**一种新型模拟生理血流的滚压泵**

翻译: 杜中涛 首都医科大学附属北京安贞医院

审校：周荣华 四川大学华西医院

【摘要】

具有生理上正确的血流波形是血流实验研究的一个关键特征，特别是在开发和测试一种新的医疗器械（如支架、机械心脏瓣膜或任何涉及血液循环的植入式医疗器械）的过程中。它也是体外循环（CPB）以及体外膜氧合（ECMO）灌注系统中的关键部分。研究人员使用模拟血流的实验性流体模型进行实验，而不使活体受试对象受到潜在的伤害或损伤活体器官的危险，它是体外研究必不可少的工具。模拟血流的基本要求是它必须能够模拟人体动脉血流生理学再现搏动血流，并且根据需要易于编程修改。本项目研究了一种新型滚压泵用于实验血流模型的可行性。

**材料和方法**

**实验流体环路**

根据图1所示的两条平行直线上的往复蠕动原理，开发了一种新型的往复滚压泵。主泵室由两个阻塞滚压泵以及闭和的环路组成。连接至位于储水箱下部至泵室的端口的管道为入口管道，而连接泵室至高精度超声波流量计的管道为出口管道。模拟血液的液体由40%体积的甘油和60%体积的水组成，其密度和粘度与人体血液的密度和粘度相似。通过在图1所示的初始位置阻塞位于入口管附近的滚轴托架从储液水箱逐渐远离移开，从而产生第一个心脏循环。下一个心动周期是通过阻塞出口管附近的滚轴托架移向储液水箱来实现的。然后，通过在泵室的两个轨道之间交替移动滚轴托架来创建连续循环。



图1（a） 超声波流量计和摄像机运动分析装置的实验流体环路

（b）管路堵塞机理和荧光贴纸的位置细节

**流量概述**

通过在从临床多普勒超声扫描仪获得的周期性循环放大副本上放置一张描记图纸，手动数字化颈动脉血流剖面10 ms间隔的流速，如图2所示。用颈总动脉（CCA）的横截面积乘以平均流速计算每个时间点的流量。然后创建一个带有100对流量与时间值的查找表，供内部开发的运动控制软件用于驱动往复式滚压泵。



图2 流量剖面的手动数字化

本研究中所用的肾上血流图用相关公式表示，

Q =C1+C2cos(2πt/T)+C3cos(4πt/T)+C4sin(2πt/T)+C5sin(4πt/T) 。

以10毫秒为间隔，用100个时间点手动数字化肾下血流图。有效流速由13.3毫升调整为12.5毫升，心率由64.5次/分钟调整为60次/分钟。表1显示了颈动脉、肾上和肾下血流的收缩期峰值速度（PSV）、收缩期结束速度（ESV）和舒张期峰值速度（PDV）时间点的流速值。图3所示的流量分布被加载到滚压泵中。



表1:PSV、ESV和PDV时间点颈动脉、肾上和肾下血流的参考流速



图3：参考血流图（a）颈动脉（b）肾上和（c）肾下血流。

**流量生成**

根据人体生理静息状态生成血流图，颈动脉、肾上和肾下血流的有效容积流率分别为0.36，1.5和0.75 L/min或搏出量容积分别为6，25和12.5 mL。

**流量测量**

使用超声波流量计，最小记录时间为10 ms，以提供快速响应和流量剖面的实时显示。此外，还采集、存储了12个周期性的颈动脉血流图，并在以后进行进一步分析。如图1所示，安装在滚压泵顶部的Apple iPhone7用于以每秒240帧的速度捕获分辨率为1280 x 720像素的图像，并使用内部开发的Matlab脚本分析荧光贴纸的移动。如图4（a）所示，在记录过程中，通过在暗室中照射紫外线来增强荧光贴纸的清晰度。在图4（b）所示的图像阈值的基础上，对图像进行分割以提取荧光贴纸的中心位置。



a



b

图4（a）紫外线荧光贴纸的记录和（b）荧光贴纸记录的分段。

**结果**



表2：测量和程序计算流量对比试验结果

从超声波流量计直接测量和间接通过泵控荧光贴纸的运动分析测量的流量分布与相似指数为0.97和0.99的颈动脉分布很匹配。因此，运动分析被认为是一种定量的测量方法。此外，基于运动分析法的测量分布和程序测量分布之间的相似性指数分别为0.99和0.96。



图5用（a）超声流量计和（b）运动分析法测量的颈动脉血流图。



图6测量的颈动脉血流与参考值比较



图7（a）测量的肾上血流剖面图（12个周期）

（b）测量的和编程计算的肾上血流剖面图



图8（a）测量的肾下血流图（12个周期）

（b）测量的和编程的肾下血流图对比

**结论**

往复式滚压泵能够产生符合人体生理的血流波形，并且与参考曲线非常匹配，因此被认为适合用于血管血流的实验研究。由于其设计简单，一次性使用的管子成本低，它也可能有潜力用于CPB和ECMO相关研究。