DOI:10.16016/j.1000-5404.1987.01.014

肺表面活性物质表面张力动态测试

许剑欧* 刘志远 （第一附属医院 烧伤中心）

提 要 本文论述了肺表面活性物质表面张力动态检测的意义和测试原理，介绍了表面张力动态测试仪结构和性能，最后比较分析了测试结果。

关键词 肺表面活性物质；改良型Wilhelmy表面张力天平

肺表面活性物质（pulmonary surfactant）是由肺泡Ⅱ型上皮细胞分泌的一种脂蛋白，其主要功能是维持肺泡稳定，调节肺顺应性以及防止肺毛细血管内液体渗出至肺泡内[1]。目前，对肺表面活性物质的研究日益深入。但对呼吸道烧伤后肺表面活性物质变化的研究，国外最近几年才开展起来。1980年Nieman等人通过实验发现，狗吸入烟雾以后，肺提取液表面张力升高，并认为烟雾能使肺表面活性物质失活[2]。为了研究呼吸道烧伤和其他一些肺部疾患的发病机理，为诊断和治疗提供依据，必须研究肺表面活性物质在病理状态下的变化，包括其改变表面张力的能力从而了解其活性。

纯水在20℃时其表面张力为72×10^{-5} N/m，血浆及大多数组织液的表面张力为50×10^{-5}N/m左右。而含有肺表面活性物质液体的表面张力，JA Clements 通过实验得出：当液体表面积扩展时，表面张力上升到$40\sim50\times10^{-5}$N/m。而当液体表面积压缩时，表面张力下降到接近于零[3]（见图1）。肺表面活性物质稳定肺泡，防止肺萎陷的功能就在于其能够随液体表面积的改变而使表面张力变化。

由于目前技术水平很难直接测定肺泡内气-液界面上的表面张力，因此通常都采取测定肺组织提取液——主要是肺组织匀浆液和支气管灌洗液的表面张力，以判断肺表面活性物质的活性。测定含肺表面活性物质液体的表面张力需要一种能连续记录表面张力的仪器。目前国内只有静态下测定表面张力的仪器出售，1982年以前也无人涉及表面张力连续动态测试这一课题，鉴此我们研制了一台表面张力动态测试仪，并在1985年元月通过鉴定。

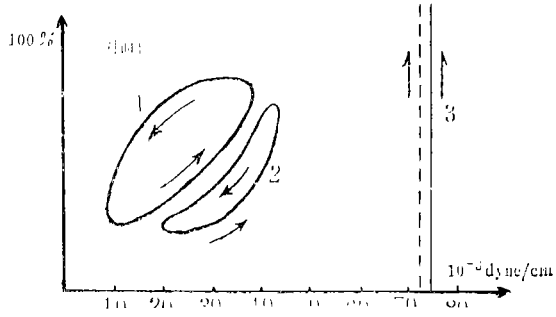


图1 1.肺提取物 2.血浆；3.纯水

测试原理与结构

表面张力动态测试仪采用国外应用最多的改良型 Wilhelmy balance 原理（见图2），当液体中

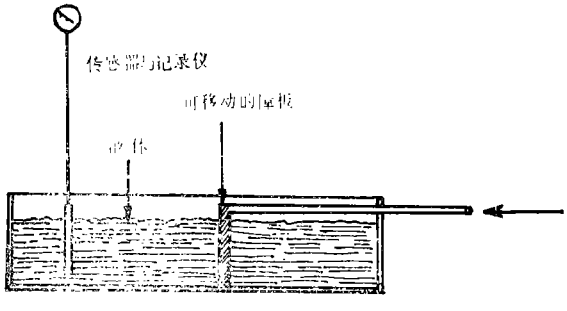


图2 表面张力计原理

含有表面活性物质时，表面活性物质会吸附到液体表面形成一层膜，通常有一个分子厚。当障板运动使液膜面积变小时，液膜单位表面积内的表面活性物质密度增加，此时表面张力减小。当障板反向运动扩展液膜面积时，液膜单位面积内表面活性物质分子数减少，此时表面张力升高。表面张力的这些

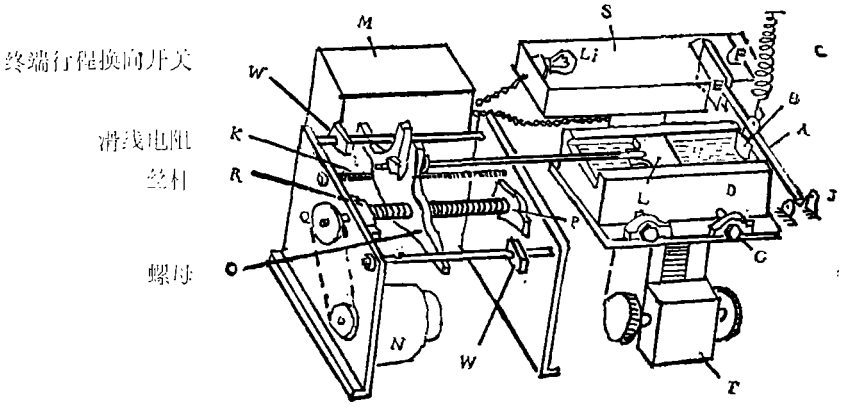
*重庆大学机械工程一系

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

变化由垂直插入液体的金属片传到传感器，再转变成电流变化记录下来。液体中含有活性的表面活性物质含量不同，其改变表面张力的能力也不一样，从表面张力变化的情况就可以推测表面活性物质的活性[4]。

为了记录表面张力随表面积变化而出现的变化，必须把表面张力和表面积两个物理量转变成电量。为此，我们实行了两个基本的转变。

一、表面张力转变成电量的变化 它是通过二次变换实现的（图3），第一次是通过自动平衡杠杆系统（A）完成表面张力的变化转换成平衡杆一端遮光板(E)垂直位移△S的变化。自动平衡系统的平衡杆（A）由轻质材料做成，悬挂在精密弹簧（C)上，平衡杆的下部吊有极薄的铂片(B)（厚约0.02mm）。杆的一端固定在精密轴承(J)上，另一端处于自由状态，表面涂有黑漆以作遮光板。贮液槽（D)放置在可作升降运动的抬板(T)上，用固定装置（G）锁紧。贮液槽内装有可动障板（L）可作往复运动以改变标本液表面积。测试时由于障板的运动，引起液膜内单位面积表面活性物质分子数目发生变化，随之引起表面张力的变化，并使插入标本液中的铂片所受的拉力随之变化。这一拉力的变化与弹簧一起按以下平衡条件不断改变着平衡杆的平衡位置：（图4）



终端换向开关

A—自动平衡杠杆机构；C—平衡弹簧；F—光电变换器，K—滑线电阻器；L—可动障板往复运动机构；M—电源变压器及控制电路板；O—螺母；P—轴承；R—丝杆；T—肺泡液槽支承抬板及升降机构；W—终端行程换向开关。

图3　肺泡表面活性物表面张力动态测试仪总体结构示意图

弹簧拉力：$P = C_s \cdot \triangle X$

平衡条件：$pl_1 = Tl_1 + Gl_2$

遮光屏垂直位移量：

$$\triangle S = l \tan\theta$$

式中：C——弹簧系数（达因/厘米）

T——表面张力作用于铂片的力（达因）10^{-3}N

G——平衡杆和铂片自重

第二次转变，为了达到无接触测量的目的，我们选用了光电变换器作为杠杆位移量△S转变成电量变化的传感器。其原理是：光电变换器(图3F)的输出信号△μ（直流信号）与其受光面积成正比，灯泡（图3Li）以稳定的照度直射光电变换器，但其受光面积取决于遮光板（E）的瞬时位置。当表面张力变化时，平衡杆A上的遮光板E的位置不断变化，从而使光电变换器F的受光面积不断变化，其输出信号电压△μ亦随之变化，这样就实现了将位移量变化△S转变成电量变化△μ的变换。△μ经放大后即可输入函数记录仪记录。

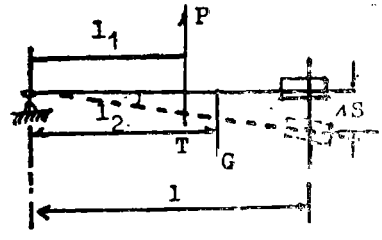


图4　平衡杆受力图

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

二、液体表面积变化转换成电量的变化　如图3所示：变换机构由往复运动机构和滑线电阻电路两部分组成：障板L的往复运动由电动机（N）的正反转实现，电动机通过皮带轮（Q）和丝杆（R）推动螺母（O）运动，螺母一方面带动障板运动，并通过碰撞终点换向开关（W）实现电动机的正反转；另一方面螺母上的触点（V）在滑线电阻（K）上滑行，从滑线电阻上取得的电流信号就表示障板的位置，也就是液体表面积的大小。

以表示表面张力的信号作为y座标，以表示表面积大小的电信号作为x座标，输入函数记录仪就可以得到一条封闭曲线，就是表面积-表面张力曲线（Surface—surface tension curve图5）。

仪器性能与使用

参照国外同类仪器，我们选用的贮液槽尺寸为长×宽×深＝150×50×10 mm和150×50×20mm两种规格分别可溶纳60ml和120ml标本液，贮液槽和障板均由聚四氟乙烯制成。槽内液体表面积变化范围：15～75cm²。压缩扩展周期可在2～4分钟内任选。最小相对表面积为最大相对表面积的20%。

测量范围：0～75×10^{-5}N/m，精度：±1×10^{-5}N/m。

测试时，将张力仪置于防震台上，室温控制在20～22℃。

先彻底清洗（依次用稀盐酸、洗涤剂和蒸馏水清洗）贮液槽后，放入待测标本液（此时槽处于最大面积位置）。盖上防尘罩、静置30分钟，以利于肺表面活性物质吸附于液面。

取下铂片，彻底清洗（如贮液槽）后，用酒精灯火焰烧灼至红。待铂片冷却后，悬挂于平衡杆上。在函数记录仪上标出零位。

静置完毕，启动升降机构（T），使液面上升到恰好与铂片下缘接触。启动电机，开始压缩液面，启动记录仪记录表面积-表面张力曲线，至曲线稳定（一般以连续三个曲线完全重合）为止。停止压缩和扩展液面。取出标本，用作其他测定。清洗贮液槽和铂片。

记录有两种方式：用函数记录仪和苹果Ⅱc型微型计算机，所得结果相同。均得到从表面张力为y轴，液面相对表面积为x轴的环形表面积-表面张力曲线，也称滞后环（hysteresis loop），一般在滞后环上取三个指标。

最大表面张力（maximal γ）：系液体表面积最大时（相对面积为100%）的表面张力，单位：10^{-5}N/m。

最小表面张力（minimal γ）：系液体表面积压缩到最小时的表面张力（图5B）。单位：10^{-5}N/m。

滞后环面积（loop area）：系指滞后环所包络的面积（图5C），单位：达因·分（dyne•minute）[5]。

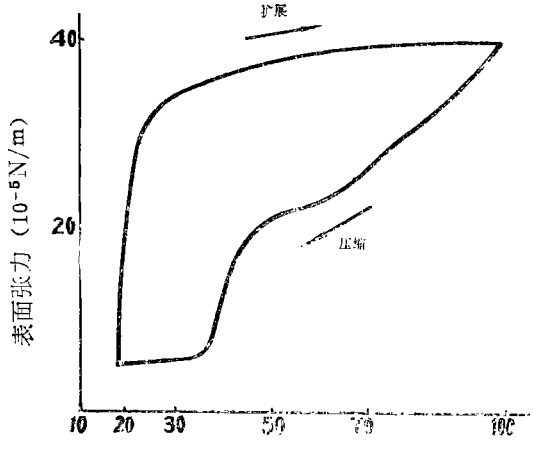


图5　表面积-表面张力曲线
(surface-surface tension curve)

使用微机时曲线和三个参数均可在荧光屏上显示，并可自动打印下来。使用函数记录仪时三个参数需从所记录下来的曲线上测得。

我们用表面张力动态测试仪测得70只家兔和20只狗在呼吸道蒸汽和烟雾吸入伤后的曲线（图6、7）显示：伤后肺组织匀浆液和支气管灌洗液最小表面张力升高，滞后

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

环面积变小，且滞后环面积变化与肺提取液卵磷脂含量变化密切相关[6][7]。这说明呼吸道烧伤后肺表面活性物质活性降低，同时也说明表面张力动态测试仪用于肺表面活性物质的研究是非常成功和必不可少的，并将在今后的研究中发挥更大作用。

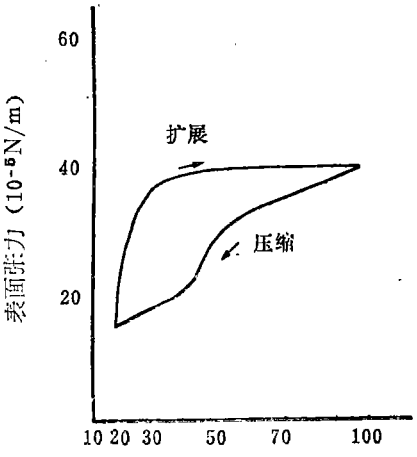


图6　对照组肺组织匀浆液表面积-表面张力曲线

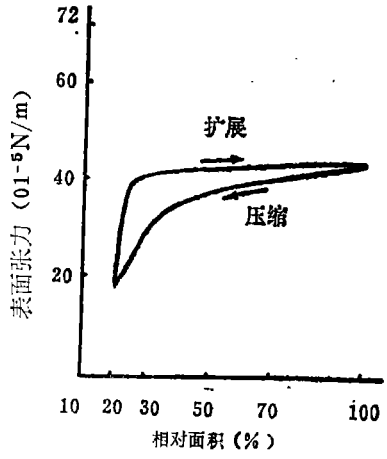


图7　伤后2小时组肺组织匀浆液表面积-表面张力曲线

参 考 文 献

1. 北京市结核病肺部肿瘤研究所译，（美）Comroe JH著。呼吸生理学。北京：人民卫生出版社，1981：91～99
2. Nieman GF, et al. The effect of smoke inhalation on pulmonary surfactant. Ann Surg 1980; 191:171～181
3. Clements JA, et al. Pulmonary surfactant. Am Rev Resp Dis 1970; 101:984
4. Rosenberg E. Analysis of the properties of pulmonary surfactant during modified wilhelmy balance. Respiration Physiology 1969; 7:70～89
5. 德田良一。表面张力（Surface tension）。呼吸と循环（日）1982；30(5)：489
6. 刘志远等。兔呼吸道蒸汽烧伤后肺表面活性物质的变化。第三军医大学学报1984；6（1）：1～6
7. 刘志远等：烟雾吸入对肺表面活性物质的影响。第三军医大学《烧伤整形专辑》1984：286～291

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

ding to the realistic conditions of our country and the experience of many authors, a new set of diagnostic criteria for SLE was established and systematized into a computer program. Tested with 223 non-SLE cases and 92 confirmed SLE cases, this new set of diagnostic criteria had the rates of specificity and sensivity of 91.9% and 95.7% respectively.

It is considered that the new set of diagnostic criteria is characterized by its comparatively comprehensive content and its conformity to the conditions at home, and it is especially helpful for the early diagnosis of SLE.

Key words: Systemic lupus erythematosus; Diagnostic criterion; Computer program (p.47)

The Measurement of the Surface Tension of Pulmonary Surfactant: Introduction of a Self-made Apparatus

Xu Jianou (Department of Mechanical Engineering, Chongqing University)
Liu Zhiyuan (Burn Center, First Teaching Hospital, Third Military Medical College)

The clinical significance of the dynamic observation of the changes of the surface tension resulting from pulmonary surfactant and the principle for its measurement were discussed. According to the mechanism of Wilhelmy Surface Tension Balance with modifications, an apparatus for the dynamic determination of surface tension was designed and manufactured. The construction and the specifications of this apparatus were introduced. The results obtained with this apparatus were analyzed and compared.

Key words: Surface tension; Pulmonary surfactant; Modified Wilhelmy surface tension balance (p.50)

A Preliminary Observation on Delta Antigen Infection in 35 Patients with Severe Hepatitis B

Li Qifen, et al (Department of Infectious Diseases, First Teaching Hospital, Third Military Medical College)

The paper is to report a retrospective study on delta antigen infection in 35 patients with severe hepatitis B (13 subacute and 22 chronic cases). One serum

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