DOI:10.16016/j.1000-5404.1993.06.018

循环管路内流体扰动物理模型的研制

王建民 刘荫秋 李曙光 赖西南 王大田 (第三军医大学野战外科研究所) 630042

近来的研究表明[1],高速投射物伤时远达效应的发生与致伤瞬间循环管路内流体的剧烈扰动密切相关。但是,由于在体实验时影响因素较多,尤其是在神经体液因素的作用下,很难对管路内流体动力效应作出客观的评估。为此,我们以心血管系统物理模拟原理为基础,研制了该物理模型,为研究高速投射物伤时循环管路内的流体动力效应及其对组织细胞的影响提供了有力的手段。

1 模型的组成

1.1 驱动装置

采用偏心轮—连杆—活塞机构,通过活塞的往返运动,产生一近似的正弦压力曲线,用以简单模拟心腔内的正弦压力变化过程。调节偏心轮上的偏心距,可以改变活塞行程,调节泵出流量。

1.2 模拟心室腔

总容积 1500cm³,初始气腔容积可调。当模拟主动脉腔内压力为 11～16kPa 时,出口瓣开启时间约为 0.25s,每搏泵出量的理论值为 71ml,最大驱动压力为 34.89kPa。

1.3 模拟管路系统

模拟管路系统如图 1 所示。

1.3.1 主管路(T_1):内径 1.6cm,由模拟主动脉腔与阻尼器(R_1)组成,是一个体内主要动脉与总外周阻力的集中参数模型。模拟主动脉腔内初始气腔容积 0～300cm³ 可调,相应的液容值为 0～0.227×10^{-3}cm⁵/dyn,阻尼器 R_1 的阻值为 0.157×10^4dyn·s/cm⁵,分 3 级可调。

1.3.2 模拟主动脉段(AB):直径 0.6cm,管内压力、流量等参数依靠各部分的液容液阻元件来调整。

1.3.3 模拟股动脉段(T_2):直径 0.4cm,起始段埋置在明胶块中,终端阻尼器 R_2 的阻值为 0.263×10^5dyn·s/cm⁵。

1.3.4 模拟小动脉分支段(T_3):直径 0.3cm,终端阻尼器 R_3 的阻值为 0.135×10^6dyn·s/cm⁵。

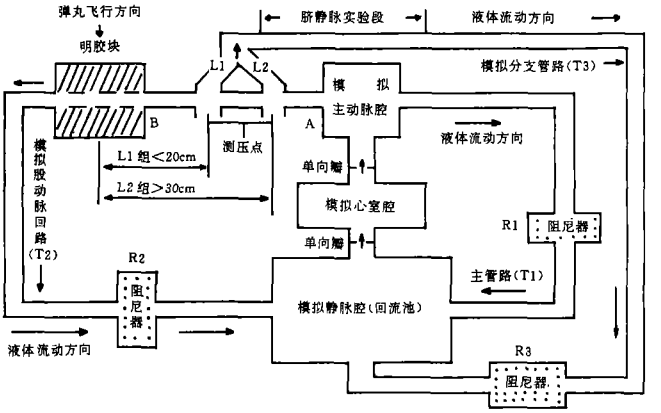


图 1 循环管路内流体扰动物理模型示意图

1.4 模拟肌肉组织

埋置乳胶管的 20%的明胶块(12cm×15cm×17cm)。置 4℃冰箱备用。

2 模型装置的模拟结果

脉动频率1.17Hz;管路内压力为18.67/10.40 kPa 时,T_1、AB、T_2 及 T_3 各管内的输入平均流量分别为 4060、749、224、175ml/min;雷诺数(均值)分别为5384、2646、1188、1237;α数分别为21.7、8.14、5.4、4.07;模拟主动脉及模拟股动脉内的压力波形见图 2、3。

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

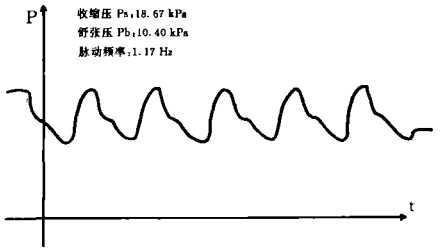


图 2 模拟主动脉管路内压力波形

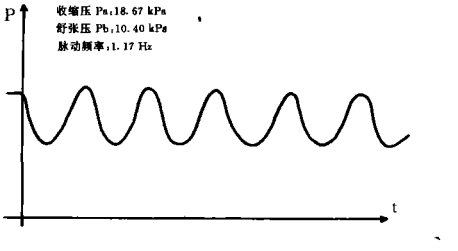


图 3 模拟股动脉管路内压力波形

3 讨论

3.1 模型设计的理论依据

该模型装置着重模拟了循环管路系统内压力、流速、雷诺数及终端负荷等主要动力学参数。为使这些模拟参数尽量接近生理状态，我们设计的主要理论依据有以下几点：(1)心血管系统的畸变模型[2]，强调模型与原型在动力学上的相似。如在血液动力学研究中，往往认为具有相同雷诺数的模型与原型具有相同的流体动力学特性。(2)弹性腔模型(Windkessel 模型)[3]，是一种分析心血管系统血液流动特性的简化模型，尽管较直观、简单，但所得结果仍可基本刻画出心血管系统的血液流动特征。(3)血管段模拟的集中参数模型[4]，其假定条件是血管壁无渗漏，然后求出血管段的液阻、液感、液容等集中参数来表达血管段的物理特性。

3.2 模型模拟效果的评估

评价模型模拟效果最基本的依据就是看其模拟参数与原型的相似性[5]。据此，本文拟从以下方面作一初步评估。(1)实验段采用乳胶管，保持了模型与原型的几何相似性。(2)在心脏的动力学特性上，基本上模拟了心腔内正弦变化的压力波形。(3)模拟管路内压力、雷诺数、Womersly 数及终端阻力等，基本接近正常动物生理状态[6]。(4)采用 20% 的明胶块模拟肌肉组织，在物理特性及局部损伤效应上均有良好的相似性。

3.3 模型装置的应用

运用本模型装置可以简化实验条件，从而使我们能够从某些侧面对高速投射物致伤瞬间循环管路内的流体动力效应及其对组织细胞的影响进行研究。如距撞击点不同距离管路内流体扰动程度的定量分析；不同管径、不同流体粘度及不同管壁材料特性条件下，流体扰动波传播的规律等。总之，模型实验有其直观简单的有利一面，但由于生物体内多因素作用的复杂性，因此，由体外到体内，仍然有一段艰难的历程。

关键词 模型，心血管；流体扰动

分类号 R322.1

参考文献

1. 刘荫秋 周宝桐 李曙光，等。高速投射物远达效应的机理及其伤情转归的初步探讨。中华创伤杂志，1991；7(增刊)：8～11
2. 王鸿儒 文宗曜。血液循环力学。北京：北京医科大学、中国协和医科大学联合出版社，1990：2～4
3. 柳兆荣 李惜惜。弹性腔理论及其在心血管系统分析中的应用。北京：科学出版社，1987：1
4. 陈君楷。心血管流体力学。成都：四川教育出版社，1990：436～456
5. Reul H, Tesch B, Schoenmackers J, et al. Hydromechanical simulation of systemic circulation. Med Bio Eng，1974；12(4)：431～436
6. Caro CG, Pedley TJ, Schroter RC, et al. (丁启明 倪一伟，译)。血液循环力学。北京：科学出版社，1986

(收稿：1993-03-31；修回：1993-09-11)

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net