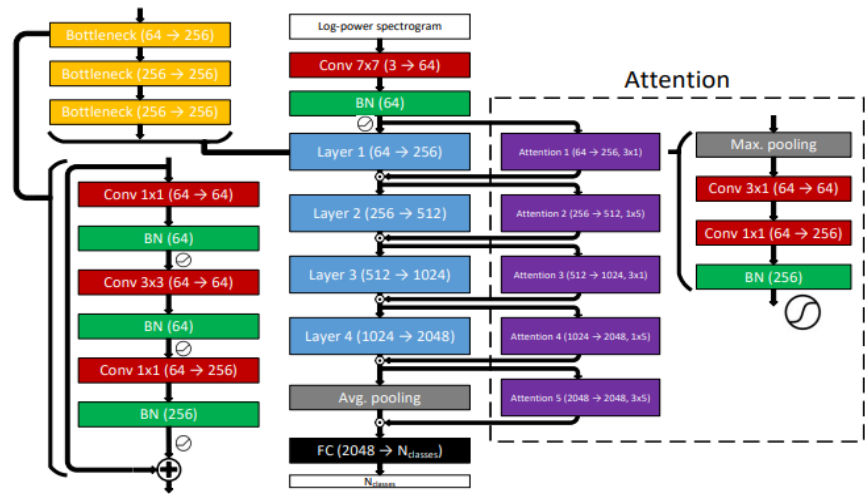


图 6. ESResNet 网络结构图

通过这一网络架构，骨传导麦克风捕捉到的咀嚼音频信号经过预处理和特征提取后，能够被 ESResNet 网络学习和分析。相比传统方法，该网络可以自动发现音频中的隐含模式，为模型的精度和鲁棒性提供保障。

在环境声音分类神经网络中，注意力机制常用来集中模型中时域和频域中最重要的信息。为了在训练数据时导入注意力机制，在搭建 ESResNet 神经网络时我们并行导入了一堆注意力模块（ESResNet- Attention）（如图 6），前 4 个块中的每个块

处理与频率或时间相关的信息。例如，第一个注意块 A1 接收到与第一层 L1 相同的输入，然后它使用频率专用卷积滤波器处理信号 x ，并提供与 L1 提供的相同形状的输出。最后，第二层的输入是通过 L1 和 A1 块的输出的逐元素乘法来构建的。公式如下：

$$L_i^{\text{att}}(x) = L_i(x) \odot A_i(x)$$

谱图是频率随时间变化的频谱的类似图像的表示。与数字信号处理有关，有几种方法可以获得频谱图。它可以使用滤波器组、傅立叶(或更普遍的小波)变换等来生成。在该神经网络中，我们从音频信号 $X(\tau, \omega)$ 的 STFT 中计算对数功率谱图 S ：

$$S = 10 \log_{10} |X(\tau, \omega)|^2$$

短时傅立叶变换(Short-Time Fourier Transform, STFT)：STFT 属于傅立叶相关变换的范畴，用于确定时域信号 x 中基正弦频率 ω 在不同时间点 τ 处的幅值和相位。

$$X(\tau, \omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n]w[n-\tau]e^{-j\omega n}$$

在实践中，为了计算上述公式，将输入信号分成重叠的帧乘以窗函数 w ，然后将快速傅立叶变换(FFT)分别应用于每一帧。

为了减少由分帧引起的频谱扰动，我们在神经网络中应用了窗函数。窗函数的使用减少了频谱中的噪声量，从而提高了信噪比。使用窗函数的缺点是所谓的频谱泄漏。频谱泄漏是傅立叶变换在非基频下产生的非零值的通用名称。窗函数的选择是许多特性之间的权衡。在我们的工作中，采取了下式窗函数：

$$w[k] = a_0 - a_1 \cos\left(\frac{2\pi k}{N}\right) + a_2 \cos\left(\frac{4\pi k}{N}\right) - a_3 \cos\left(\frac{6\pi k}{N}\right)$$

$$a_0 = 0.35875; a_1 = 0.48829; a_2 = 0.14128; a_3 = 0.01168$$

通过采取上述神经网络模型，本项目提供的回归模型将被部署到一款可投入实际使用的电脑软件中。这款软件不仅能够实时处理多模态数据，还可以通过可视化方式呈现咀嚼能效结果，为医学研究、口腔健康评估及相关领域的实践提供重要支持。此技术方案的提出，不仅提升了咀嚼能效分析的精度和效率，还为未来在人工智能与口腔医学交叉领域的研究提供了新的方向。

四、创新点与项目特色

1. **创新性：**本项目开创性地将多模态数据采集、人工智能大模型与咀嚼效评估相结合，独特设计并实现了一套高效、精准的咀嚼效率评估硬件及系统，展现了显著地创新性和实用性
2. **非侵入性和用户友好性：**由于采用非侵入式的多模态方法，不会对人体造成潜在的健康风险，参与者在进行评估时舒适度更高，不需要进行复杂的准备或配合，极大降低了参与者的心理负担和不适感。
3. **高效性和高自动化性：**相较于传统的评估方法，简单操作该咀嚼评估系统即可完成数据采集、评估咀嚼能力等一系列过程，大大节省了时间成本。在评估过程中不需要专业人员在旁进行操作，只需带上简单的基础设备，完成简单咀嚼动作系统便能自动开始评估，具有高自动化性。
4. **高准确性：**相比于采用咀嚼能力自我报告或人工观察作为系统设计的标准，本发明采用特殊变色口香糖，利用lotte_gum_check_app软件评估咀嚼能力等级，更加准确；由此得到的模型高拟合标准评估结果，因此本发明在评估咀嚼效率上具有高准确性。
5. **高实用性：**本系统可能推动人工智能技术在咀嚼能效评估领域的应用，提高评估的效率和客观性，能够为老年人和特定患者群体提供更有效的营养健康监测手段。临床医生可以依据更准确的评估结果，为患者制定个性化的饮食和治疗方案，有助于改善患者的营养状况，提高生活质量。在社会层面，本研究成果也可应用于公共卫生领域，为大规模人群的健康管理提供支持，促进健康老龄化和疾病预防工作的开展。

五、项目研究进度安排

本项目的进度安排如下：

- 1、完成多模态咀嚼测量装置设计
(2025 年 1 月-2025年 4 月)
- 2、完成多模态智能咀嚼装置搭建并初步测试
(2025 年 4 月-2025 年 7 月)
- 3、完成数据采集，测试并选取神经网络模型进行训练
(2025 年 7 月-2025 年 10 月)
- 4、进行神经网络优化，实现咀嚼评估的高效性和高准确性
(2025 年 10 月-2025 年 11 月)
- 5、申请发明专利，撰写学术论文
(2025 年 11 月-2026 年 3 月)
- 6、完成并完善项目技术报告、结题报告
(2026 年 3 月-2026 年 4 月)

六、项目经费使用计划

| 支出科目 | 拟申请经费（单位：元） | 申请理由 |
|--------------|-------------|--------------|
| 专利申请费 | 3000 | 申请专利的费用 |
| 实验费 | 4000 | 咀嚼测试获取实验数据 |
| 图书资料费 | 1000 | 购买书籍资料，电子资源等 |
| 论文版面费 | 4000 | 论文出版的费用 |
| 合计 (单位：元) | 12000 | |

七、项目预期成果

- （1）理论成果： 建立一套高精度、非侵入式新型多模态智能咀嚼能效评估方式；
- （2）系统成果： 开发一套基于神经网络与深度学习基础的多模态智能咀嚼测量装置；
- （3）科研成果： 发表论文1篇或申请专利1项；
- （4）教育成果： 培养具有较强科研能力的本科生2-3名；
- （5）现实成果： 与相关医疗机构合作，投入实际使用；

八、项目诚信承诺

本项目负责人和全体成员慎重承诺，该项目不抄袭他人成果，不弄虚作假，先诚实做人，再诚信做学问和研究，按项目进度保质保量完成各项任务。

项目负责人签名：王硕硕

项目组成员签名：张立璇 刘祥超
田启硕 范保辰

2025 年 月 日

2025 年 月 日

指导教师意见：

签 名：

年 月 日

学院意见：

签名盖章：

年 月 日

学校意见：

签名盖章：

年 月 日