

超音波パルス法の胎児母体生理に及ぼす 影響に関する研究

研究第1部

穂垣 正暢

協同研究者

斎藤 興治 (東芝, 玉川)

I 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ぎだつて、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。

II 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1.5mm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気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0.25Wの音場で鋼球法により校正されたもので、周波数1MHzで42mV、2.5MHzで100mV、5MHzで52mV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あらかじめ校正されているので、その音響交換効率をKとすると、最大音響強度 (出力) Pmax は下式により得られる。

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

(Vmax : 最大出力電圧)

たとえば 2.5MHz では

$$K = \frac{P_{max}}{V_{max}^2} = \frac{1}{4} \times \left(\frac{1}{100 \times 10^{-3}} \right)^2 = 25 \dots\dots(2)$$

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0.25W/cm²の音場におけるプローブの最大出力電圧を計算して第1図を得た。

2) 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、一つの入力パルスにともなう発生するパルス群の長さ (あるいは幅) T_α を考慮する必要がある。したがって、一つのパルス入力に対応する出力の総和を Ptotal とすると、平均音響強度 Pave は次式で与えられる。

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

ここで Ptotal は、1個の入力パルスにともなう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、

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

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

したがって、この場合には、

$$P_{total} \approx K \sum_{n=1}^{22} |V_n|^2 = 26.5 \times 109,000 \times 10^{-6} = 2.89 \text{ (W)} \dots\dots\dots(5)$$

この Ptotal と、前述の最大音響強度 Pmax との関係は

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

とすると、この場合のNは

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

平均音響強度 P_{ave} は、

$$P_{ave} = 3.7 P_{max} \cdot \frac{T\alpha}{T_1} \dots\dots\dots(?)$$

となる。

ここで パルス群の長さ(幅) $T\alpha$ は実測で $5 \mu \text{ sec}$, 周期 T_1 が 1.12 m sec であったから平均音響強度 P_{ave} は

$$P_{ave} = 1.65 \times 10^{-8} P_{max} = 1.29 \text{ (mW)}$$

となった。

III 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第1表に示した。

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、 11 W の広い範囲に分布していた。したがって、平均音響強度は 0.43 mW から 18.8 mW にひろがり、共振周波数 5 MHz の No7 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 以下であった。

また、臨床用としてもっとも、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 の距離となった。

また、得られた波形についてみると振動子によって、それぞれこととなったパルス群が出現している。

IV 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ってき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、過渡特性が問題となる。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たっては、いくつかの基本的な仮定と近似を行って測定せざるを得ない。

また、実際の測定にあたっては、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、実際に使用された駆動回路と、振動子のカップリングの問題、さらにはコ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(幅)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、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ったといえよう。

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 $2 \sim 3 \text{ MHz}$ 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 $2.6 \sim 7 \text{ cm}$ 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、パルス法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。

V 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。測定には鋼球法で校正されたマイクロプローブを用いた。

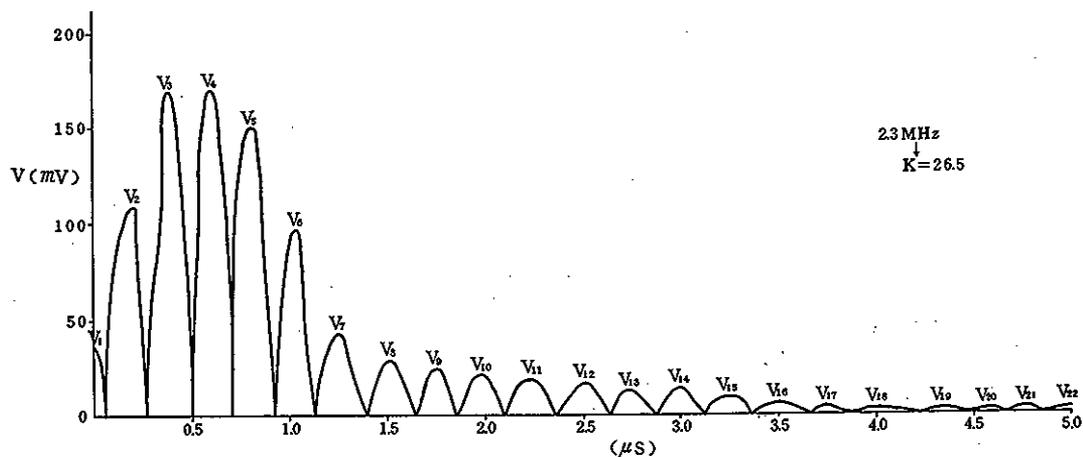
平均音響強度としては周波数 $2 \sim 3 \text{ MHz}$ のものでは 0.43 mW から 6.27 mW であったが、最大音響強度ははるかに高く、その出現部位は振動子から 4.5 cm から 7.1 cm

(直径13~20mmのもの)であり、振動子の直径が6mmのものでは1.5cmから5.4cmとなった。

であり、今後の生物学的実験を行う上の有力な武器となることが確かめられた。

また、この方法は生体内での音響強度を測定する方法

第 1 図



第 2 図 |V| の波形 (No. 4)

$$P_{total} = K \sum_{n=1}^{22} |V_n|^2 = 26.5 \times 109,000 \times 10^{-6} = 2.89 \text{ (W)}$$

$$P_{total} = N P_{max} \text{ として}$$

$$N = \frac{P_{total}}{P_{max}} = \frac{2.89}{0.78} \approx 3.7$$

第 1 表 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	ET 2 S F 13mm	2.0	350	6.2	3,800	6.27
2	SMT ₂ 13mm	2.2	120	4.5	400	0.66
3	ET 2 L F 6mm	2.2	190	2.6	1,000	1.65
4	P/N60542-7	2.3	170	3.7	780	1.29
5	24926H 19mm	1.1	80	4.2	720	1.19
6	SMT ₂ 20mm	2.7	100	6.0	260	0.43
7	24922H 6mm	5.0	350	5.4	11,400	18.80
8	24911H 13mm	2.2	220	4.7	1,980	3.27
9	24907H 10mm	2.9	300	7.1	2,440	4.03
10	ET 2 S F 10mm	1.7	250	6.5	2,560	4.22
11	ET 2 L F 13mm	1.8	280	4.5	2,910	4.80
12	ET 2 S F 6mm	2.1	230	1.5	1,560	2.57