

超音波断層用探触子の出力試験

都立大塚病院産婦人科

穂垣正暢

研究目的

超音波診断装置の産科臨床への普及はめざましく、ことに、パルス波を用いた手動走査、あるいは高速電子走査型の断層装置は日常臨床に不可欠のものとなりつつある。しかし、これら装置の安全性については従来から検討はされてきたものの超音波ドップラー法などの連続波の場合とことなり、その音響強度、あるいは出力の測定についても多くの問題点が残されているのが実情である。

その意味で、われわれは生体に対する照射実験にさきだつて、現段階で臨床用に使われている各種探触子の出力特性について検討したので報告する。

I 研究方法

(1) 測定方法

超音波測定用のため、内面にシリコンゴムを接着した吸音材つきの水槽を用意した。この水槽内に、先端の直径 1.5 mm のマイクロプローブ (mediscan 社製, serial No 69/1/8/76) を固定した。次に、水槽内に各社の試験用探触子を入れ、これをコリメーターに固定した。コリメーターは水槽内の任意の位置に手動で固定することが可能で、マイクロプローブとの距離を電氣的出力としてとり出すことが出来る。つぎに探触子 (試験用) を動かしながら駆動させ、マイクロプローブの出力電圧が最大となる点を読みとる。このような状態で、マイクロプローブに発生する電圧、周波数、をシンクロスコープで読みとる。

使用したマイクロプローブは、あらかじめ 0.25 W の音場で鋼球法により校正されたもので周波数 1 MHz で 42 mV, 2.5 MHz で 100 mV, 5 MHz で 52 mV の出力が得られるものである。

(2) 試験探触子の最大出力 (音響強度) の算出
使用したマイクロプローブは予め校正されているので、その音響変換効率を K とすると、最大音響強度 (出力) P_{max} は下式により得られる。

$$P_{\max} = K V_{\max}^2 \dots \dots \dots (1)$$

(V_{max}; 最大出力電圧)

たとえば 2.5 MHz では

$$K = \frac{P_{\max}}{V_{\max}^2} = \frac{1}{4} \times \left(\frac{1}{100 \times 10^{-8}} \right)^2 = 25 \dots \dots \dots (2)$$

つぎに、周波数を変化させた場合のマイクロプローブの特性を、前述の校正値を利用して測定し各周波数の K を算出した。次に得られた K 値から 0.25 W/cm² の音場におけるプローブの最大出力電圧を計算して図 I を得た。

(3) 平均音響強度 (出力) の算出

パルス波の平均音響強度は、当然のことながら探触子に入力されるパルス波の間隔 (あるいは周期) T₁ と、1つの入力パルスにもなって発生するパルス群の長さ (あるいは巾) T_α を考慮する必要がある。したがって、1つのパルス入力に対応する出力の総和を P_{total} とすると、平均音響強度 P_{ave} は次式で与えられる。

$$P_{\text{ave}} = P_{\text{total}} \cdot \frac{T_{\alpha}}{T_1} \dots \dots \dots (3)$$

ここで P_{total} は、1コの入力パルスにもなって発生するマイクロプローブからの出力電圧から算出される。すなわち、

$$P_{\text{total}} = K \sum_{n=1}^m |V_n|^2 \dots \dots \dots (4)$$

もつとも代表的な探触子である P/N 60542 (f=2.3 MHz) について、この V_n を実測してみると図 2 の如くなった。

したがって、この場合には、

$$\begin{aligned}
 P_{\text{total}} &\doteq K \sum_{n=1}^{22} |V_n|^2 \\
 &= 2.65 \times 10^9 \cdot 0.000 \times 10^{-6} \\
 &= 2.89 \text{ (W)} \dots\dots\dots(5)
 \end{aligned}$$

この P_{total} と、前述の最大音響強度 P_{max} との関係を

$$P_{\text{total}} = N \cdot P_{\text{max}} \dots\dots\dots(6)$$

とすると、この場合の N は

$$N = \frac{P_{\text{total}}}{P_{\text{max}}} = \frac{2.89}{0.78} \doteq 3.7 \text{ とな}$$

となり、平均音響強度 P_{ave} は

$$P_{\text{ave}} = 3.7 P_{\text{max}} \cdot \frac{T_{\alpha}}{T_1} \dots\dots\dots(7)$$

となる。

ここで、パルス群の長さ(巾) T_{α} は実測で $5 \mu\text{sec}$ 、周期 T_1 が 1.12 msec であつたから平均音響強度 P_{ave} は

$$\begin{aligned}
 P_{\text{ave}} &\doteq 1.65 \times 10^{-5} P_{\text{max}} \\
 &= 1.29 \text{ (mW)}
 \end{aligned}$$

となつた。

II 研究結果

今回の実験に供したのは、周波数 1.1 MHz から 5 MHz のもの合計 12 種についてであり、その成績は一括して表 1 に示した。

探触子の周波数、直径、その他がさまざまであるために、最大音響強度は 0.26 W から、 1.1 W の広い範囲に分布していた。したがつて、平均音響強度は 0.43 mW から 1.88 mW にひろがり、共振周波数 5 MHz の No. 7 の探触は著しい高値を示した。しかし、この探触子を除いた 3 MHz 以下のものでは、平均音響強度は 6.27 mW 以下であつた。

また、路床用としてもつとも、一般的である共振周波数 $2 \sim 3 \text{ MHz}$ のものに限定すれば、最大音響強度(出力)は 3.8 W から 0.26 W の広い範囲に分布していた。さらに、最大音響強度を示した点のトランスデューサーからの距離は振動子の直径が $10 \sim 20 \text{ mm}$ のものに限れば 4.5 cm から 7.1 cm の範囲にあり、振動子の直径が 6 mm のものでは、 1.5 cm から 5.4 cm の距離となつた。

また、得られた波形についてみると、振動子に

よつて、それぞれことなつたパルス群が出現している。

III 考察

超音波パルス法の音響強度あるいは出力の測定には、連続波のそれとは基本的にことなつたさまざまな問題点があることはよく知られている。

とくに、強制的に定常振動を起こさせる連続波の場合とはことなり、断続的な駆動を行なうために、振動子の定常特性のみならず、過度特性が問題となる。このような非定常な駆動はその分析が非常に困難で、最大音響強度(出力)あるいは平均音響強度の測定にあつても、いくつかの基本的な仮定と近似を行なつて測定せざるを得ない。

また、実際の測定にあつては、マイクロプローブの直径がある程度の大きさと、指向性をもつことは避けられない。さらに、実験に使用された駆動回路と、振動子のカップリングの問題、さらにはユリメーターの位置決め精度や、水槽の音響的な条件など、多数の因子が測定精度に関係してくる。

このように、詳細にみると測定上の問題は多く残されているものの、臨床医の立場からすれば、実際に使用されている振動子の基本的な測定を行ない、少なくとも生物学的実験を行なうための基礎データを集積する必要がある。その意味でも、最大音響強度(出力)や平均音響強度については、今後の生物実験を実施するための不可欠なデータであり、パルス群の長さ(巾)や、間隔(周期)などのデータとあわせて超音波パルス法の生体作用の分析を進める必要がある。

このように考えるならば、今回の実験は、いくつかの基本的な問題は残されたものの、小型のマイクロプローブを用いて、生体組織内での音響強度の測定を行なう可能性を確認することが出来た意味は大きい。さらに、電子スキャン法を含めたさまざまな探触子について、音響強度の測定を行ない、各種の探触子の優劣比較や、今後の低出力化のための基礎データの集積が可能となつたといえよう。

つぎに、方法論の問題は別として、得られた測定成績についてみると、臨床的に多用されている

2～3 MHzの振動子について、その最大音響強度が水槽内で0.26 Wから3.8 Wに達し、その位置は振動子から2.6～7 cmであったことは注意すべきで、従来から知られていたようにパルス法の平均音響強度が6.27 mW以下であるものの、最大音響強度は著しく高いことを測定値として裏付けることになった。しかし、これらの音響出力が生体内にそのまま照射されるわけではないのは当然で、予備的に行なった生体内の測定では、これらの値から少なくとも20 dB以上は減衰している。しかし、パルスの音響強度が瞬間的ではあるが高値を示すことは注意すべきであるのは当然で、今後はこうした問題を含めて、生物学的実験を試みて行く予定である。

要 約

超音波断層用の振動子で周波数1.1 MHzから5 MHzのもの12種について水槽内における最

大および平均音響強度などを測定した。測定には銅球法で校正されたマイクロプローブを用いた。

平均音響強度としては周波数2～3 MHzのものでは0.43 mWから6.27 mWであったが、最大音響強度ははるかに高く、その出現部位は振動子から4.5 cmから7.1 cm(直径1.3～2.0 mmのもの)であり、振動子の直径が6 mmのものでは1.5 cmから5.4 cmとなった。

また、この方法は生体内での音響強度を測定する方法であり、今後の生物学的実験を行なう上の有力な武器となることが確かめられた。

(なお、今回の実験にあたっては、東芝玉川工場、斎藤興治博士に御指導、御協力いただいたことを附記し深謝します。)

表 I 各種プローブの最大音響強度と平均音響強度

No	プローブ	周波数 MHz	最大出力電圧 Vmax mV	距離 cm	最大音響強度 mW	平均音響強度 mW
1	ET2SF 13 mm	2.0	350	6.2	3800	6.27
2	SMT ₂ 13 mm	2.2	120	4.5	400	0.66
3	ET2LF 6 mm	2.2	190	2.6	1000	1.65
4	P/N60542-7	2.3	170	3.7	780	1.29
5	24926H 19 mm	1.1	80	4.2	720	1.19
6	SMT ₂ 20 mm	2.7	100	6.0	260	0.43
7	24922H 6 mm	5.0	350	5.4	11400	18.8
8	24911H 13 mm	2.2	220	4.7	1980	3.27
9	24907H 10 mm	2.9	300	7.1	2440	4.03
10	ET2SF 13 mm	1.7	250	6.5	2560	4.22
11	ET2LF 13 mm	1.8	280	4.5	2910	4.80
12	ET2SF 6 mm	2.1	230	1.5	1560	2.57

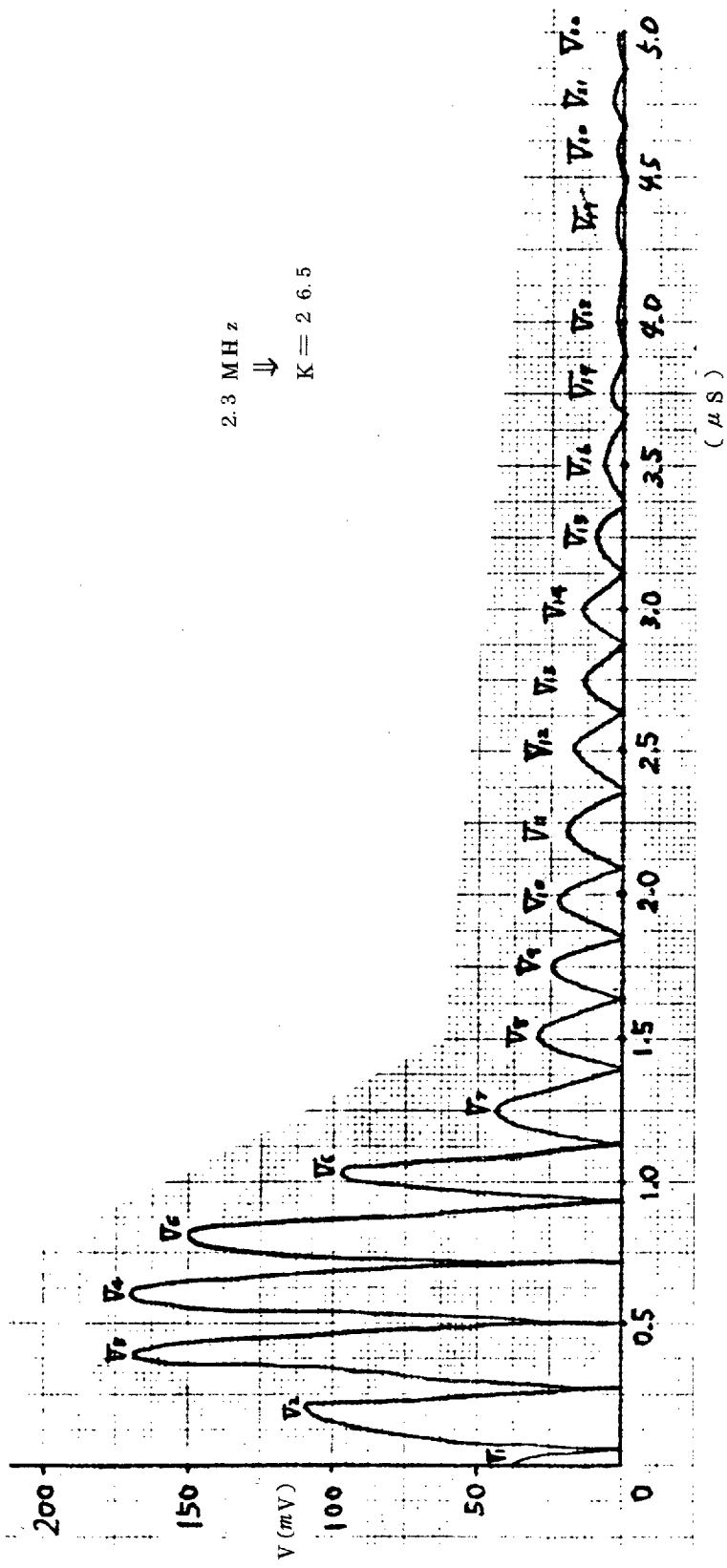


図1 |V| の波形 (No.4)

↓
検索用テキスト OCR(光学的文字認識)ソフト使用
論文の一部ですが、認識率の関係で誤字が含まれる場合があります
↓

研究目的

超音波診断装置の産科臨床への普及はめざましく、ことに、パルス波を用いた手動走査、あるいは高速電子走査型の断層装置は日常臨床に不可欠のものとなりつつある。しかし、これら装置の安全性については従来から検討はされてきたものの超音波ドップラー法などの連続波の場合とことなり、その音響強度、あるいは出力の測定についても多くの問題点が残されているのが実情である。

その意味で、われわれは生体に対する照射実験にさきだって、現段階で臨床用に使用されている各種探触子の出力特性について検討したので報告する。