

生物力学新进展

柳兆荣 陈君楷 吴望一 主编

成都科技大学出版社

生物力学新进展

柳兆荣 陈君楷 吴望一 主编

成都科技大学出版社

(川)新登字 015 号

责任编辑:樊瑜波 陈正权
封面设计:孟章良

生物力学新进展

柳兆荣 陈君楷 吴望一 主编

成都科技大学出版社出版发行

华西医科大学印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:37.125

1996年9月第一版 1996年10月第一次印刷

印数:1—200册 字数:903千字

ISBN7-5616-3326-2/Q·32

ISBN 7-5616-3326-2



9 787561 633267 >

定价:80.00元(精装)

内容简介

本书是1996年10月在四川成都召开的“第五届全国生物力学学术会议”的论文集。由大量来稿中筛选出的近一百二十篇论文所组成的。本文集内容丰富,涉及细胞力学、生物流变学、生物流体力学、生物固体力学、运动生物力学以及临床医学中的生物力学等研究领域,是近年来我国生物力学研究成果的展示,反映了我国生物力学的新进展。

本文集可供从事生物力学研究的科技人员、医学、体育工作者、大专院校有关专业的研究生和高年级本科生阅读和参考。

第五届全国生物力学学术会议

(1996年10月12日—16日,四川成都)

学术委员会

主任 柳兆荣

副主任 吴望一 陈君楷

委员 (以姓氏笔划为序)

| | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 丁祖泉 | 文宗曜 | 王 前 | 孙家驹 | 庄逢源 | 朱兴华 | 严宗毅 |
| 吴云鹏 | 吴文周 | 吴国强 | 李贵山 | 李晓阳 | 陈槐卿 | 陈 琛 |
| 岑人经 | 席葆树 | 姜宗来 | 洪水棕 | 徐明瑜 | 袁支润 | 陶祖莱 |
| 曾衍钧 | 韩海潮 | 覃开荣 | 廖福龙 | 蔡绍哲 | 樊学军 | |

组织委员会

主任 陈君楷

副主任 陈槐卿 袁支润 樊瑜波 李惜惜 何 林

委员 (以姓氏笔划为序)

| | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 王正荣 | 王 玲 | 邹远文 | 吴 驰 | 张晓峰 | 张 琪 | 罗加福 |
| 姜伟元 | 蒋文涛 | 覃开荣 | 蒲 放 | | | |

主办 中国力学学会 生物力学专业委员会
中国生物医学工程学会 生物力学分会

承办 四川联合大学

协办 华西医科大学

前 言

生物力学是力学与生物学、生理学、医学等多种学科相互结合、相互渗透而形成的一门边缘学科。它是解释生命及其活动的力学,从生物个体、组织、器官到细胞和分子等不同层次研究应力与运动、变形、流动以及生长的关系。正如生物力学创始人冯元桢教授所指出的“生物力学帮助我们了解生命,启发我们观察自然、设计和制造各种设备以改善我们的生活质量。它是一种有用的工具、一种简单的工具、一种有价值的工具、一种不可缺少的工具,它也是生物学和工程科学的一个重要的组成部分。”

我国生物力学的研究工作是在冯元桢教授70年代后期来我国做系统讲学后才开展起来的,由于冯元桢教授的热情帮助和具体指导,加上许多单位相继“派出去、请进来”,因而在我国逐步形成了一支相对稳定的生物力学研究队伍,并取得一系列研究成果。已先后召开过四届全国生物力学学术讨论会,参加组织过四届中、日、美(现改为中、日、美、新)生物力学学术会议(其中第一和第四届均由我国主持,分别在武汉和太原召开),同时还召开过多次生物流体力学和生物固体力学的分组学术会议。通过这些定期学术会议的交流和讨论,促进了我国生物力学的健康发展。从收入本会议论文集的100多篇论文中可看出,我国目前生物力学研究正健康发展。从收入本会议论文集的100多篇论文中可看出,我国目前生物力学研究的特点是,既涉及生物个体运动、组织和器官的结构与功能之间关系,又涉及应力作用下细胞的力学行为,研究内容相当广泛;既有结构形态的细致观测,力学参数的有效检测,又有深入的定量分析和计算,研究方法比较齐全;既有明确实际背景的基础性研究成果,又有与临床密切结合,在临床中得到认可和欢迎的成果等等,使本届学术会议交流内容的广度和深度都呈现出我国生物力学发展的新水平,这是令人欢欣鼓舞的。

在本届全国生物力学学术会议召开之际,我们首先应特别感谢冯元桢教授对我国生物力学发展的一贯支持和帮助。应感谢康振黄教授和杨桂通教授

分别成功地领导了第一届和第二届全国生物力学专业委员会并做出了卓越的贡献,在他们的领导下,生物力学专业委员会的工作蓬勃发展,在国内外的学术界发挥了很大的作用,为我国生物力学的发展打下了良好的基础。

本届全国生物力学学术会议是由四川联合大学承办,华西医科大学协办的。为开好本届学术会议并及时出版论文集,四川联合大学给予了极大的支持和帮助,陈君楷教授和樊瑜波教授对此付出了很大的精力和智慧,专业委员会的委员们也都给予了充分的合作和支持,在此一并致以衷心的感谢。

柳兆荣

1996年6月于复旦大学

目 录

前 言

细胞力学、生物流体力学及流变学

遗传性球形红细胞增多症患者红细胞膜粘弹性与膜蛋白变化的相关性研究

宋关斌 吴泽志 龙 勉 王红兵 吴云鹏 蔡绍哲(1)

白蛋白对红细胞力学性质影响的微观机理研究 马维原 文宗曜 高 轶(7)

胆囊上皮细胞变形性初探 黄岂平 杨瑞芳 王红兵 蒋稼欢 卢 晓(13)

烧伤大鼠红细胞膜粘弹特性的实验研究

吴泽志 宋关斌 王红兵 王宪航 龙 勉 蔡绍哲 周继红 朱佩芳(17)

用激光衍射法研究红细胞在低粘切变流场中的取向和变形及其生理意义

文宗曜 马维原 高 轶 宋立川 孙大公 吕智红 施 岩(23)

端点边界条件对流动腔底部切应力分布的影响 姜伟元 李惜惜 章开荣 柳兆荣(33)

一种非矩形平行平板流动腔的定常流动分析 章开荣 李惜惜 姜伟元 柳兆荣(37)

微血管中非 poiseuille 速度剖面对于 T 形分岔处血浆撤取的影响 严宗毅 孙健宽(42)

正常红细胞与内皮细胞粘附的流变学研究

陈槐卿 丁肇华 王 玲 黄 勋 林 毅(49)

胚胎形态生成过程中神经板的力学性能细胞层次上的计算机模拟

陈 红 G. Wayne Brodland(54)

考虑流体的 CASSON 非牛顿特性时 Flow Chamber 中流动特性的研究

樊瑜波 蒋文涛(67)

用超声多普勒技术测量平行平板流动腔的速度分布

李惜惜 章开荣 姜伟元 吴 驰(71)

一种脉冲式超声多普勒流速检测方法 火 焰 李惜惜 徐建明 柳兆荣 张春晓(76)

高速投射物所致瞬时空腔的力学特点及其与血液动力学变化的关系

李曙光 刘荫秋 三大田 安 波 王建民 赖西南 陈 菁 练伟坤 陈志强(84)

高速投射物压力波对血管内皮细胞结构和功能的影响

赖西南 刘荫秋 王建民 李曙光 李开龙 官正华 张良潮(88)

- 恒磁场对弹性圆直管中脉动流的影响 冯忠刚 吴望一(93)
- 球形肿瘤双官能抗体和与酶结合的抗体两步法的双重介质模型药物动力学分析
许扬清 温功碧(97)
- 主动脉瓣对心血管系统动态耦合的影响 王英晓 吴望一 温功碧(99)
- 脉搏波有效反射位置的确定 张心忠 柳兆荣(103)
- 嗅觉反应的数学模型及其解析解 谭文长 徐明瑜(109)
- I型双叶翼型人工机械心瓣的体外脉动流模拟试验研究
陈君楷 樊瑜波 袁支润 邹远文 罗克 康振黄(113)
- 影响人工心瓣体外脉动流模拟实验的几个重要问题的探讨
樊瑜波 陈君楷 袁支润(115)
- 心血管循环模拟装置直线电机控制系统的仿真研究 党宏伟 王执铨 陈琛(118)
- 心室与其后负荷的一种匹配耦合条件 吴驰 柳兆荣(123)
- 锥板粘度计中锥顶间隙对测量的影响 山慧贤(130)
- 血液入口流动问题的数值研究 谭哲东 陈松星 岑人经(137)
- 求解血管入口流动问题的一种差分方法 谭哲东 陈松星 岑人经(142)
- 刚性血管定常入口流动的模拟原理及其装置
吴付祥 秦婵 袁支润 刘肖珩 邹远文 樊瑜波 罗克(150)
- 植入式生物降解药物渗透性的数学模型 刘君义 徐明瑜 张庆英 李凌冰(154)
- 血液全循环系统简化模型及模拟实验系统研制
樊瑜波 袁支润 罗克 邹远文 陈君楷 康振黄(159)
- 左心室后负荷模型阶次的估计 张杰 陈琛 曹光中(163)
- 一种六元件集中参数左心室后负荷模型的参数估计 张杰 陈琛 曹光中(167)
- 心肌循环动力学分析——一种模型研究 刘琼 郑振声 吴云鹏 蔡绍哲(173)
- 定常层流下的内皮细胞条件培养液对平滑肌细胞DNA和胶原合成的影响
韩林 张宝仁 朱家麟等(178)
- Fahraeus效应与烧冲伤补液过程中血容量变化
蔡绍哲 周继红 尹志勇 吴泽志 朱佩芳(183)
- 大鼠外伤性蛛网膜下腔出血模型的建立及其与酒精关系的研究
于晓军 樊瑜波 肖飞 吴家文(188)
- 大鼠闭合性脑损伤脑组织和脑血管铸型的扫描电镜观察
于晓军 樊瑜波 彭雪梅 吴家文(195)

- 微球通过微血管的力学响应 王伯初 蒋稼欢 蔡绍哲等(200)
- 大鼠力竭性运动对中性粒白细胞粘弹性与其功能的影响
秦廷武 杨瑞芳·卢 晓 徐启望等(202)
- 大强度运动至疲劳的微循环系统血流状态的影响
李发琪 杨瑞芳 卢 晓 吴云鹏(206)
- 细胞与微流场动态耦合关系的在体研究 李贵山 梁 妮 薄丽津 任 倩(209)
- 红细胞压积对血液粘弹性影响研究 杨 宏 蔡绍哲(214)
- 缓慢狭窄以行波方式沿轴向振荡的直圆管内脉动流分析
许世雄 陈守吉 李信安 李小平 周信文 朱 梁 刘新华(218)
- 电刺激大鼠干升压区时心率变性的频谱分析 沈霖霖 吴国强 李 鹏(222)
- 下腔静脉植入式中空纤维呼吸辅助器(IVOX)的流体阻力特性研究
谭小苹 陈孟诗 黄 勇 裴觉民 陈君楷(229)
- 搏动流及非搏动流辅助泵对动物血液循环的影响 钱坤喜 郑 铭(233)
- 中医推拿手法测力仪及初步应用 李信安 许世雄 谢志雄等(237)
- 417例脑血管血液动力学参数检测分析 高庆春 丁书林 朱荣长(241)
- 脑血管血液动力学参数正常参照值及有关研究 郭 佐 王桂清 徐晓斌等(244)
- 从正常到中风脑血管血液动力学的变化规律 王桂清 郭 佐 樊舜英等(255)
- 脑血管血液动力学参数的主成分分析和脑血管功能的综合评估
郭 佐 王桂清 何广成等(260)
- 脑血管病血液动力学的临床研究 武志耀 张世英 王俊卿 吴芬芳(266)
- 脑出血及高血压脑循环血液动力学的检测与临床意义 张世英 武志耀 胡宝萍(269)
- 糖尿病脑循环动力学检测的临床意义和价值
武志耀 张世英 王俊卿 童光涣 乔 知(273)
- 老年人高血压患者脑血管动力学检测的临床价值
吴华南 李惜惜 孙慧华 方志华 杨菊华(277)
- 脑梗塞病患者红细胞膜粘弹性的实验研究 李自双 蔡绍哲 张显全等(281)
- 一种新型药茶“血瘀模型”的实验研究并对其血液流变学机理的探讨
欧阳克清 蔡绍哲 金学军 肖 俊 张才英(288)
- 针刺对脑血管病人宏观血液流变学的影响
李自双 张显全 蔡绍哲 王毅刚 王竹行 赵鸿鸣 高跃华(293)

机械应力对红细胞膜阴离子和葡萄糖通透性效应研究

许世雄 李月舟 孙朝辉 张志鸿(296)

红细胞聚集的流变学特性及其临床意义

李贵山 梁妮 薄丽津 任倩(301)

脉图法血液动力学分析的临床应用

涂远玲 王慧荣(305)

1602例CVDI检测分析

何继美 田友君(310)

血压与脑血管血液动力学指标(CVDI)的相关性研究

张立瑞 赵海英 张胜联 刘金玲(314)

生物固体力学

松质骨骨折愈合中骨量、骨结构和骨强度变化的实验研究

陈永强 戴克戎 袁世静(316)

松质骨表观密度和弹性模量间关系的均匀化理论模型

张宁 樊学军(326)

人颅充液骨粘弹性的实验研究

张宏民 徐晋斌 杨育勇 朱健(333)

用有限元法分析移植骨的内部重建过程

吴文周 张东黎 郭晓辉(338)

血液流变学当今动态和发展趋势

陈槐卿(343)

自体静脉移植血管的应力应变关系

廖东华 韩海潮 赵黎 黄氏(350)

动脉壁静态力学实验的研究

李晓阳 孙兵 曾衍钧(354)

Wistar鼠肝动脉、肝门静脉零应力状态研究

叶志义 王公瑞 卢晓 吴云鹏(360)

振动激励下生物动力学响应特性的研究

汪芳子 戴诗亮 徐迟 沈成武(362)

生物瓣膜瓣叶的生物力学试验方法

席葆树(370)

人工双叶机械瓣关闭瞬间的应力计算

邹盛铨 闫书川 张建海(374)

人主动脉瓣本构关系的实验拟合及应用

李章政 陈孟诗 李晋唐 于建华 陈君楷(378)

人工双叶机械瓣加速疲劳试验的磨损计算

邹盛铨 樊瑜波 蒋文涛(383)

机械式三维运动测量法及其对肩关节失稳矫治手术疗效的评价

杨国标 丁祖泉 周之德(387)

牙齿修复的CAD系统研究:标准库的建立和应用

高建新 丁祖泉 张修银(393)

生物陶瓷植入颌骨在体力学性能动态测试研究

宁丽 薛森 叶莉明 陈德敏 刘义荣 黄哲玮 闻学雷(397)

一种适用于生物软组织的横截面非接触测量方法

雷刚 吴云鹏 杨宏(401)

局部肌肉疲劳无创监测系统

凌烽 王公瑞 卢晓 李曙光 李兵仓(407)

| | | | |
|--------------------------------------|-----|-----|----------|
| 骨折内固定的应力遮挡效应研究 | 朱兴华 | 杨秀勤 | 董心(411) |
| 用微机控制的生物软组织二向应力应变测量系统 | | 杨惊途 | 李宗明(414) |
| Begg 技术中前牙压入力的数值及实验研究 | 周学军 | 赵美英 | 赵志河 |
| 用 X 光摄影追踪颈部损伤的探讨 | | | 樊瑜波(418) |
| 柳松杨 王秀增 丛红 徐建仁 孙明召 李富德 刘磊 刘力 曲绚(423) | | | |
| 未成年长骨骨端细胞研究与力学分析 | 华筑信 | 刚芹菜 | 林振福 |
| 肝脏的小叶间动脉和小叶静脉的计算机三维重建 | | | 陈亚萍 |
| 张显全 李自双 卢晓 王公瑞 蔡绍哲 龙勉 杨力 吴云鹏(431) | | | |
| 坚硬接骨板固定及取出对骨力学性能的影响 | | | |
| 朱振安 戴克戎 裘世静 徐秀林 薛文东(437) | | | |
| 正常人步态的研究与分析 | 张潇 | 卢世壁 | 解英俊(440) |
| 鸡心在僵硬过程中的顺应性初步实验研究及其讨论 | | | 钱民全(447) |
| 模拟改良 MCGRAW 氏环枢融合术的在体应变电测量 | 马洪顺 | 麻永杰 | 杨匀卓(452) |
| 人脊柱颈椎前纵韧带蠕变函数 | 宫景春 | 闫书玉 | 杨匀卓 |
| 小儿肠套叠肠管归一化应力松弛函数蠕变函数 | | | 马洪顺(456) |
| 人胫骨粘弹性实验研究 | 高明 | 马洪顺 | 聂晓红(459) |
| 口腔殆力和颅颌嚼、颞肌电信息同步关系探讨 | 洪水棕 | 庄汉康 | 周欣 |
| 缓冲型套筒冠固位体可摘义齿的支持组织位移研究 | | | 杨宠莹(470) |
| 张富强 杨宠莹 薛森 阎巧梅 熊焕国(476) | | | |
| 颈椎间盘部分切除对钩椎关节轴向应力影响的实验研究 | | | |
| 郑国海 侯铁胜 丁祖泉 杨国标(481) | | | |
| 拇指腕掌关节周围韧带的稳定作用研究 | | | |
| 汪爱媛 卢世壁 刘桂林 张潇 解英俊(485) | | | |
| 几种屈指肌缝合方法的生物力学研究 | | | |
| 昌耘冰 黄山东 朱青安 欧阳君 卢海俊(491) | | | |
| 计算机辅助解除应力测试技术及其在生物力学中的应用 | | | 金观昌 |
| 珊瑚羟基磷灰石人工骨修复骨干缺损的实验形态学和生物力学 | | | 周书敏(494) |
| 尹庆水 张惠民 苏增贵 李忠华 钟世镇 魏征(499) | | | |
| 牙槽骨高度异常的固定桥基牙的生物力学评价 | | | |
| 谭建国 周书敏 董勤喜 刘立平(504) | | | |

一种新镍钛丝在正畸临床中的应用

周永德 黎 闻 孙振宇 杨文淳 秦葵庆 高 柠(510)

离体骨骼肌的生物力学特性研究

白 石 石玉琴(515)

神经吻合和种植的大鼠肌肉交叉移植后功率比较

顾晓明 Calson. BM Faulkner. JA(522)

三维光弹性实验在脊柱内固定研究中的应用

陈日齐(529)

颈椎牵引的生物力学实验与计算

陈日齐 陈美娥(532)

铸造陶瓷全冠三维有限元分析

赵云凤 程碧焕(536)

新鲜人体的尺骨桡骨的力学性质

陈孟诗 李章政 朱四维(540)

颅颌面形态有限元分析系统的建立

田 杰 林 珠 杭洽时 陈 彬(543)

正常合与创伤合接触应力分布规律与鉴别指标——计算机辅助光合分析

周书敏 徐 平 谭建国 金观昌(546)

截根术、牙半切除术及术后不同修复设计对牙周膜内应力分布影响的研究——二维有限元分析

周书敏 江 泳(552)

TFC 治疗腰椎不稳的生物力学机理探讨

张金芝 姜延洲 吴奋起 李端明 吴树辉(555)

髌骨骨折钢丝环形加 8 字固定的生物力学实验研究和临床应用

周金水 陈执平 林葆凯 陈天肖 刘毓顺 庄孝萌 陈日齐(558)

运动生物力学

双足步行的动力学问题

刘延柱(562)

探讨技巧女三项目抛起配合技术的最佳生物力学模式

董汉英 刘建智(566)

运动生物力学中的力学理论研究方法

忻鼎亮(572)

眼球的三维运动模型及其水平扫描运动的分析

陈维毅 杨桂通 吴文周(577)

遗传性球形红细胞增多症患者红细胞膜粘弹性与膜蛋白变化的相关性研究*

宋关斌 吴泽志 龙 勉

王红兵 吴云鹏 蔡绍哲

(重庆大学生物工程研究院 630044)

一、引言

红细胞膜由脂双层和膜骨架蛋白共同构成,呈立体纤维网状结构的骨架蛋白在支撑细胞形态,维持细胞运动和变形方面起着重要作用。红细胞膜的剪切弹性模量、弯曲模量、表面粘性系数等力学特性参数均与骨架蛋白网的结构和性质直接相关,一旦骨架蛋白的分子结构或它们成份上的缺失、异常均可导致红细胞膜上述力学性质的变化,引起系列临床疾病。同时,膜骨架结构也是决定膜的力学特性以及整个细胞的流变特性的重要因素。

遗传性球形红细胞增多症(hereditary spherocytosis, HS)是一种重要的红细胞膜蛋白遗传性疾病,该症首先由 Vanlair 及 Masius 于 1871 年报道,以溶血、黄疸、脾大为主要症状和体征,外周血液中球形红细胞明显增多,红细胞渗透脆性增加^[1]。绝大多数为常染色体显性遗传,常有明显家族病史,世界各民族均有发现,发病率为 10-30/10 万,以北欧、英格兰、日本等国最为常见,我国各地也有报道。患者中大多数都有骨架蛋白成份的异常,并且异常的程度与红细胞渗透脆性及临床严重程度有关^[2,3]。

为了探讨 HS 病患者红细胞膜骨架蛋白的成份和结构与其力学特性的相互关系,我们以微管吸吮技术(Micropipette Aspiration Technique)并结合 SDS-PAGE 技术研究了其膜的粘弹性和骨架蛋白组成,以期为研究 HS 病的分子病理机制提供定量的细胞流变学依据。

二、材料和方法

(一)试样制备

HS 患者(女,26 岁,有家族病史)由中国人民解放军第三军医大学附属新桥医院提供。抽取患者静脉血经肝素抗凝,加适量悬浮介质 Hank' s 液(NaCl 136.9mM, KCl 5.4mM, MgSO₄ · 7H₂O 0.8mM, Na₂HPO₄ · 12H₂O 0.3mM, KH₂PO₄ 0.4mM, 葡萄糖 5.6mM, CaCl₂ 1.3mM, 加入 0.4ml 氟仿和 2ml 1%酚红), 500-800rpm 离心 5min, 弃上清液后加 Hank' s 液重复离心 3-5 次, 取红细胞配制成 Hank' s 悬液备用。正常对照组血液由重庆市中心血站提供, 同前操作制成细胞悬液备用。

(三)方法

1. 红细胞膜制备 按 Dodge 等方法进行^[4]。

* 霍英东教育基金会高等院校青年教师基金项目(编号:0401016)

2. 膜蛋白浓度测定 按 Lowry 等的方法^[5]。

3. SDS-聚丙烯酰胺凝胶电泳(SDS-PAGE)分析 按 Laemmli 方法进行^[6]。Acr 为 BDH 产品, Bis 为 Fluka 产品, 其它试剂均为国产分析纯。电泳时令 HS 与正常对照组的点样浓度与点样体积的乘积相等, 凝胶用 160-光密度扫描仪(上海第三分析仪器厂)在 540nm 处扫描, 观察 HS 患者膜蛋白的变化。

4. 微管吸吮实验技术 微管吸吮实验系统由倒置显微镜(Axiovert35, Zeiss Co., 德国), 显微操作器(MR5170, eppendorf Co., 德国), 图像处理仪(VidasZ1, Kontron Co., 德国), 摄录系统(含时标发生器, VTG-FOR. A Co., 日本), 压力控制和记录系统(本院自行设计)及微管等部份组成(如图 1), 其中微管由普通毛细玻璃管在微管控制器(P-87, Sutter Ins Co., 美国)上拉制而成, 内半径 0.53-0.73 μm 。将约 0.5ml 细胞悬液注入一特定的圆形小腔(Chamber)内, 置于倒置显微镜的载物台上, 利用显微操作器控制微管尖部靠近细胞表面, 通过压力控制系统给细胞施以一定的负压以吸吮细胞, 使红细胞膜的一小部分被吸入微管, 细胞在微管内的变形时间过程由电视摄录系统记录, 通过回放入图像处理系统测量细胞在微管内的变形值。所有实验均在室温(15-25 $^{\circ}\text{C}$)下、约 4 小时内完成。整个系统在图像监视器上的放大倍数约为 3500 倍, 并用 40 μm 的光栅尺进行标定。

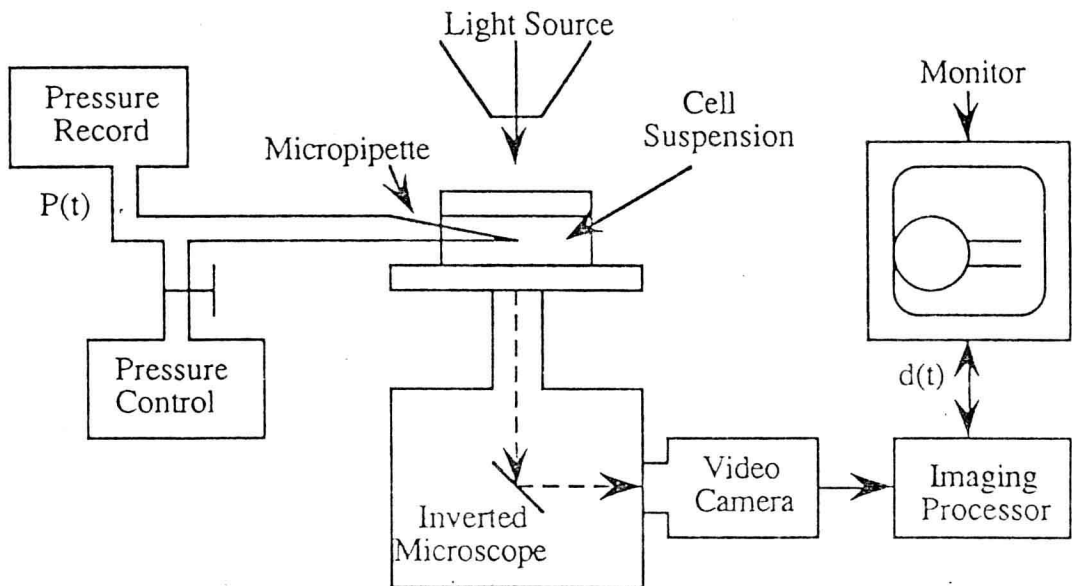


Fig. 1 Schematic block of micropipette aspiration system

5. 计算与数据的处理 参照 shu chien 等的方法^[7], 以弹性模量和粘性模量表示膜的粘弹特性, 用 Kelvin 模型(一弹性元件 E 和一粘性元件 μ 并联)拟合实验结果。定量地比较 HS 与正常红细胞的粘弹性参数。组间数据的比较用两样本均数的 t 检验。

三、结果

(一) HS 患者膜蛋白的变化

HS 患者与正常红细胞膜蛋白经 SDS-PAGE 电泳分析, 结果见图 2。

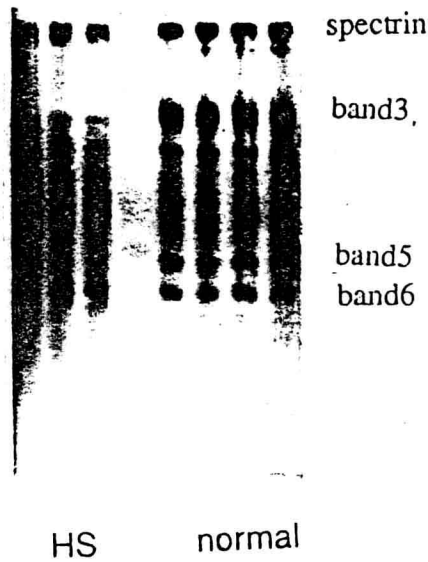


Fig. 2 Distribution of erythrocyte cytoskeleton proteins for a HS case and a normal control by a SDS-PAGE

从图可见,HS 患者红细胞膜蛋白中,Spectrin 和 band 3 与正常组比较,在 SDS-PAGE 图谱上颜色明显浅、淡。电泳凝胶经光密度扫描仪在 540nm 处扫描,发现 HS 患者的 spectrin 和 band 3 的相对含量分别为 36.61%和 8.01%,而正常对照组分别为 52.84%和 26.19%(见图 3),这一结果提示 HS 患者红细胞膜蛋白中 spectrin 和 band 3 有明显的缺失。

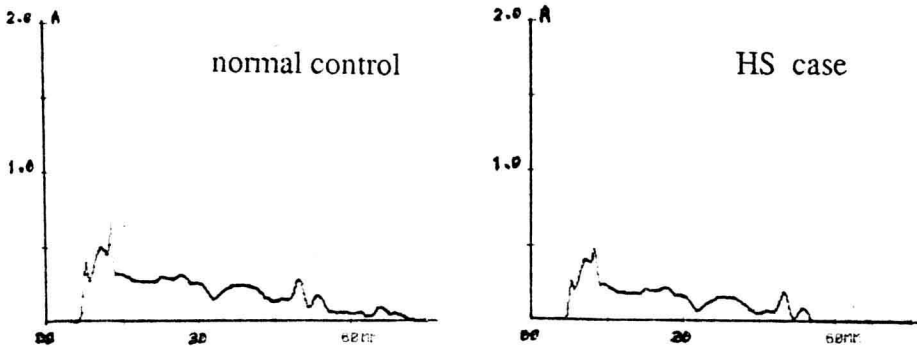


Fig. 3 Scanning diagram of a SDS-PAGE gel for a HS case and a normal control

(二)HS 患者红细胞膜的粘弹性

利用微管吸吮实验技术定量研究 HS 患者红细胞膜的粘弹性,图 4 为一个典型的 HS 红细胞在一定的阶跃负压作用下在微管内变形的时间序列图。

图 5 为红细胞变形与时间的关系图,为了消除管径、初始时间的影响,我们采用 D_p/R_p (D_p 为吸入长度, R_p 为微管内半径)来表征吸入的细胞长度,用 $(t-t_1)/\tau_D$ (t 是吸入 D_p 长度的时间, t_1 为吸入长度为 R_p 的时间, τ_D 为时间常数)来表征时间,二者都是无量纲量。图中可见,HS 患者 RBC 的变形能力比正常 RBC 低。

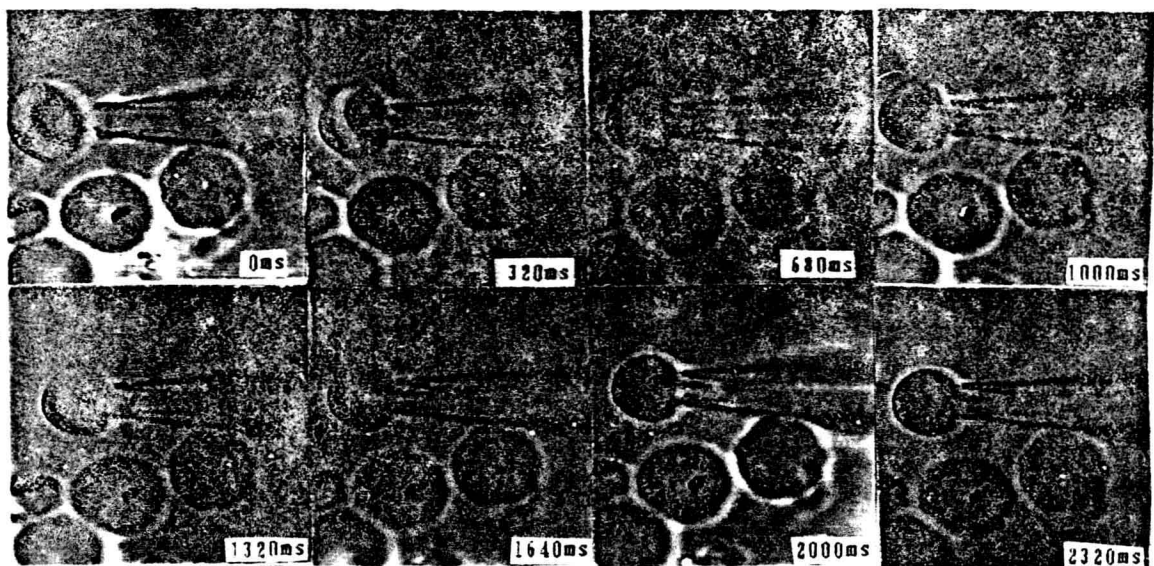


Fig. 4 Typical time sequences of a RBC deformation in a micropipette for aHS case. Here the internal radii of a micropipette and a RBC are $0.73\mu\text{m}$ and $3.50\mu\text{m}$ respectively

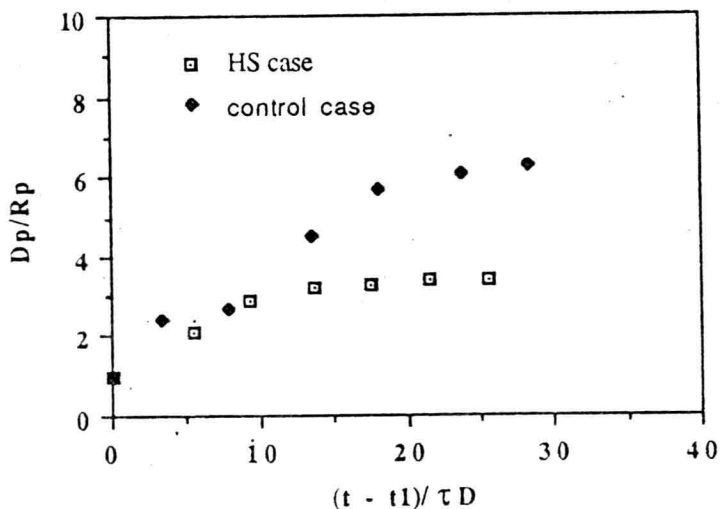


Fig. 5 Plot of deformation (D_p/R_p) against the dimensionless time $((t-t_1)/\tau_D)$

HS 患者细胞与正常红细胞的粘弹性参数比较见图 6。

可见, HS 患者 RBC 的弹性模量为 $(5.65 \pm 2.27) \times 10^{-3} \text{dyn/cm}$, 粘性系数为 $(6.29 \pm 2.97) \times 10^{-4} \text{dyn} \cdot \text{s/cm}$ ($n=23$), 正常红细胞的弹性模量为 $(5.36 \pm 0.56) \times 10^{-3} \text{dyn/cm}$, 粘性系数为 $(1.91 \pm 0.96) \times 10^{-4} \text{dyn} \cdot \text{s/cm}$ ($n=14$), 二者的弹性模量无明显差异 ($P > 0.05$), 而 HS 患者 RBC 的粘性系数明显升高 ($P < 0.001$), 这说明 HS 患者红细胞的粘滞度增大, 变形能力降低。

四、讨论

微管吸吮实验技术是本世纪七十年代中末期开始发展起来的一种研究单个细胞或细胞