

利用光纤传感器的脉象仪研究

姜凤岐 郭山河 张铁强 申铨国

(吉林工业大学应用物理系 长春 130025)

摘要 本文叙述了所研制的脉象仪的原理、结构和实验结果。用特殊设计的光纤位移传感器作为脉象传感器。将它放在待测的脉动部位，它将感受脉象，并将此脉象信息传递给传感器的反射膜。反射膜随脉象产生不同角度的倾斜，从而改变进入接收光纤的光信号。此光信号的变化将反映脉象信息。携带脉象信息的光信号经光电探测器转换为电信号，又经放大、滤波、整形之后在显示器上显示脉象图。分析脉象图的频率、幅度及其规律性，并通过与典型病人的脉象图比较，便可诊断病人的疾病性质和病情。初步实测表明，该脉象仪具有精度高、结构简单、使用方便等特点，为中医诊断客观化和科学化提供了一种新的有效的手段和方法。

关键词 光纤探头，诊脉，脉象图

1 引言

中医主要是通过诊脉来判断病情^[1]。现有的诊脉质量往往依赖于医生的行医经验和水平，同时也要受到医生的工作状态和环境等因素的影响。这种情况下的诊脉难免要受到主观性和客观性的干扰，势必会影响诊脉的质量和准确度。对此，我们研究了一种脉象仪。

研制脉象仪的关键是选择合适的脉动传感器。通过研究比较发现，光纤传感器具有灵敏度高、可测微区压力、非接触和无损伤等特点，正好适用于脉象的检测。在此基础上，我们研制了基于光纤位移传感器原理的光纤传感式脉象仪。实验表明，该仪器能够精确、方便地测定脉象。这对提高中医诊脉的准确性、可靠性，实现客观化和科学化，做出了有益的探索。

2 原理

脉象仪的原理是利用光纤收集受脉动驱动的反膜反射的光束，通过检收集的光功率的变化来诊断脉象。

由发光二极管发出的光经透镜耦合进入照射光纤，并照射于反射膜上，由反射膜反射的光束被接收光纤所收集，如图1所示。当光纤端面与反射膜的间距是 d 时，光纤收集的

1993-08-03收到，1994-05-24定稿

姜凤岐 男，1935年生，副教授、应用物理。
郭山河 男，1955年生，工程师，实验物理。
张铁强 男，1955年生，副教授，现代光学。
申铨国 男，1939年生，教授，光电子技术

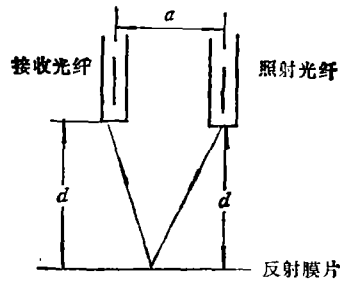
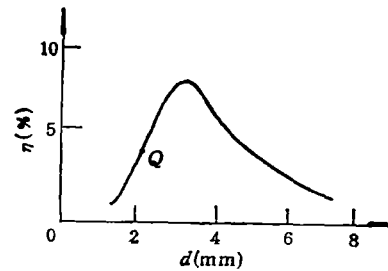


图1 接收光纤收集膜片反射光功率示意图

图2 耦合效率 η 与距离 d 的关系曲线

$$r = 300\mu\text{m}, \text{NA} = 0.5, a = 3.5\text{mm}$$

光功率的百分比,即收集光功率对照射光功率的百分比,或称耦合效率 η 为^[2,3]

$$\eta = 2a \left(\frac{2dT - a}{r} \right) \left(\frac{r}{2dT} \right)^2, \quad (1)$$

式中 r 是光纤芯半径, a 是两光纤芯间的距离, $T = \text{tg}(\sin^{-1}\text{NA}) = \text{tg}\theta_{om}$, NA 是光纤的数值孔径, θ_{om} 是光纤全反射临界角。

(1)式说明耦合效率 η 同距离 d 有密切关系,图2表示出了它们的关系曲线。当间距 d 发生微小变化时,相应引起耦合效率的变化为

$$\Delta\eta = \frac{a}{r} \left(\frac{r}{2Td} \right)^2 \left[2T - 2 \left(\frac{2Td - a}{d} \right) \right] \Delta d. \quad (2)$$

由此可确定出:当 $a = d \cdot T = d \cdot \text{tg}\theta_{om}$ 时,对应于图2中Q点,随距离变化的接收光功率最敏感,并且光功率随距离变化基本呈线性关系。

现在来看反射膜是倾斜的情况,如图3所示。图中 R 是反射膜半径, L 是光纤端面到水平面之间的距离, l 是由于脉动引起反射膜倾斜的高度, α 是倾斜角度。这时 d 是光纤端面到反射面 A 之间的距离,而有效反射面是 $A \cos\alpha$ 。所以,耦合效率的变化不仅与距离改变量 Δd 成正比,而且与 $\cos\alpha$ 成正比,即

$$\Delta\eta \propto \overline{\Delta d} = (d - d_0) \cos\alpha. \quad (3)$$

由图3中几何关系可以求出

$$d = \frac{a \cdot \text{tg}\alpha + d_0}{1 + \text{tg}\theta_{om} \cdot \text{tg}\alpha}$$

代入(3)式中,得

$$\Delta\eta \propto \overline{\Delta d} = \frac{[(a + R \cdot \text{tg}\alpha \cdot \text{tg}\theta_{om}) - L \cdot \text{tg}\theta_{om}]}{1 + \text{tg}\theta_{om} \cdot \text{tg}\alpha} \cdot \sin\alpha. \quad (4)$$

上式说明进入到接收光纤中的光功率变化与反射膜的倾斜角 α 、光纤间距 a 、光纤端面到反射膜的距离 L 、反射膜半径 R 以及光纤的全反射临界角 θ_{om} 有关。

由(4)式看到,当 $a = L \cdot \text{tg}\theta_{om}$ 时,耦合效率随倾斜角的变化最敏感。设 $L = 6\text{mm}$, $\theta_{om} = 30^\circ$, $\overline{\Delta d}$ 在不同反射膜半径 R 时,随倾斜角 α 变化规律如图4所示。由图3可以求

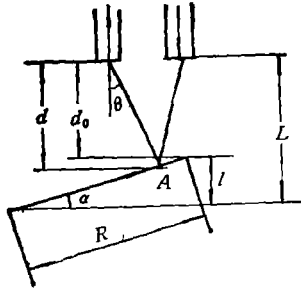
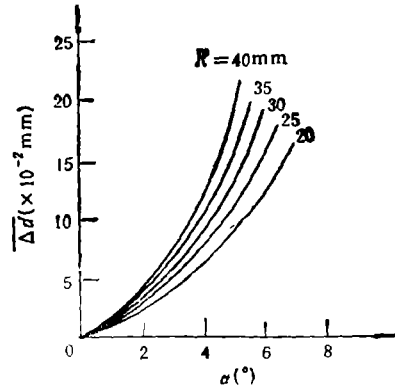


图3 脉象光纤探测器原理图

图4 输出功率变化与反射膜半径R、倾斜角 α 之间关系

出可探测的最大倾斜角 α 为

$$\alpha_m = \text{tg}^{-1} \left[\frac{L - \frac{a}{2 \text{tg} \theta_{om}}}{R} \right] \quad (5)$$

它限制了可探测的最大脉压。以芯径为 $600\mu\text{m}$ 、 $\text{NA} = 0.5$ 的阶跃型光纤为例,当 $R = 30\text{mm}$ 、 $L = 6\text{mm}$ 、 $a = 3.5\text{mm}$ 时,则由(5)式可确定出最大的倾斜角为 $\alpha_m = 5.65^\circ$ 。

显然,当反射膜同脉动部分通过连杆相连时,脉动将使反射膜的角度发生变化,也就改变进入接收光纤的光功率。由于反射膜的倾斜随脉象改变,由其反射而进入接收光纤的光功率变化反映了脉象信息。

3 仪器结构

光纤探头式脉象仪的结构如图5所示。由发光二极管发出的光经透镜2耦合进入光纤诊脉传感器的照明光纤束内,经其传输入射到反射膜片上,并产生反射。因为膜片的倾斜度与脉象有关,因此由膜片反射并被接收光纤收集的光信号变化必然反映脉象的信息。接收光纤输出的光信号经过透镜2'聚焦于光电探测器4后转换为电信号,此电信号通过

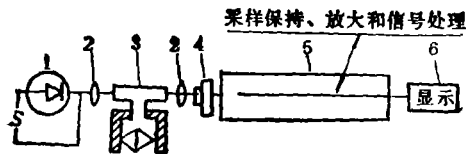


图5 脉象测定仪结构示意图

1: 发光二极管 2, 2': 耦合透镜 3: 光纤诊脉传感器 4: 光电探测器 5: 信号处理电路 6: 显示器

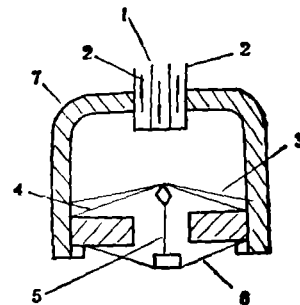


图6 光纤诊脉传感器结构示意图

1: 照射光纤 2: 接收光纤 3: 反射膜片 4: 上压膜 5: 传输连杆 6: 下支撑膜 7: 外壳

零漂消除、放大、滤波和整形电路后,由示波器显示出脉象图。

光纤诊脉传感器是脉象仪系统的核心部分。图6是本仪器所采用的光纤诊脉传感器的示意图。光由照明光纤束投射到诊脉传感器上。诊脉传感器由上下薄膜和传输连杆等组成。上薄膜采用弹性很好的橡皮膜,起着对脉动部位适当加压的作用。上薄膜的上面是反射性能和弹性很好的合成树脂或金属反射膜,下支撑膜通过连杆承受上薄膜的压力。连接上下薄膜的传输连杆感知脉动部位的压力,并把它传输给反射膜,使反射膜随脉动产生不同角度倾斜,导致反射膜同光纤端面之间的距离发生变化。因此由反射面反射进入接收光纤的光信号变化反映了脉象信息。

接收到的光信号不仅与接收光纤端面到反射面的距离有关,也与光纤束的集成性质有关。成对型集成同随意型和半球型集成相比,虽然对反射光随距离变化的敏感性较差,但它在较小的距离范围内仍能成线性关系^[4],所以更适合于测定脉象。为更好地收集反射信号光束,在照射光纤两侧对称放置两个接收光纤。这种结构比起双光纤结构提高了光信号的耦合效率,更有利于光信号的处理。

在本实验中,光纤传感器采用的是芯径为 $600\mu\text{m}$ 、 $\text{NA} = 0.5$ 的阶跃型光纤。反射膜半径 $R = 30\text{mm}$, $L = 6\text{mm}$, $a = 3.5\text{mm}$, 确定出最大倾角是 $\alpha_m = 5.65^\circ$ 。

由接收光纤输出的光信号经光电二极管转换为电信号,此信号经放大、滤波等处理后由示波器显示脉象。为了克服噪声和零漂的影响,设计了取样电路,将脉冲驱动 LED 发光时的输出信号和脉冲间隔时的零信号之差进行放大,达到消除零漂和噪声的作用,同时也消除了环境温度等因素引起的信号干扰^[5]。在实验中,LED 的驱动频率为 12kHz ,脉宽为 $50\mu\text{s}$ 。

4 实验结果

利用我们设计的仪器,对正常人和典型病例进行了脉象测试,图7是其中的部分实验结果。由此可见,该仪器所测出的脉象图正确地反映人脉的形状,周期,振幅以及规律性。

正常人的脉象是有规律的,有稳定的周期和振幅,而有病的人的脉象没有正常人的规律性;不同病人的脉象也有着区别。图7(c)是高血压病人脉象,其振幅变化大,出现无规则的尖峰脉冲;图7(d)是心脏病人的脉象,表现出更无规则的周期性和峰值。可见,如果对各种典型

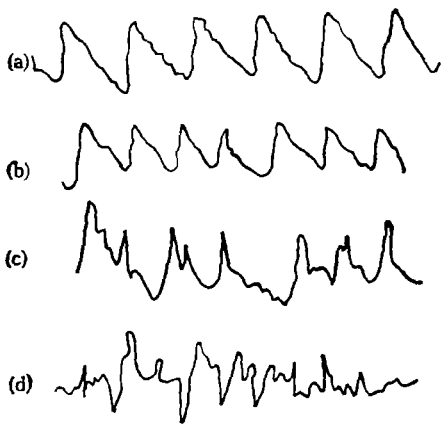


图7 正常与不正常脉象图
(a),(b)为正常人脉象
(c),(d)为有病人脉象

病例进行大量的测试,建立起各种病变的脉象图库,那么通过利用仪器检测病人的脉象,可以诊断病种和病情,这将提供中医诊脉的客观化和科学化的方法和手段。

参 考 文 献

- [1] 王洪图. 中国医药学报, 1993, 8(1): 15—17.
[2] Giallorenzi T G. IEEE, J. of QE, 1982, QE-18(4): 512—516.

- [3] 史锦珊,等. 电子学及其应用. 北京: 机械工业出版社, 1991, 491—508.
[4] Hocberg R C. IEEE Trans. on IM, 1986. IM-35(4): 447—450.
[5] 小林健二,奥山博司,加藤高昭,安田力. 醫用電子生體工學, 1977, 15(7): 465—472.

EXPERIMENTAL STUDY OF ARTERIAL PULSE DETECTOR WITH OPTIC FIBER SENSOR

Jiang Fengqi Guo Shanhe Zhang Tieqiang Shen Xuanguo
(*Department of Applied Physics, Jilin University of Technology, Jilin 130025*)

Abstract This paper proposes a new arterial pulse detector using optic fiber sensor, and describes the theory, experimental set-up and experimental results of the apparatus. The optic fiber sensor is the detecting part that can detect the arterial pulses. The optical signal of the arterial pulses will be transformed into electrical signal. After signal processing, the image of arterial pulses is displayed on an oscilloscope.

Key words Fiber detector, Detecting arterial pulse, Arterial pulse image