

止血技能模拟训练装置设计

李博*, 陈卓, 吕沛阳

(国防科技大学, 湖南长沙 410073)

摘要 止血技能被广泛应用于应急救援行业, 是应急救援人员、医护人员的必备技能, 对于非专业人员来说, 掌握这一技能对于紧急情况下自救甚至他救同样具有重要意义。但是由于止血技能经验性占比较大、实操机会较少、实操即攸关生死, 如何进行高质量、可评估的止血技能学习培训是组训者需要考虑的问题。针对传统止血效果评估方法中教练员主观因素偏大的情况, 本课题旨在通过利用单片机和 MAX30102 传感器开发血流量可视化装置, 实现止血效果评估的客观化、直观化。

关键词 止血; 止血效果评估; MAX30102

中图分类号: TH77

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2023)08-0001-04

1 绪论

1.1 研究背景及意义

脉搏血氧饱和心跳是反映身体状况的两个关键物理量, 也是评价患者治疗疗效的一个重要指标。血氧是指血液中含氧血红蛋白的总数, 人体在血液中的含氧量越高, 人体的代谢就会更好。同时, 对临床急救工作也有一定的指导意义。心跳频率是一个人的心脏跳动频率, 正常范围是每分钟 60~100 次, 高于或低于这个范围人体都将处于危险状态。所以止血是急救中的重要的一步, 也是每个人应当掌握的自救技能。目前, 止血的训练活动极少开展, 民众普遍对此不熟悉, 所以, 设计一款止血技能模拟训练装置很有必要, 这种装置既可以普及止血技能, 又可以评判训练效果, 更好地帮助训练者改进提高, 在医疗器材方面具有广阔的市场。

1.2 当今研究现状

国外对这一问题的研究比较早, 并且在心率测量上比较成熟, 在各个参数上处于领先地位, 但是在国内这一领域的技术才刚刚起步, 还有很大的发展空间, 许多技术都要从国外引入, 而且最近几年也有一大批的科技成果出现。心跳检测法, 又称脉搏波检测方法, 有两种类型, 一种是透射型, 另一种是反射型, 这两种类型的差异主要取决于光电晶体管所接受的光是否是透射型, 如图 1。透射式检测是发光装置发出特定波长的光, 接收装置在组织的另一端接收透射过来的光信号。反射式检测是发光装置发出特定波长的光, 接收装置在组织的同一端接收体内血液反射过来的光信

号。透射式的光由于穿透性有限, 难以穿透过于厚密的组织结构, 只能放置于较薄的部位, 比如指尖、手腕等, 所以通常采用夹持式结构, 长时间的使用会压迫待测部位的血液循环。与透射式传感器相比, 反射式检测方法最大的优势在于不需要考虑待测部位的透射性, 受测试位置的限制小, 佩戴时方便舒适, 并且可以用于智能可穿戴设备。但反射式传感器的灵敏度较高, 外界环境的光容易对设备造成干扰, 导致测得的数据不够准确, 产生一定误差, 因此对传感器密光性有更严格的要求。

有关心跳频率的研究最早出现在 18 世纪 80 年代。意大利的“伽法尼”已经研究出了一种在低强度的电刺激下, 可以使肌肉发生一种收缩的效果。直到 1930 年, 才有了现在这种脉冲式血液含氧量计的雏形, 马修斯花了很大的工夫, 才研制出了全球首个血液含氧量检测器。近年来, 随着互联网技术的快速发展, 以及物联网、大数据等新兴技术的应用, 血液含氧量、心跳等检测设备逐渐向智能化、高科技方向发展。

在 2022 年, 苏杰^[1]等研发出了一套带有心跳、血氧监测的智能头盔, 可以对工作人员的身体状况进行监测, 让使用者可以随时在线看到自己的心跳、血氧等数据。在心跳和血氧浓度超过预定的设置值时, 警报模块发出警报, 并将有关的消息传送到服务器端。

针对深圳惠利电子技术^[2]公司研制的一款反射型心律调节器, 可有效地提高心律调节器的使用寿命, 提高人体的舒适度。

广西师范大学教授吴磊^[3]研制出一款以 LoRa 为

*本文通讯作者, E-mail: 540919838@qq.com。

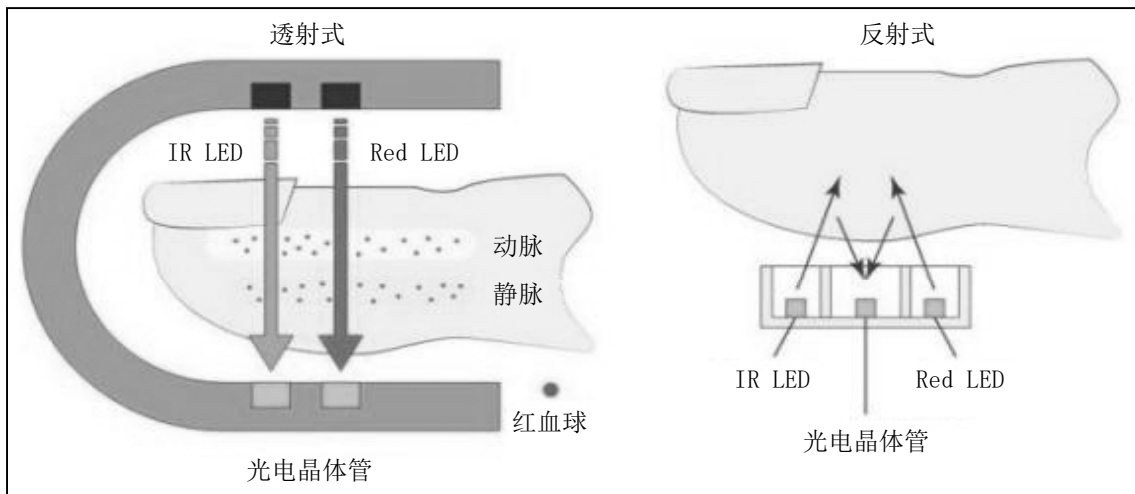


图1 透射式与反射式

核心的可实现对心跳、血液、氧气等参数进行实时监控的手链。由 LoRa 基地所联结的伺服器，对测试结果进行整理、储存，让各个护士站都能即时监控每位病人的心跳、血氧状态。由内蒙古大学的秦佳旺^[4]研制的家用 PAHs 检测装置（以手指为中心），应用前景较好。桂林科技学院杨森杰^[5]以 STM32 单片机为核心，结合安卓操作系统，研制出一款可移动的、可无线传送的心跳、血液、氧气、心跳等数据，并将其通过无线方式传送到网上，具有很好的应用前景。武汉科技学院王超教授^[6]在 STM32 上研制出了一种新型的家庭血压监测装置，该装置使用了一种带手指套的血氧传感器，可以对患者的血氧水平、血压和心电图进行监测。刘雯^[7]等人提出一种以 nRF51-DK 为基础的，实时性较好的智能心跳手链。而王世豪^[8]等人则是独具匠心制作了一套智能衣服，可以收集到身体各个部分的心跳、血液、氧气等信息，当这些信息出现异常时，还可以用手机发信息通知穿戴者，在实际应用中有很高的实用性。钟其元^[9]所提出的一种反射型心跳、血氧值监控感应器，该感应器使用了一种由光学器件所发出的光波，通过身体被折射后，抵达一种光学检测器，利用感光元件的感光特性，可得到心跳及血液含氧量。陈孝英^[10]介绍了一种在 STM32 平台上开发的血氧、心跳监测方法，该方法使用 OSRAM 公司的 SFH7050 光电传感器，加上绿色 LED，从而可以对血氧、心跳进行单独的监测。而王翔^[11]则是发明了一种可佩戴式的仪器，并且开发出了一种可以接受蓝牙信号，并且可以将人的各项生理指标都显示出来的 APP。

通过上述的调查，我们可以发现，不管是在对其进行的理论研究，还是在对其进行的产品设计方面，

血氧心跳探测器都可以被放置在手指、耳垂和腕部等位置，因为在这些位置，它的脉冲振幅比较大，易于被探测，而且所生成的信号也比较强。但是如果病人有体温过低、血容量过低、血管有收缩等症状，就很容易在上述部位进行动脉血氧饱和度的测量。经耳导管取血氧仪不存在上述问题，所取血氧仪具有更好的透过性^[12]。张蕾蕾等人^[13]在耳道中设计了一种可穿戴的反射式无线血氧监测器，该监测器的设计是按照人机工程学的原理进行的，但是，有调查显示，当穿戴者在咀嚼讲话的时候，它的扰动比较大，使其不能精确地探测到信号。

2 光密度理论与 PPG 特性

本节简单介绍了无创测量血流量的相关理论，包括朗伯-比尔定律和 PPG 技术在测量血流量中的运用。

2.1 朗伯-比尔定律

朗伯-比尔定律 (Beer-Lambert Law) 源自朗伯定律和比尔定律的条件互补，是比色分析的基本原理，描述了有色液体对单色光的吸收程度与光通过的溶液厚度和液体浓度之间的定量关系。

朗伯定律指出，光被可透光介质吸收的多少与在光程上每等厚层介质吸收的多少成正比，与入射光的强度无关。

比尔定律指出，光被吸收的量与光程中光吸收的分子数目成正比，该关系可以表示为：

$$\log\left(\frac{I_0}{I}\right) = \varepsilon Cl \quad (1)$$

式中： I_0 和 I 分别为入射光强度和透射光强度； C 为样品浓度； l 是光程； ε 与吸收物质的性质及入射光

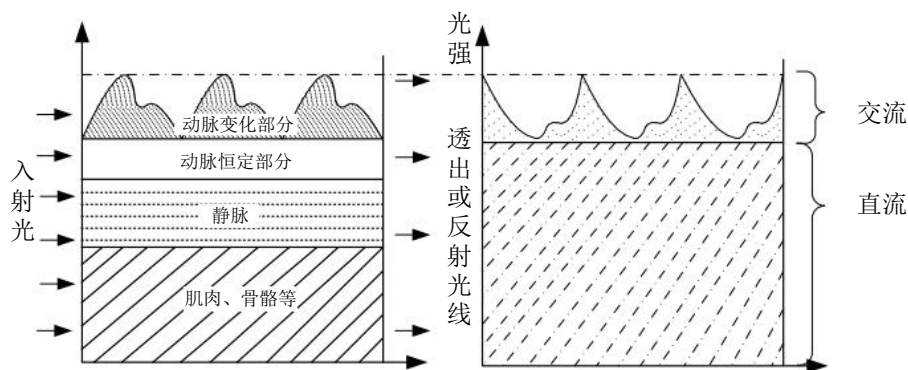


图 2 光电容积脉搏波示意图

的波长 λ 有关, 是反映光的吸收量的比例系数。

需要注意的是: 朗伯定律的使用条件是“溶液的浓度固定”, 而比尔定律的适用条件之一是“透光液层厚度固定”。这意味着对于吸收定律, 必须同时考虑 c 和 b 对光吸收的影响, 即朗伯-比尔定律。这是因为实际应用场景中的溶液的浓度 c 和透光液层厚度 d 都是会变化的。

朗伯比尔定律指出: 当一束平行单色光透过某吸光溶液时, 溶液的吸光度会与光在溶液中的光程 (即溶液的厚度) 和溶液的浓度成正比, 其关系可以表示为:

$$\log\left(\frac{I_0}{I}\right) \propto c, d \quad (2)$$

2.2 PPG 特性

光电容量脉搏波形 (PPG) 是一种非侵入式的检测手段, 可通过光敏脉冲波形 (potential potential group, PPG) 来检测体内血流体积的改变。

人的心脏会有节律地舒张、收缩, 为体内的血管输送鲜血, 这是一种循环。当血液流过一条可扩张的动脉时, 就会产生一个脉冲。最常用的脉冲信号有两种, 一种是脉冲击压, 另一种是脉冲电压。在图 2 中, 显示了一个光电容量脉搏波形的图表。当一束单一颜色的光通过身体组织, 如骨骼、血管、肌肉等, 会产生一种短暂的反射光。如果散射和投影都是一个固定的数值, 那么在光电传感器上所探测到的就会是一个直流的信号。而在血管中, 因为脉搏波的存在, 会引起对光的吸收或者是折射, 从而引起脉搏波的起伏, 使光电传感器探测到的是交流信号。

PPG 技术目前存在一定的局限性。一是采集 PPG 信号时面临光学噪声的降噪问题; 二是不同肤色对于光信号的采集也带来了一定的影响; 三是 PPG 传感器在人体的佩戴位置影响了无创检测的质量。

3 血流量的测量与标定

本课题利用 MAX30102 传感器进行光电信息采集, 配合 Arduino Uno R3 单片机进行电路设计以及代码编写, 以期能够实现血流量波形的可视化, 通过比较波形样式来判断血流量大小, 进而判断止血技能操作的有效性。

3.1 基本原理

MAX30102 传感器利用其 LED 部件发射光穿过皮肤、肌肉、骨骼、动脉、静脉等人体组织, 并采集吸收和反射回到光电二极管中的光的回波信号, 通过光的反射来反应血液流动情况。在测量部位没有大幅度运动的情况下, 由于人体的肌肉、骨骼等其他连接组织对于光的吸收是基本不变, 而动脉中血液在流动, 这会导致其对光的吸收有所变化。当血液流动时单位体积内对光有吸收效果的物质处于运动状态, 相对来说吸收的光会少些; 但是血液不流动时, 吸光物质堆积在血液中, 会增大对光的吸收程度。

3.2 软硬件实现

在硬件上, Maxim 公司的 MAX30102 是一款整合了心跳检测仪和脉搏血氧饱和度检测仪的综合模组, 将光电探测器、红光发光二极管、红外线发光二极管等有机结合在一起, 形成一种低噪声的电子线路, 其能够抑制周围光线。这种传感器使用的是一个 5.0V 的电力和一个 1.8V 的电力, 用于可穿戴设备, 经常佩戴在手指、耳垂和手腕等地方进行心跳和血氧采集。通过与 I2C 协议相匹配的通讯方式, 可以将数据传送到 Arduino Uno, 完成心跳、血氧饱和度的测定。另外, 利用软件关闭功能, 可以使整个系统的待机电流趋于 0, 从而使系统在任何情况下都能保持正常工作。正是由于它的出色表现, 这款芯片才会被广泛地用于三星 Galaxy 系列的产品中。相对于上一代的 MAX30100 来说,

这一次的晶片在内外光线的影响下,采用了更好的玻璃罩,使其具有更好的稳定性。ArduinoUNOR3MCU为ATmega328微型处理机,此型式包含14路数字和6路模拟输入和16MHz水晶、USB和供电接口;自带磁头、重置按键等功能,比上一代更快、更稳。

MAX30102传感器利用光电二极管和模拟前端(AFE)来捕获反射回来的光,并且将这些模拟信号用波形体现出来。上述变化体现在波形图上即为:未止血时,波形呈现周期性波动并且波峰较高;达到止血效果时,波形趋于平坦,波峰大幅减小,近乎一条直线。之后将此模拟信号转换为数字信号用以控制LED流水灯,在未止血时,流水灯正常闪烁,开始止血后,流水灯闪烁减慢逐渐停止,以此来反应止血效果。

软件方面,MAX30102内部集成了一整套完整信号采集电路,包括光信号发射及接收、AD转换、环境光干扰消除及数字滤波部分,只将数字接口留给用户。本小组通过单片机的IIC接口,对MAX30102内部的寄存器进行读写操作,得到了转换后的光强度数值。算法处理的核心就是将反射光的光强度在显示器模块显示出来,即以时间为横轴、反射光强度数值为纵轴作图。对于MAX30102的驱动程序,将其拆分出来,可分为标准IIC程序和MAX30102寄存器的读写操作,实现这两部分的编程,便完成MAX30102的驱动。此处需要显示的波形,即光电容积脉搏波。当参训人员进行止血技能训练时,受训者远心端由于受到止血带捆绑,血流量减小,导致光线的吸收或反射不再随着脉搏波的律动而律动,MAX30102也就不能检测到周期信号,而是变化趋于平缓的直流信号。当止血带捆扎未达到止血标准时,光电容积脉搏波周期性依然存在,但是峰值减小,由此即可判断出止血效果不合格,实现无创评估止血技能掌握情况。

经过多次试验,我们发现手腕及手腕内侧测出的波形极不稳定,并且所受外界影响较大,如手腕平放在桌面与手腕自然垂直两种情况下波形差异较大,受到干扰杂波较多,并且进行止血操作前后虽有波峰变化,但是不够明显,无法输出稳定信号作为判断止血效果的指标。面对上述问题我们给出的对策建议是:选定将传感器置于手指位置,可以实现我们构想的目标,客观准确地反映止血效果,将训练情况通过可视化设备反映给受训者。

4 总结与展望

本小组认为此设备可以达到以客观标准检验止血效果的要求。但是存在试验次数少、参与试验人数少、

未考虑个体差异、定性判断多于定量判断等问题,下一步将在这些方面进行进一步的完善。

本项目无论是对于军校学员、部队指战员还是地方高校的军训或者是医疗机构,止血技能都是一项必备的技能。平时练好止血技能无论对于军事领域的战伤急救还是民用领域的院前急救都有十分重要的意义。本项目在当今以虚拟交互为特征的模拟训练系统的大趋势下,解决了一些模拟训练装置制造成本高和易用性低的问题,可以在低成本、易携带、逼真性好等特点下实现对止血效果进行客观判断的目的。对于社会大众来说,人们可以自己检验对止血技能的掌握情况,以便在遇到突发情况时,可以成功进行止血操作,便于自行或者帮助解决平时生活中可能出现的出血事件。此客观反映止血效果的模拟训练装置,为之后的止血训练或战伤救护比武竞赛提供了更加客观、有效、统一的标准,并且为之后的医疗方面的模拟训练装置提供思路。

参考文献:

- [1] 苏杰,吴有龙,沈亮,等.基于心率和血氧传感器的智能安全帽人体体征状态系统设计[J].物联网技术,2022,12(03):14-16.
- [2] 朱艳芳,熊伟,谢宗武.一种反射式心率血氧传感器:CN215993952U[P].2022.03.11.
- [3] 吴磊,胡维平.基于LoRa的心率血氧实时监测系统的研究[J].电子设计工程,2019,27(14):97-101,106.
- [4] 秦佳旺.家庭脉搏血氧饱和度的监测及其分析[D].呼和浩特:内蒙古大学,2019.
- [5] 杨森杰,林锦锋,马凯创,等.一种无线便携式心率血氧检测仪的设计[J].科技创新与应用,2020(28):47-49,51.
- [6] 王超.基于STM32的家用监护仪系统的设计与实现[D].武汉:武汉理工大学,2014.
- [7] 刘雯,郑心雨,高宇晖,等.基于nRF51-DK的智能心率手环设计[J].物联网技术,2019,09(01):75-77.
- [8] 王世豪,臧衍乐,祝双武.具有心率血氧检测功能的智能服装设计[J].毛纺科技,2022,50(11):38-44.
- [9] 钟其元.一种反射式心率血氧监测传感器:CN217566052U[P].2022.10.14.
- [10] 陈孝英.基于STM32的血氧心率检测仪的研制[D].济南:山东师范大学,2017.
- [11] 王翔.可穿戴式心率传感监测装置的研究[D].成都:电子科技大学,2019.
- [12] 许建雯.基于信号质量评估的日常血氧及心率检测研究[D].兰州:兰州理工大学,2021.
- [13] 张蕾蕾,朱辰,郑敏,等.耳部佩戴型反射式无线血氧检测仪的研制[J].生物医学工程学进展,2018,39(03):130-134.