

关于超声手术刀某些实验的报导

一、引言

外科手术刀的解剖质量应注意不致损伤周围的组织，并要求出血少。电灼刀或激光灼刀可以做到少出血或不出血的操作，然而这两种刀具对周围组织引起损伤，况且激光刀的造价昂贵。如果采用超声手术刀，既能减少刀口对周围组织的损伤又能降低出血。为了研究这种手术刀的解剖质量，日本东京工业大学精密机械与电子学研究室的津田、伊东等人近几年来做了很多研究，本文就其某些结果做一报导，仅供读者参考。

二、超声手术刀的构造

超声手术刀的构造如图1所示。它的主要部分为PZT压电振子堆、变幅杆和刀片。压电振子堆是由中心用螺杆拧紧的朗之万式复合棒构成。例如50千赫的振子是由4片外径为11毫米、厚为3毫米的PZT片重叠在一起构成压电堆，堆的两个侧面用厚度为1.5毫米的未极化的PZT片做为绝缘片与金属棒拧紧在一起。图1中的AB两部分各为振动半波长的长度。手术刀的刀口银焊在变幅杆辐射端表面。刀口与振动棒之间的夹角 θ ，其大小对解剖质量的影响也是实验研究的内容之一。图中A部分的变幅杆（指数形的或锥形的喇叭）的远端直径为5毫米，是钛合金制成的。B部分为振动传导棒，与变幅杆用螺丝拧紧。A与B是纵向振动，刀口C的一端固定，一端自由，受激励后呈弯曲振动，同时它也有一定的增幅作用。

20千赫的手术刀结构如图2所示。变幅杆的振幅变换比为1:50。振子的压电陶瓷圆片直径为40毫米，机械Q值为1853，动生导纳为204毫姆欧，钳制电容为7670PF。

在手术使用中，要求换能器能产生足够的声功率，为了便于手持操作又要求小型化。这两者是有矛盾的，为此可以考虑使用1/4波长振子的设计。

三、换能器超声振动特性和温升的测量

为了从实验上观察手术刀的解剖性能，应考虑长时间工作的大功率换能器其温升对振动性能产生的影响。按照如图3所示的布置进行了刀片的振幅与切割深度关系的实验，以及手术刀上不同部位的温升与工作时间的关系测量、利用这一系统还测量了在不



图1 50千赫超声手术刀结构图

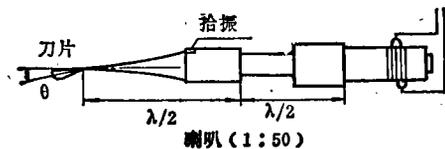


图2 20千赫超声手术刀结构图

同机械负载下换能器的电声效率。

在测量电声效率时，将振子远端接上一个厚的圆盘形辐射体，将辐射体置入水槽中，通过变更辐射体浸没于水中的深度来改变换能器的机械负载阻抗。为了保持辐射体的温

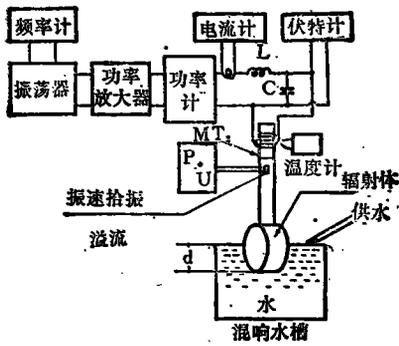


图3 测量温升与电声效率的仪器布置图

度恒定，对换能器本身不采取致冷或通风措施，而是使水槽中的水溢流更换。

复合棒的纵向振动，其振幅可通过粘贴于指数喇叭节点处的压电拾振器进行监测。压电拾振器用光学显微镜观测或用光学位移测量仪观测。刀片的振动幅度可由拾振器的输出读出。拾振器的输出同时可用来做为发射机频率自动跟踪的信号和控制振动幅度的反馈信号。

1. 电声效率的测量

在实验中对图3中的电分量 L 和 C 调整至使功率因数为1。电端的电功率可用功率计测得。在机械端测量了以机械阻为函数的机械输出。机械输出与电输入之比即为电声效率。

求机械输出功率的方法可以通过从电输入功率中减去介电损耗和内部机械损耗来计算；如果测量机械端的振动速度和电端的电压也可估算出介电损耗和机械损耗来。

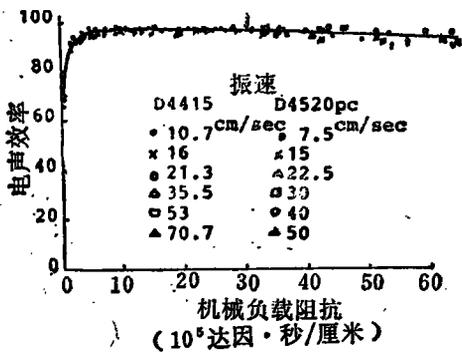


图4 复合棒换能器的电声效率曲线

图4表示以等效机械负载为函数的电声效率测量值，其中的参数为振动速度，可以看出每个振子在机械负载阻值大于 5×10^5 达因/厘米/秒时均达到96%的高效率，直至 6×10^5 达因/厘米/秒仍保持如此，这一阻值大致是振子等价机械阻抗的300倍。

2. 温升测量

换能器温升的测量点是在圆柱状夹心陶瓷片表面上，用红外辐射敏感热电偶测量该点的温度。保持发射电功率为数百瓦不变，测量一直持续至温度超过 75°C 或者达到某一温度值。在测量当中室温的变化仅为几度。振子的振速也保持不变，如53厘米/秒(5千赫)，35.5厘米/秒(50千赫)。

图5图6表示温升与振子工作时间的曲线。图中的参数是机械负载阻抗和电功率输出。机械阻抗保持三种不同的常数，输出的电功率也是三种大小。从图5、6中看出，输出功率大则温升率亦大。图5与图6的温升率的差别是由于振子的热辐射表面大小不同引起的，辐射表面小则温升快，辐射表面大则温升慢，这时的输出功率同是700瓦。由图也看出，适当地选用输出功率，可以使换能器在1小时左右的工作时间内保持其温度小于 70°C 。若是使换能器在低于 70°C 下工作，则应采取相应的冷却措施以保持所希望的工作温度。以上这些实验现象有助于对超声手术刀的设计。

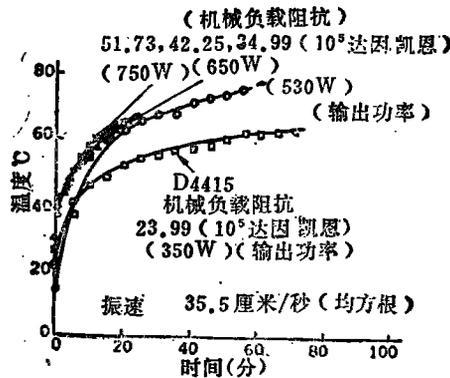


图5 复合棒换能器(15千赫)的温升曲线

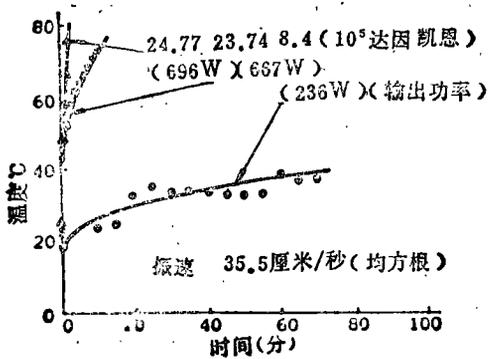


图6 复合棒换能器(20千赫)的温升曲线

四、解剖质量的实验

在肥、瘦两种猪肉上进行了解剖质量实验。刀口的轴线与试样表面的角度为 30° ，刀刃作用在试样上的负载力为200克，测量了在2秒钟内的切割深度与刀片振动幅度之间的关系。

试验结果如图7、8所示。当振幅大于30微米后才显示出超声振动的影响，并且解剖质量随振幅的增大而变好。

在瘦肉的情况下，振幅大于30微米后发现细小的液化脂肪从刀片上向外喷射，在振幅达80微米时，肌肉的切口表面呈灼烧状，表面的颜色略有变化。

在肥肉的情况下，发现有微小的液化脂肪粘着于刀口上厚达20微米。当振幅继续增大后，则切口表面的脂肪变为液化，当振幅大于40微米后观察到有微细的液化脂肪从刀片向外喷射。

角度 θ 对解剖深度的影响与试样的质底有关。由图7、8也可看出， $\theta = -5^\circ$ 的刀片适宜于解剖瘦肉， $\theta = 4^\circ$ 的适宜于肥肉。在80微米的振幅下肉质呈灼烧状，这一现象提示我们，这在手术中有着瞬时止血的作用。并且，对不同的组织宜选用不同的角度。

用活兔在小于80微米振幅下做过解剖，表明刀具锋利。在使用 $\theta = 4^\circ$ 的刀片时，在刀口上出现有少量的纤维蛋白，有止血效果。

但在使用 $\theta = -5^\circ$ ， $\theta = 0^\circ$ 两种刀片时，无止血效果。总的说来，由于超声手术刀本身的摩擦损耗引起的温升足够高时，例如 70°C — 80°C ，有止血的作用。

为了能使刀口附近有 70°C — 80°C 的温升，在设计刀具时应注意使波腹设在刀口附近，因为在振动波腹处的摩擦损失最大。对

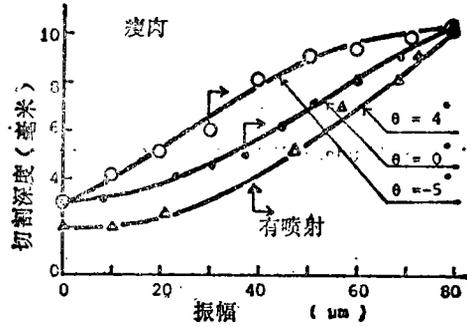


图7 对瘦肉的切割质量(负载200克, 割2秒)

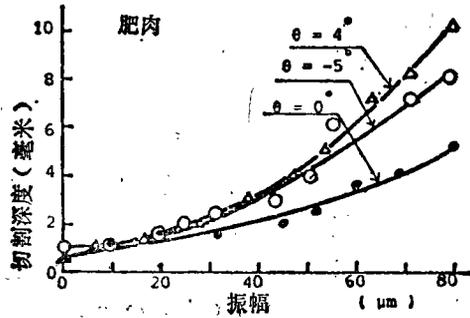


图8 对肥肉肉的切割质量(负载200克, 割2秒)

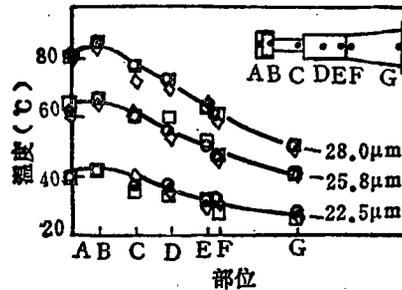
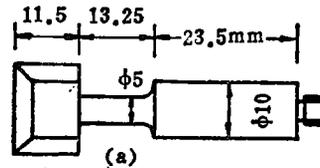


图9 刀片上不同部位的温度分布

刀片上的温度分布测量是用快速感应的热电偶在超声振动5分钟时即时测量的。图9是刀具上不同部位处的温度分布,刀片的振动幅度为28, 25.8和22.5微米。

最后,通过本文提到的实验,可以认为对于不同的组织构造应当选用不同型式的超声手术刀;超声手术刀不适用于表皮的切开。此外,还应通过实验来证明超声手术刀的刀口愈合效果。

参 考 文 献

[1] Yencō Tsuda, Eiji More, Sadayuki Ueha

Experimental study of Ultrasonic Surgical Knife, Proceedings of 3rd Symposium on Ultrasonic Electronics, Tokyo 1982. Japanese Journal of Applied Physics, Vol 22 (1983) Supplement 22-3 pp. 105-107.

[2] Eiji Mori, Sadayuki Ueha et al. Load Test of Bolt-Clamped Langevin Type Vibrator Proceedings of 4th Symposium on Ultrasonic Electronics, Tokyo 1983. Japanese Journal of Applied Physics, Vol 23(1984). Supplement 23-1, pp. 209-211

[3] 津宙米雄,伊东周二,森荣司,上羽贞行(东工大精研)超音波メス的小型化研究 日本音响学会讲演论文集(1984) pp. 689-690.

丁东根据上述文献编写

(上接第45页)

应 用

在一辆用于检测和确定漏隙位置的维修车上,已经配备了我们研制的采用计算机辅助信号分析器的设备。它可以在几百米长的典型试验距离上,对于泄漏率低至每分钟几升的漏隙进行检测和定位。到目前为止,我们最长的试验距离是3.5千米。漏隙检测的可靠度高于90%,检测到的漏隙均为挖掘结果所验证。对于80%以上检测到的漏隙,其定位的精确度是 ± 1 米。这种方法可成功地应用于直径为2厘米到1.5米的管道;不仅可用于水管,而且可应用于煤油、石油以及高压气体管道。

凌雪兴译自 Advances in Signal Processing (The Proceedings of 1986 IEEE—Academia Sinica Workshop on Acoustics, Speech and Signal Processing)陈克棠 校