

# 压力传感器应用于手功能评估初探

李慧君<sup>1</sup> 苏会萍<sup>1</sup> 魏江曼<sup>2</sup> 殷其勇<sup>3</sup> 汪翠燕<sup>1</sup>

1. 安庆医药高等专科学校临床医学系 安徽安庆 246052
2. 安徽医科大学医学技术学院康复治疗技术专业 安徽合肥 230032
3. 安徽医科大学康复医学与理疗学专业 安徽合肥 230032

**摘要:** 随着科技的飞速发展,将各学科进行了更深一步的融合。越来越多互联网、大数据也逐渐深入到医疗行业中。这不仅提升了医疗技术的发展,同时,也解决了当前医学界面临的众多问题。借助网络传输下的传感器,作为数据采集的重要工具,在科技发展的进步中扮演着重要的角色。目前,在医疗应用较多的是压力传感器,可对膀胱、动脉、静脉等进行压力测定。我们关注到的是可协助医务人员进行手功能评估可穿戴式压力传感器。不同类型传感器的原理差异决定了其使用的方向的不同。本文就压力传感器的工作原理和手部压力感受器的种类作如下叙述,以期后续辅助器具的改进提供部分思路。

**关键词:** 压力传感器;手功能;评估;康复

## An try on Pressure Sensor Applications for Hand Function Assessment

Huijun Li<sup>1</sup>, Huiping Su<sup>1</sup>, Jiangman Wei<sup>2</sup>, Qiyong Yin<sup>3</sup>, Cuiyan Wang<sup>1</sup>

1. Clinical Medicine Department, Anqing Medical College, Anqing, Anhui 246052
2. Major in Rehabilitation Treatment Technology, College of Medical Technology, Anhui Medical University, Hefei, Anhui 230032
3. Major in Rehabilitation Medicine and physiotherapy, Anhui Medical University, Hefei, Anhui 230032

**Abstract:** With the rapid development of science and technology, various disciplines have been further integrated. More and more Internet and big data have gradually penetrated into the medical industry. This not only improves the development of medical technology, but also solves many problems currently faced by the medical community. As an important tool for data collection, sensors under network transmission play an important role in the progress of scientific and technological development. At present, the most common medical applications are pressure sensors, which can measure the pressure of the bladder, arteries, and veins. We are concerned with wearable pressure sensors that can assist medical staff in assessing hand function. The principle differences of different types of sensors determine the different directions of their use. In this paper, the working principle of the pressure sensor and the types of hand pressure receptors are described as follows, in order to provide some ideas for the subsequent improvement of assistive devices.

**Keywords:** Pressure sensor; Hand function; Assessment; Rehabilitation

### 引言:

在当前的时代背景下,大数据、物联网、5G、云计算等诸如此类的现代化信息技术让掌握数据更加迅速

与便捷。作为掌握数据资源的末端工具——传感器,在当前时代背景下拥有着较为突出的身份。需要指出的是,拥有可以使环境压力模拟信号变更为数字信号的器件——压力传感器,在众多传感器中脱颖而出,正成为康复评定和康复训练中愈发常见的应用载体。然而,由于医疗技术的进步和压力传感器本身具有的传统无机材

**课题项目:** 安庆医药高等专科学校康复治疗技术高水平专业群,项目编号: 2020zyq49

料的特殊属性,使其已无法匹配柔性可穿戴电子设备和在可拉伸性及柔性等诸多属性上的新需求。所以,发展新材料以应用在探索灵敏度高、功能性强、适用场景多、相对节能的创新式柔性压力传感器,才能适应市场需求。更具有今后大范围应用于可穿戴电子设备的适用价值。

### 一、压力传感器概述

压力传感器作为一种辅助医疗的工具,能够将环境压力信号或模拟信号转化为数字信号,并形成可视化图表,可协助医务人员进行精准医疗评估和病情诊断<sup>[1]</sup>。社会的发展也体现在生活质量的趋向优质,随之而来的是大众对于生活品质需求的提升。医疗的舒适感、体验感和环境的友好性也逐步成为人们关注的方向之一。在这样的大环境下,传统材质的压力传感器需要改进的方面在使用过程中逐步体现,尤其是其舒适性和多功能及便携性问题需要解决。新的材料科学助力医学发展,纳米技术应运而生,在医疗行业中如雨后春笋版崛起。纳米加工技术<sup>[2]</sup>极大地提升了传感器的灵敏度、集成度以及可靠性,探索灵敏度高、功能性强、适用场景多、相对节能的创新式柔性压力传感器,已然不断朝着更具有今后大范围应用于可穿戴电子设备适用价值的方向发展。

目前的压力检测主要基于四种基本工作原理:包括压阻式<sup>[3]</sup>、电容式<sup>[4]</sup>、压电式<sup>[5]</sup>和摩擦式<sup>[5]</sup>。在这四类当中,电容式及压阻式主要是借助检测外力影响对器件阻值及容值产生作用,从而完成其检测压力的过程,他们灵敏度高,即使是微小的静态力产生了变化也能发现。另外两种:摩擦式及压电式却是借助检测压力动态作用环节中生成相应的电压信号,从而完成其对相关压力的检测,因此它们更适合用于检测动态力的变化。

1.压电式压力传感器:Yang<sup>[7]</sup>等人于2021年利用静电纺丝制备出压电复合物聚偏氟乙烯(poly(1,1-difluoro ethylene)PVDF)纳米纤维,与此同时,利用外延生长技术在PVDF纳米纤维表面生长出致密的氧化锌纳米棒从而获取一种压电材料(核壳结构),从而促成有机无机压电材料的无缝耦合,彰显出的压力响应特性是十分良好的。以可穿戴传感器贴敷在人体表面的方式,成功完成人体生命体征的感应(例如运动信号、呼吸信号、脉搏信号等)。

2.电容式压力传感器:Guo<sup>[8]</sup>等人于2018年借助聚二甲硅氧烷(PDMS)复刻荷叶表面的图案化微凸结构,喷涂银纳米线将其制备为图案化柔性电极,与此同时,利用无色聚酰亚胺制备出具有图案化电极的柔性电容式压力传感器。

3.摩擦式压力传感器:Ma<sup>[9]</sup>等人于2020年借助PDMS和Ti3C2制备出一种高电负性复合摩擦介电层,与此同时,借助单电极式的摩擦机理促成了一种可以检测人体运动状态的生物学属性传感器。该传感性贴敷于衣物或皮肤时,可以轻松测出外界刺激下的相异信号。

4.压阻式压力传感器:Shen<sup>[10]</sup>等人于2016年借助静电纺丝技术制备出PVDF纳米丝线,随即利用其和还原氧化石墨烯复合形成导电纳米纤维。与此同时,利用纤维堆叠形成压力敏感层,且以电极搭接在其双侧形成压力传感器。在外力作用过程中,纤维间互相接触,形成大量搭接节点,与此同时,建立密集的导电通路从而造成敏感层内部电阻减小,相伴随的则是导电的纤维敏感层和双侧电极的接触面扩容,造成和电极之间界面电阻减小,随即减小了传感器整体内阻。

### 二、关于手功能的压力传感器概述

临床上许多神经系统疾病、骨关节疾病都会伴随着出现手功能障碍,常见的有:脑卒中后偏瘫、手部外伤、风湿性关节炎、腱鞘炎等。脑卒中后偏瘫引起的手功能障碍,偏瘫侧上肢甚至会出现肌肉挛缩、关节活动度受限、屈肌的张力增高、手部痉挛、精细活动下降等症状,严重的甚至会出现手功能的丧失。因此,手功能康复是临床中常见疾病康复的重点之一。手功能的康复首要前提是功能评估,包括运动功能、精细动作、协调性等。针对于手功能康复评定方向,聚焦于数据采集的手部康复机器人应运而生。关于手功能的压力传感器,目前主要包含以下几种:

1.关节活动度测定:测量关节运动角度的传感器主要含电位器<sup>[11]</sup>、柔性电阻感应器<sup>[12]</sup>、曲率传感器<sup>[13]</sup>三种类型。其中柔性电组感应器具有体积小、易安装等优点,被广泛用于关节运动角度测量。

柔性电阻传感器:该传感器可在室温下连续工作,同时,对微量极性有机气体有高灵敏度,同时还有良好的重复性和可靠性。同时,该传感器可在室温条件操控和使用,因其具有良好的柔性,有望集成于便携式可穿戴设备。柔性传感器是指采用柔性材料制成的传感器,具有良好的柔韧性、延展性、弯折性等,由于材料和结构灵活,柔性传感器可以根据应用场景任意布置,可以对身体的脉搏、呼吸、震颤和肢体动作等信息随时捕捉,有助于推动健康评估与疾病诊断技术向智能化、远程化、高效化、精准化等方向发展。柔性电感式传感器是利用线圈自感或互感系数的变化来实现数据测量,具有结构简单、灵敏度高、输出功率大、输出阻抗小、抗

干扰能力强及测量精度高等一系列优点。

美国 HOGGAN MicroFET6 便携式数字关节活动度测试与测斜仪, 是双数字测斜仪, 旨在进行准确, 客观的运动测量范围。它可以用作双测斜仪或单测斜仪。采用人体工程学设计轻巧, 重量不到一磅。这种设计提供了最佳的器械放置和脊椎间隙。无线的支撑避免了电线缠绕和连线到数据收集计算机的麻烦。产品可以进行  $1^\circ$  以内的精度调节, 在 LCD 屏幕上轻松查看结果从  $0^\circ$  到  $180^\circ$  以  $1^\circ$  为增量进行测量, 在使用过程中可用充电锂离子电池, 同时, 使用 3 分钟后系统自动激活“睡眠”模式以延长电池寿命。

2. 驱动力矩/力采集: 测量手部驱动力矩/力大小的传感器有力矩传感器<sup>[14]</sup>、气压传感器<sup>[15]</sup>、垫片式压力传感器<sup>[16]</sup>, 其中垫片式压力传感器被广泛用于测量康复机器人的手指拉力。

气压传感器: 采用归一化设计的电路和装配工艺以及独特的传感器应力隔离技术, 经温度补偿及高稳定性放大处理。高质量的传感器、归一化设计的电路、精湛的封装技术以及完善的装配工艺确保了该产品优异质量和性能。该系列产品是专门为工业和民用 OEM 客户设计, 建立了新的性能价格比标准。

3. 其他数据采集: 运动轨迹的采集使用已有的运动捕捉系统, 如 Prime 13、MoCap<sup>[17]</sup>, 可显示手指关节标定点的实时运动轨迹。此外, 用于手部数据采集的传感器还有加速度传感器<sup>[18]</sup>、EMG 传感器<sup>[19]</sup>, 分别用于测量人手位置姿态和采集人手前臂的肌电信号。

### 三、讨论

近年来, 随着科技的进步和康复需求的增加, 压力传感器应用于手功能的研究成为医务人员的研究方向之一, 为后续康复辅助器械的更新迭代奠定坚实的基础。2021 年杨延辉等认为智能软体手功能康复机器人在脑卒中后患者手功能康复中有着积极的效果, 多关节、多通道的压力传感器, 将会在临床康复中有着巨大的应用潜力。压力传感器应用于手功能评估的设计与使用以及后续的优化迭代是一项十分艰巨的工作, 这些工作需要由患者、康复工程师、康复医师互联网工程师等有关专业人员构成的技术团队共同实现。

目前在临床上大多采用量表的形式对上肢运动功能、包括手功能进行评估, 采用量表评估的方式精确性及客观性欠佳, 跟医师的主观意识关联性较强, 且评估数据不易保存。虽然近年来生物力学测试、三维运动捕捉技术、表面肌电图、智能康复机器人等客观评估手段技术

不断出现在上肢运动功能的评估研究中, 但是这些技术或设备大多数是针对上肢的局部功能或某个方面进行展开的, 例如肌力测试装备主要通过上肢运动过程中肌力变化情况来对上肢肌肉力量水平进行综合评价。上肢机器人则更加注重于对上肢运动功能患者展开定量化、重复性的功能性训练且其大多数是侧重于某个关节或局部的训练。然而, 人的肢体是一个不可分割的有机整体, 上肢运动功能涉及手臂肌肉力量、肘腕关节活动角度及手部力量、手指灵活性等多种因素, 无法进行准确的逐项检测, 所以需要从“系统”的观点出发, 通过对上肢肌肉力量水平、关节活动度、手部精细动作控制能力方面的测评, 整体对老年人的上肢综合运动能力进行评价。

医院使用的大部分手功能评估终端, 存在劳动量大、费用昂贵且训练效率和强度难以保证等问题, 缺乏评价训练参数和康复效果关系的客观数据, 难以对训练效果进行跟踪优化, 实现治疗方案动态调整。加入压力传感器后的, 可以通过大数据直观看到病人病情的改善和手功能康复的效果。随着人们对生活需求的不断提高, 患者对手部功能康复机器人的期望也随之越来越高, 将压力传感器融入手功能评估的研究和使用, 可简化医师对患者一对一的繁重治疗过程, 且存在主观误差, 有助于推动手功能障碍患者精准康复, 实现人人享有康复服务这一宏伟目标。同时, 融入压力传感器的手功能评估产品也拥有许多人类无法比拟的优点: 一方面患者能够获得长期稳定的训练, 另一方面能精准客观的评估与训练实时数据记录反馈与分析, 康复医师可对患者进行指导与康复处方的调整。尽管我们已经取得了很大的进步, 但我国手功能康复仍面临很大压力, 现有的康复技术和康复用具远不能满足所有患者需求。我们还需要继续努力改进现有产品, 开发服务于患者有利于患者恢复的新产品, 这些都不是一蹴而就的, 但我们还有千千万万奋斗在一线的工作人员, 涓涓细流成大海, 颗颗碎石可成山, 经过大家不懈努力, 我相信我们将会会有一个更好的发展前景!

### 参考文献:

- [1]孙越, 陈晓娟, 贾敏, 李建霖. 三叉神经痛阈检测的压力传感器设计与实现. 长春理工大学学报: 自然科学版, 2022 年 1 期
- [2]Luo, Y., et al., Devising Materials Manufacturing Toward Lab-to-Fab Translation of Flexible Electronics. *Advanced Materials*, 2020. 32(37): p. 2001903.
- [3]Wang, X., et al., Sea urchin-like microstructure

pressure sensors with an ultra-broad range and high sensitivity. *Nature Communications*, 2021. 12(1).

[4]Wan, Y., et al., Natural Plant Materials as Dielectric Layer for Highly Sensitive Flexible Electronic Skin. *Small*, 2018. 14(35): p. 1801657.

[5]Lee, S., et al., An ultrathin conformable vibration-responsive electronic skin for quantitative vocal recognition. *Nature Communications*, 2019. 10(1).

[6]Zhu, M., et al., Self-Powered and Self-Functional Cotton Sock Using Piezoelectric and Triboelectric Hybrid Mechanism for Healthcare and Sports Monitoring. *ACS nano*, 2019. 13(2): p. 1940-1952.

[7]Yang, T., et al., Hierarchically structured PVDF/ZnO core-shell nanofibers for self-powered physiological monitoring electronics. *Nano Energy*, 2020. 72: p. 104706.

[8]Wan, Y., et al., A Highly Sensitive Flexible Capacitive Tactile Sensor with Sparse and High-Aspect-Ratio Microstructures. *Advanced Electronic Materials*, 2018. 4(4): p. 1700586.

[9]He, W., et al., Flexible single-electrode triboelectric nanogenerators with MXene/PDMS composite film for biomechanical motion sensors. *Nano Energy*, 2020. 78: p. 105383.

[10]An\_ultra\_sensitive\_and\_rapid\_response\_speed\_graphene\_pressure\_sensors\_for\_electronic\_skin\_and\_health\_monitoring.

[11]Jo, I., et al., Design of a wearable hand exoskeleton for exercising flexion/extension of the fingers. *IEEE Int Conf Rehabil Robot*, 2017. 2017: p. 1615-1620.

[12]Popov D,Gaponov I,R yu JH.Portable exoskeleton glove with soft structure for hand assistance in activities of

daily living[J],*IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 2017, 22 ( 2 ): 865 — 875

[13]Li H,Cheng L. Preliminary study on the design and control of a pneumatically-actuated hand rehabilitation device[C]Youth Academic Annual Conference of Chinese Association of Automation. Hefei, CN: IEEE Press, 2017: 860 — 865

[14]Decker M, Kim Y.A hand exoskeleton device for robot assisted sensory-motor training after stroke[C]IEEE World Haptics Conference. Munich, DE: IEEE Press, 2017: 436 — 441

[15]Ang BWK, Yeow RCH. Print-it-Yourself ( PIY) glove: a fully 3D printed soft robotic hand rehabilitative and assistive exoskeleton for stroke patients[C]IEEE.RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems ( IROS) .Vancouver, BC, CA: IEEE Press, 2017: 1219 — 1223

[16]Randazzo L, Iturrate I, Perdakis S, et al. mano: A wearable hand exoskeleton for activities of daily living and neurorehabilitation [J].*IEEE Robotics & Automation Letters*, 2018, 3 ( 1 ): 500 — 507

[17]Conti R, Meli E, Ridolfi A. A novel kinematic architecture for portable hand exoskeletons[J].*Mechatronics*, 2016, 35: 192 — 207

[18]Decker M, Kim Y.A hand exoskeleton device for robot assisted sensory-motor training after stroke[C]IEEE World Haptics Conference. Munich, DE: IEEE Press, 2017: 436 — 441

[19]Lince, A., et al., Design and testing of an under-actuated surface EMG-driven hand exoskeleton. *IEEE Int Conf Rehabil Robot*, 2017. 2017: p. 670-675.