

压电驱动型胰岛素泵的研究

董景石¹, 程光明¹, 沈传亮², 杨志刚¹, 吴博达¹

(1. 吉林大学机械科学与工程学院, 130025, 长春; 2. 吉林大学汽车工程学院, 130025, 长春)

摘要: 针对目前糖尿病治疗用胰岛素泵系统采用电机-机械泵系统的应用现状, 提出了采用后推式压电驱动泵来代替电机-机械泵的研究方案. 该方案以压电泵为流体动力源, 利用压电泵驱动注射器实现药液的微量输出, 工作中压电泵中的工作介质不直接接触药液, 因此不会产生二次污染. 对设计研制的试验装置进行了初步试验研究, 试验测试结果表明, 在工作频率 150 Hz 时, 该泵的输出流量达 25 μL , 同时在出口压力超过输液泵输出压力时, 不产生液体倒流现象.

关键词: 压电驱动; 胰岛素泵; 糖尿病

中图分类号: TH137 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-987X(2007)05-0602-04

Piezoelectric Insulin Pump

Dong Jingshi¹, Cheng Guangming¹, Shen Chuanliang², Yang Zhigang¹, Wu Boda¹

(1. School of Mechanical Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130025, China;

2. School of Automotive Engineering, Jilin University, Changchun 130025, China)

Abstract: The back-push piezoelectric pump is presented according to the current application status of electrical-mechanical pumping system in diabetes treatment. The piezoelectric pump serves as power source in this scheme. The injector is driven by piezoelectric pump to execute micro output of drug. The working medium of piezoelectric pump do not contact drug in working status to avoid the secondary pollution. The experiment results show that the output flow rate of this pump reaches 25 μL at the working frequency of 150 Hz, and reverse flow is prevented. when the outlet pressure gets higher than the output pressure of infusion pump.

Keywords: piezoelectric actuation; insulin pump; diabetes

目前, 糖尿病已成为继心血管疾病和肿瘤之后的第 3 大非传染性疾病, 因此糖尿病的医治得到了有关人员的广泛关注^[1]. 由于胰岛素泵能模拟正常胰腺胰岛素的分泌模式, 因此采用胰岛素泵治疗的糖尿病患者能保持良好的血糖控制, 可令人满意地消除“黎明现象”, 并能改善使用者的生活质量. 根据欲摄入食物的量、种类及进食时间, 患者能随时调整胰岛素剂量, 使血糖控制在一个理想的范围内. 因此, 近年来应用胰岛素泵进行糖尿病的治疗已成为一种进行强化治疗的先进方法^[2].

但是, 目前市场上销售的胰岛素泵都是应用微型步进电机为动力源, 通过联轴器与螺杆相联, 当电

机转动时, 与螺杆相配合的螺母实现进给运动, 带动注射器的推杆运动来推动储药器后方的活塞, 把胰岛素输注到人体内^[3]. 由于微型步进电机成本较高, 并且工作时需要传动系统, 泵体结构相对较大, 因此本文提出了一种采用压电泵作为动力源, 推动胰岛素储药器活塞进行给药的新型胰岛素泵的研究方案, 可供医务工作者和相关科研人员借鉴参考.

1 工作情况分析

现在市场上的胰岛素泵普遍采用电机驱动和传统的螺纹传动模式, 受到电机运动精度和螺旋副牙距的限制, 因此难以做到精确调节. 为了提高胰岛素

泵的输出流量精度,不得不采用二级减速传动机构,虽然注射量可以更精确,但也同时增加了胰岛素泵的体积和成本。

压电驱动型胰岛素泵不仅成本低廉、体积小,而且通过电源输出电压和频率控制使注射药量的精度很高。压电泵属于容积泵,它的输出流量精度取决于泵腔容积的变形量和单位时间内的变形次数,泵腔容积的变形量由压电振子变形的大小来决定。压电陶瓷片的变形量不仅小,而且通过调节电压可以控制其变形量,通过调节电源输出信号数目可以控制压电泵的工作次数。

选用压电泵作为动力源的胰岛素泵的结构如图1所示。胰岛素泵的工作过程是:压电振子在驱动信号作用下向上变形时,使泵腔容积变大,工作介质进入泵腔;压电振子向下变形时,泵腔内容积减小,压力升高,介质由出口压入介质腔,介质推动活塞移动,使胰岛素腔压力升高,胰岛素由出口注入人体,压电泵进入下一个工作循环。

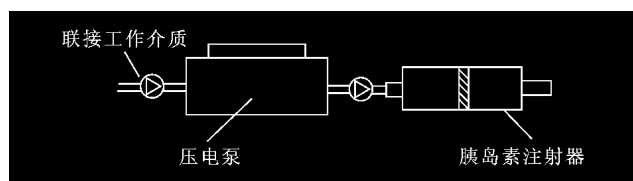


图1 压电驱动胰岛素泵的组成

将压电泵安排在注射器的后面,通过推注射器来完成注射,药液就可以不直接流经压电泵,不仅避免了制造压电泵时产生的有害物质污染药液,而且压电泵可以重复使用,因此提高了胰岛素泵输出的稳定性。

2 压电泵分析

压电泵是压电驱动型胰岛素泵的关键部件,首先对压电泵的工作特点和性能进行分析。与传统的机械泵相比较,压电泵具有体积小、无传动系统、结构简单、无电磁干扰和响应特性好等特点。近年来,在医疗器械和化学分析领域,微小型流体输送系统的应用研究较多,根据压电泵的流体输入、输出控制方式,可分为有阀和无阀两大类。有阀压电泵是压电泵的主要型式,这种压电泵具有较高的输出压力,可以防止流体倒流,能够实现压力和流量的精确控制。

压电泵属于体积泵,因此在分析过程中把压电泵的一个腔体简化为活塞式往复泵,一般情况下,泵

的进口压力和泵腔内的压力关系^[4]为

$$\frac{p_{\text{cmin}}}{\rho g} = \frac{p_{\text{min}}}{\rho g} - \left(h_{\text{ul}} + h_{\text{acl}} + h_{\text{fcl}} + \frac{u^2 + u_1^2}{2g} \right)_{\text{max}} \quad (1)$$

式中: p_{cmin} 为泵腔内最小压力; p_{min} 为最小吸入压力; h_{ul} 为吸入的阻力; h_{acl} 为吸入过程中,工作腔内的加速度头; h_{fcl} 为吸入过程中,工作腔内的摩擦水头; u 为活塞线速度; u_1 为吸入管的流速; ρ 为输送介质的密度; g 为重力加速度。

目前,研究较多的单腔有阀压电泵由于输出压力、流量有限^[5],因此对它的应用受到一定的影响。研究表明,通过增加泵腔数目可以在低电压下获得较高的输出性能,从而增大压电泵的输出压力和流量^[6]。因此,为了提高压电泵的工作能力,在胰岛素泵中采用多腔压电泵是一种可供选择的方案。

本文提出并且研制了可在胰岛素泵中采用的四腔串联式压电泵,设计研制的压电泵结构如图2所示,它由压电泵泵体、4个压电振子(A、B、C、D)和悬臂梁单向阀组成。其中,4个压电振子与泵体构成4个独立腔体,A、B、C腔在腔体内进口处有一个单向阀,D腔中有2个单向阀(除一个进口单向阀外,还有一个出口单向阀)。

压电泵工作时,在压电振子的压电晶片上施加交流电压信号,压电晶片在电场的作用下径向压缩(伸长)变形,使与压电晶片粘接在一起的金属片和压电晶片产生向上(向下)的弯曲变形,泵腔的容积也相应改变。

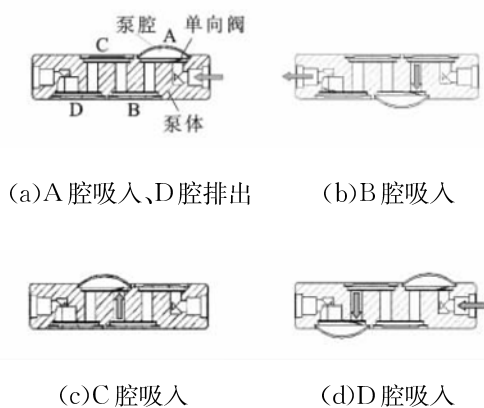


图2 四腔压电泵结构和工作过程示意图

压电泵工作中4个压电振子的驱动电压相位差为 180° ,4个腔体的容积交替变化。图2a表示当A腔的压电振子向上变形时,使腔体容积增大,腔内压力降低,A腔进口阀开启,流体由进口吸入到A腔;图2b表示A腔振子向下变形压出流体时,B腔的

压电振子向下变形使腔体容积增大,腔内压力降低,A、B腔间单向阀开启,流体由A腔进入B腔;图2c表示C腔的压电振子向上变形时,引起腔体容积增大,B、C腔间的阀开启,流体由B腔进入C腔;图2d表示D腔振子向下变形时,C、D腔间的阀开启,D腔由C腔吸入流体;然后A腔从进口吸入流体,同时D腔的压电振子向上将流体由泵体经出口截止阀排出,压电泵进入下一个工作循环。此时,压电泵相当于4个单腔泵串联工作,理论上输出压力为4个腔体的输出压力之和,但实际上要略小一些。

3 泵的试验与分析

3.1 试验设备

压电振子是由压电薄膜(厚度0.2 mm,直径14 mm)与厚度为0.18 mm的圆形铍青铜粘接而成,压电振子与泵体粘接形成0.1 mm高的腔体。

驱动信号由AG1200信号发生器和7058功率放大器提供,4路信号依次为相位差 180° 的正弦波信号,泵输送的介质为纯净水,并且对四腔串联压电泵的压力、流量进行了测量。

3.2 频率-压力特性

图3是频率 f 和压力 p 的关系, f 在0~2 000 Hz的范围内变化。 p 随 f 增加在150 Hz时出现峰值190 kPa。此后,虽然也出现了几个峰值,但绝对值都比较小。在 $f=150$ Hz时,压电振子的变形和单向阀的开启关闭具有较好的谐调关系,因此电压-流量测试中取 $f=150$ Hz。

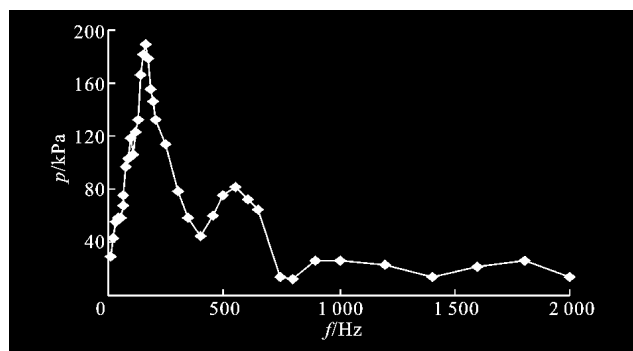


图3 压电泵频率-压力特性曲线

3.3 电压-流量特性

压电泵的 Q 与工作电压 v 的关系如图4所示。压电泵的 Q 是随 v 的增加而增加,且 Q 与 v 呈线性关系,因此可以通过增大 v 的方法来增大 Q 。由于在高电压下工作会降低压电振子的寿命,因此选定压电泵在 $v=50$ V的电压下工作。

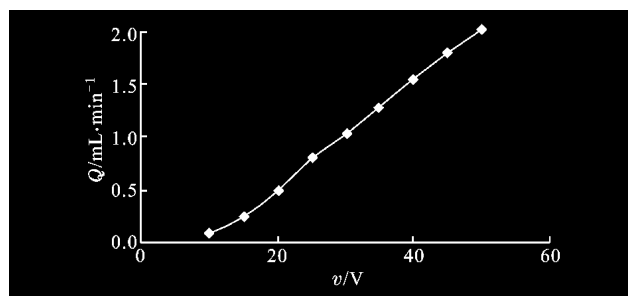


图4 压电泵电压-流量特性曲线

4 胰岛素压电泵的工作原理

驱动型胰岛素压电泵的试验装置由一次性使用的输药导管、一次性储药器、推注机构组成,其结构如图5所示。其中,推注机构由压电泵和E腔组成,在电信号的激励作用下,压电泵工作,将非药液介质推入E腔,进一步推动E腔和储药腔之间的活塞运动(E腔和储药腔之间的活塞将两腔分隔),随着活塞的移动,储药腔体积减小,将药液由输药导管输出,注入人体。

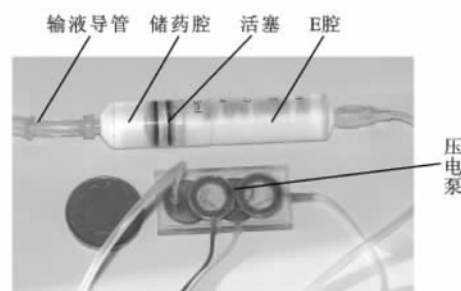


图5 胰岛素压电泵试验装置

5 胰岛素压电泵试验装置的测试研究

首先,验证由液压力推动储药器活塞的可能性,在改变储药器活塞上的液压力时,观察注射器输出的流量和压力。试验数据见图6。

在活塞前后压差较大时,输入压力与输出压力、流量基本成正比,液压缸输入的压力越大,储药器输出的压力和流量也越大。因此,在压电泵输出的压力作用下,储药器是可以实现流量输出的,即通过改变电源发出工作频率正弦波的个数来控制实现压电泵的微量输出。

图7表示控制信号中含有150 Hz的10个正弦波信号时,输出流量与压力的关系。从图中可以看出,在电压的控制下,胰岛素泵的输出流量已接近线性变化。因此,可以通过控制电压,使胰岛素泵输出

指定的流量。

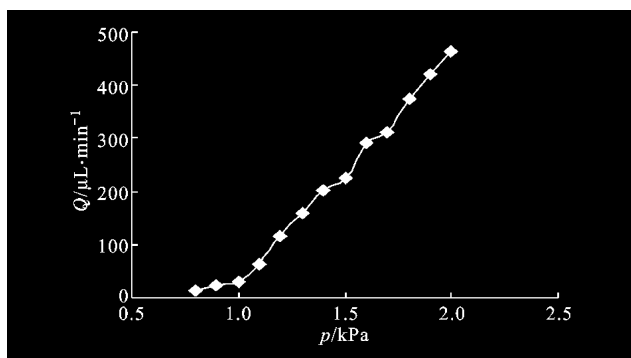


图6 注射器输出压力-流量特性曲线

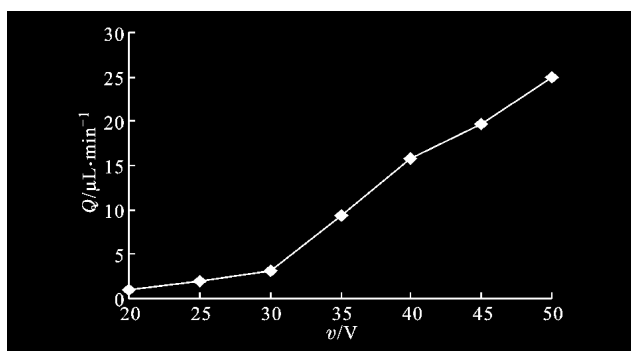


图7 胰岛素泵电压-流量特性曲线

6 结 论

本文提出了后推式压电驱动型胰岛素泵的研究方案,设计研制了试验装置,并进行了试验研究,得出的结论如下。

(1)把压电泵作为动力源,从注射器后面推动活塞注射药物的结构,具有良好的截止性,可以避免药物的回流现象,在应用中减小了药液被污染的可能,提高了泵的使用安全性。

(2)压电泵可以重复使用,不需要与输药管一起频繁更换,因此可使胰岛素泵工作具有很好的连续

性。

(3)采用多腔体及多振子压电泵,不仅提高了压电泵的输出压力,而且使得泵的压力大大高于工作时所需的压力,从而确保了药物输注的稳定性。

参考文献:

- [1] 臧庆,王琪民. 胰岛素泵的研究及对人工胰腺发展的展望[J]. 国外医学:生物医学工程分册, 2005, 28(2): 98-102.
Zang Qing, Wang Qimin. Research situation of insulin infusion pump and trend of artificial pancreas[J]. Foreign Medical Biomedical Engineering Fascicle, 2005, 28(2): 98-102.
- [2] Trajanowski Z, Wach P. Neural predictive controller for insulin delivery using the subcutaneous route [J]. IEEE Trans BME, 1999, 45(9): 1122-1134.
- [3] 沈阳安姆医疗技术发展有限责任公司. 智能型胰岛素泵的传动机构: 中国, CN 00210385[P]. 2001-08-01.
- [4] 往复泵设计编写组. 往复泵设计[M]. 北京:机械工业出版社, 1987: 34-41.
- [5] 阚君武,杨志刚,唐可洪,等. 新结构药品输送压电泵的泵送特性[J]. 生物医学工程学杂志, 2004, 21(2): 297-301.
Kan Junwu, Yang Zhigang, Tang Kehong, et al. Pumping performance of a new piezoelectric pump for drug delivery[J]. Journal of Biomedical Engineering, 2004, 21(2): 297-301.
- [6] 刘国君,程光明,杨志刚,等. 微型压电泵的实验研究[J]. 仪器仪表学报, 2006, 27(4): 336-340.
Liu Guojun, Cheng Guangming, Yang Zhigang, et al. Experiment research on piezoelectric micropump[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2006, 27(4): 336-340.

(编辑 管咏梅)

[文摘预登]

缝隙吹扫对静叶出口二次水滴直径影响的实验研究

王新军¹, 卢澄¹, 李振光¹, 高铁瑜¹, 刘建成², 张俊博²

(1. 西安交通大学动力工程多相流国家重点实验室, 710049, 西安; 2. 哈尔滨第七〇三研究所, 150036, 哈尔滨)

在缝隙热气流吹扫条件下,利用 Malvern 粒度分析仪对空心静叶尾迹区二次水滴直径及直径分布进行了测量. 缝隙位置分别位于静叶的内弧和背弧,实验结果表明:缝隙吹扫可以使静叶尾迹区的二次水滴 Sauter 平均直径减小 33.4%,水滴直径分布范围变窄,有利于减轻或防止动叶的水蚀. 此外,叶片背弧上缝隙吹扫的去水效果优于内弧上缝隙吹扫的去水效果。