

文章编号: 1000-582x(2000)02-0010-03

③
10-12

狗小肠粘液流变性能研究

R318.01

Q469

吴江红¹, 程西云¹, 韦云隆¹, 周银生², 朱永清¹

(1. 重庆大学机械传动国家重点实验室, 重庆 400044; 2. 浙江大学机械系, 杭州 310027)

摘要: 通过试验研究了狗小肠粘液的流变特性, 提出了狗小肠粘液 Casson 方程流变模型。试验结果表明, 在低切变率下, 狗小肠粘液的表观粘度随切变率升高而降低, 具有剪切稀化的性质, 属非牛顿流体。当切变率升高到一定程度后, 狗小肠粘液表观粘度趋近一常数。

关键词: 生物流变学; 摩擦学; 表观; 粘液

中图分类号: Q 819

文献标识码: A

狗, 小肠粘液

流变性能

生物体液对于维持机体的生命活动具有重要意义, 生物体的某些病变同其体液的流变特性的改变有直接的关系。在临床医学上, 测定血液的粘度和流变性能及其在生理和病理条件下的变化规律, 对于许多疾病, 尤其是严重威胁人类健康和生命的心脑血管疾病和肿瘤的病因研究、诊断治疗和预防等都有极其重要的意义。目前, 许多学者已对血液、胆汁、呼吸道粘液、唾液等体液的流变性能进行过研究^[1]。但有关对小肠粘液的流变性能研究则还未见报道。

小肠粘液主要是从肠腺分泌的一种粘稠的、弱碱性液体, 有保护十二指肠的粘膜上皮不被胃酸侵蚀的作用, 它的 PH 值约为 7.6, 成人每日分泌 1~3 L。小肠粘液中含有肠致活酶等多种酶, 有利于营养成分的吸收。

开展小肠粘液流变性能的试验研究, 有利于充实生物体液流变学的研究内容。不仅可以为基础医学、临床医学提供有用的实验数据, 同时也可以为研制与开发进入人体内腔的医用微型机器人提供实验基础。

目前, 研制与开发能进入人体内腔的医用微型机器人是国际上的一个研究热点。然而, 一些在人体内腔中运行的医用微型机器人的功能与内腔粘液的流变性能、摩擦性能有关。基于小肠粘液是牛顿流体的假设, 意大利的 A. Bertuzzi 在 1983 年曾提出刚球在小肠中蠕动方程为^[2]

$$\mu \frac{dZ_c}{dt} + F_d = 2\pi r_0 \int_{\varphi_2}^{\varphi_1} T \sin \varphi d\xi, Z_c(0) = Z_0 \quad (1)$$

μ 为牛顿流体的粘度, Z_c 是刚球的中心点位置函数, F_d 是干摩擦力, r_0 是小肠的初始半径, Z_0 是刚球中心点的最初位置, T 为接触应力, ξ 为变形肠膜的轴向坐标, φ 为肠膜的切向角。

由于动物器官和人体器官具有可比性, 作者详细研究了狗小肠粘液的表观粘度随剪切速率的变化规律, 并提出狗小肠粘液 Casson 流变方程。作者为研制新型实用的能悬浮在人体内腔中前进的医用微型机器人提供实验数据^[3,4], 因此, 本研究内容属生物工程和摩擦学的交叉领域。

1 材料和方法

本试验测试仪器采用德国产同心圆筒 RV 型旋转粘度计, 图 1 是其结构图。该粘度计的粘度量程为 (1 ~ 10⁷ mPa·s), 切变率量程为 [4 × (10⁻³ ~ 10²) s⁻¹], 试样量为 15 ~ 20 ml。

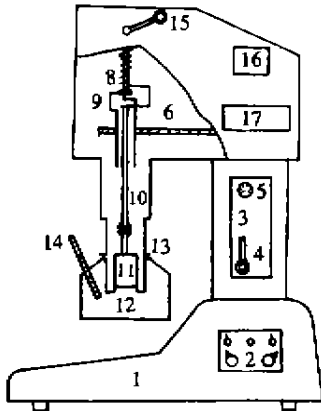
试验用杂种成年狗 5 只, 体重 (15 ± 2) Kg, 先空腹 10 h 左右, 然后在重庆市第三军医大学附属医院, 对试验用狗进行麻醉、活体解剖, 切取十二指肠及空肠近端约 80 cm, 然后轻轻挤压肠壁将肠液排出到一干净容器内, 取肠液 20 ml 以上, 紧接着将取得的肠液放入已预热 5℃ 粘度计中测量, 得到一组结果并记录,

· 收稿日期: 1999-07-24

基金项目: 国家自然科学基金 (59805017); 国家“863”计划 863-512-9805-08; 教委生物工程开放实验室基金资助项目

作者简介: 吴江红 (1967-), 女, 博士生, 讲师, 主要研究方向: 医用微机器人仿真系统。

11



1. 支座; 2. 电源开关; 3. 变速齿轮箱; 4. 转速选择杆; 5. 变速等级指示盘; 6. 传动齿轮; 7. 转轴; 8. 测量弹簧; 9. 电位计; 10. 测量轴; 11. 旋转内筒; 12. 外筒; 13. 平衡槽; 14. 温度计; 15. 应力选杆; 16. 频率计; 17. 读数仪器。

图 1 RV 型旋转粘度计结构图

然后加热到 38℃ 再次测量并记录结果。每次试验在 1 h 内完成。通过多次取样试验, 作者测量了狗小肠粘液在不同切变率下的表观粘度。

2 结果与分析

表 1 和表 2 列出了 5 例成功取样在 5℃ 和 38℃ 时, 在不同切变率下表观粘度平均取值。

表 1 5℃ 时狗小肠粘液表观粘度测量结果

| 切变率 $\dot{\gamma}(\text{s}^{-1})$ | 表观粘度 $\eta(\text{Pa}\cdot\text{s})$ |
|-----------------------------------|-------------------------------------|
| 13.5 | 1.4601 ± 0.0511 |
| 24.3 | 0.9600 ± 0.0320 |
| 40.5 | 0.6430 ± 0.0422 |
| 72.9 | 0.4711 ± 0.0811 |
| 121.5 | 0.3400 ± 0.0372 |
| 218.7 | 0.2501 ± 0.0015 |

表 2 38℃ 时狗小肠粘液表观粘度测量结果

| 切变率 $\dot{\gamma}(\text{s}^{-1})$ | 表观粘度 $\eta(\text{Pa}\cdot\text{s})$ |
|-----------------------------------|-------------------------------------|
| 13.5 | 1.0002 ± 0.0312 |
| 24.3 | 0.7111 ± 0.0416 |
| 40.5 | 0.5223 ± 0.0221 |
| 72.9 | 0.3521 ± 0.0212 |
| 121.5 | 0.3110 ± 0.0108 |
| 218.7 | 0.2500 ± 0.0011 |

图 2 画出了狗小肠粘液表观粘度平均值 η 随切变率 $\dot{\gamma}$ 变化曲线。图 2 中的空心圆点和实心三角点分别为 5℃ 和 38℃ 下实验数据点, 两条实线为最小二乘法

拟合的曲线。

从图 2 可以看出, 狗小肠粘液在低切变率下, 其表观粘度 η 随切变率 $\dot{\gamma}$ 的增大而减少, 具有剪切稀化的性质, 是非牛顿流体。当切变率增高到一定程度后, 狗小肠粘液的流变性质近乎牛顿流体, 表观粘度不再随切变率增高而降低, 而趋向一常数。此外, 在低切变率下, 随着温度的升高, 表观粘度降低幅度较大; 而在高切变率下, 温度变化对表观粘度的影响不大。

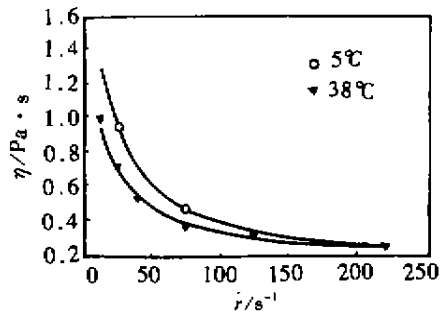


图 2 狗小肠粘液表观粘度 η 随切变率 $\dot{\gamma}$ 和温度的变化

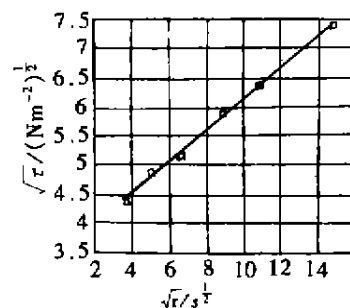


图 3 5℃ 时狗小肠粘液测量结果 Casson 图

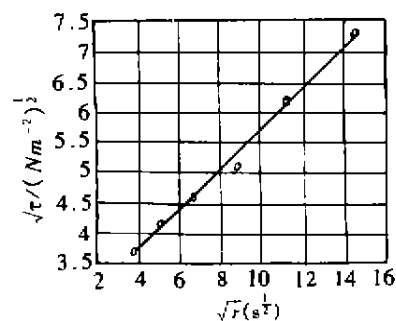


图 4 38℃ 时狗小肠粘液测量结果 Casson 图

图3和图4分别画出了狗小肠粘液在温度5℃和38℃下测量结果的Casson图。图中的空心点为实验数据点,实线为用(2)拟合所得的曲线。从图3和图4中可以看出,测量数据点几乎落在一条直线上,(2)可很好地拟合图中曲线。方程(2)中流变常数在5℃下为 $a = 3.45521$, $b = 0.26887$,在38℃下为 $a = 2.44352$, $b = 0.33129$ 。这说明,狗小肠粘液的流变性能可用如下Casson方程来描述

$$\sqrt{\tau} = a + b\sqrt{\dot{\gamma}} \quad (2)$$

式中: a, b 为流变常数; $\dot{\gamma}$ 为切变率; τ 为剪应力。

3 讨论

1) 本试验空腹后解剖,是为了保证肠液取样较为纯净。因为在喂食期,小肠中会含有较多的固体消化物、胆汁等其他物质,取得的肠液杂质较多,无法代表真实肠液的流变性质。而禁食期肠液较为纯净,取得的肠液能较好的代表真实肠液的流变性质。但由于个体差异,有些动物小肠中粘液很少或没有,因此,取样成功例数占取样总数的60%左右。

2) 本试验在低切变率下,狗小肠粘液的表观粘度

随切变率的增加而减少,具有剪切稀化的性质,是非牛顿流体。但当切变率增高到一定程度后,狗小肠粘液的表观粘度不再随切变率增高而降低,而趋向一常数。

3) 狗小肠粘液的流变模型符合Casson方程

$$\sqrt{\tau} = a + b\sqrt{\dot{\gamma}}$$

4) 根据以上结论,狗小肠粘液是非牛顿流体,也得到流变方程(2)。因此,可用方程(2)改进方程(1),求得刚球在小肠中的蠕动方程^[2]。为了控制微机器人在小肠中运动,我们还需要在此试验工作基础上做更进一步的研究。

参 考 文 献

- [1] 吴云鹏. 体液的流变特性[M]. 北京:科学出版社,1987.
- [2] BERTUZZI A, SALINRI S. Peristaltic Transport of Solid Bolus [J]. Biomechanics, 1983, 16(7): 459 ~ 464.
- [3] DARIO P, GUGLIELMELLI E, ALLOTTA B, et al. Robotics for medical applications [J]. IEEE Robotics & Automation Magazine, 1996, 3(3): 44 ~ 56.
- [4] 高立明, 林良明, 颜国正等. 全方向蠕动机器人驱动内窥镜系统的研究[J]. 中国生物医学工程学报, 1998, 17(1): 36 ~ 41.

Rheological Behavior of Dog's Small Intestinal Mucus

WU Jiang-hong¹, CHENG Xi-yun¹, WEI Yun-long¹, Zhou Yin-sheng², ZHU Yong-qing¹

(1. The State Key Laboratory of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2. Zhejiang University, Hangzhou 310027)

ABSTRACT: The rheological property of small intestinal mucus of dogs was studied, and the Casson's rheological model of small intestinal mucus of dogs was obtained in this paper. The results obtained indicate that small intestinal mucus is a kind of Non-Newtonian fluid. Its apparent viscosity decreases with increasing shear rate. When the shear rate is high enough, the apparent viscosity of small intestinal mucus becomes a constant.

KEYWORDS: Biorheology; Tribology; Apparent; Mucus

(责任编辑 成孝义)