超音射治療器に就て

久保田製作所 渡 辺 顕

General Review on the Ultrasonic Therapeutic Treatment Apparatus

A. Watanabe

Kubota Medical Instrument MFG. Co., Ltd.

〔一〕 超音波医学発達史

超音波の生みの親であるフランスのランデュヴァンが船の方向探知器の研究を行っているうちに超音波をうけた魚が急死するという興味ある事実を発見した。その後1927年にアメリカの学者ウッド・ルーミス・ハーヴェイが超音波の生物学的効果に対して学問的記述を行ったのが契機となって、ドイツではミュールウェルト・ペルウィチュキ・ハム・フォス・ディースバッヘル・フレントツェル等が研究を進めて早くも難聴治療に着目し、フランスではドグノン・ビアンカニイ等がイギリスではチャンバースらが基礎的研究を進めていった。しかしながらドイツで行われた治療の試みは人間の耳に聞えない振動の速い音波を鼓膜に与えようとするに止まり、本当の意味の超音波ではなかったため、結局治療効果なきものとして1933年には見すてられるに至った。

ところがその翌年から1939年までの重要な時期に日本で超音波の医学生物学的な研究は各方面で著しく進展し、微生物や血球に対する効果が試験管内で調べられたのみならず更に進んで生体実験的に小動物の腫瘍を超音波によって破壊しようとする試みが行われ、意外にも超音波は細胞の生長を阻害せずむしろ促進する効果があることを発見した。これら重要な研究成果のうちヨーロッパに報告せられたものだけでも全世界の論文の約40%を占めたか、日本が超音波医学を独占した観がある。（この頃当製作所に於ても旧陸軍衛生材料本廠の命令によって1934年に超音波の研究を始め1936年には400ワット、1939年には1000ワット、1940年には2000ワットの強力超音波発生装置を世界に先駆けて製作した）。

以上のような日本の研究成果がヨーロッパの学者をして1939年より再び超音波医学に向わしめる動機となった。ポールマンはその編著「超音射治療学」の中で「日本に於ける諸研究から考察を進めて超音波には刺激的な (anregende) そして促進的な (fördernde) 効果があることを認め、超音波の強さを適当に弱くし

さえすれば確実にその破壊作用を抑えしかも有意義な効果はそのまま発揮するように仕向けることが可能であると考へて研究を進めていった」ことを率直に述べている。吾々日本人から見れば単純すぎるほど素朴な考へに立っていないながら遂に超音射治療学の基礎を築き上げていったポールマンの努力はその国民性を偲ばしめるものであるが、現在の超音波医学がまだ解決に到達していない細胞の賦活作用を掲げている点に、今後吾々が歩むべき道の一つの指標としてなお意義が失われていないように考えられる。

その後10年の努力は第二次大戦によって妨げられたにもかかわらず1949年（昭和24年）には記念すべき行事として初の国際超音波医学会がドイツのエルランゲンに於て開催され、ドイツ・フランス・イタリア・イギリスの医学者・物理学者及び製造技術者により多数の基礎的並に臨床的研究が報告され、また臨床統計資料の豊富な集輯により超音射治療の適応症の全貌が明らかにされたばかりでなく治療器として概ね今日見られる如き形態が整えられ、ジューメンス社・ウルトラクスト社・レーフェルト社・エベルツ社・アトラスウェルケ社・エスヴィッヒ社・シロー社・ステークウントロイター社等の製品が展示を競う盛況を呈した。この国際超音波医学会は1950年にはイタリアのローマで開かれ基礎論よりも治療の具体的問題を討議し、1951年には治療の実際面から用量の規正及び超音射強度の測定という特殊問題のシンポジウムが行われ、1952年には多くの臨床例とその経過をまわって始めて問題となる超音射障害及び副作用の有無にかんし討論が行われ、ここに重要な結論としてレントゲン障害のような意味での超音射による障害というものはいくつも認められないということが確定せられた。このほか1951年にポールマンは「超音射治療学」を上梓し1953年にはパスツール研究所のグラバーは超音波の試験管内実験について生物物理化学の立場から総合報告を行っている。

以上の如き歴史的背景を以て吾々日本人が再び超音射治療器を手にしたことは意義が深いと考えられ

る。しいて云えばこの治療法は日本の国に芽生えた有力な物理療法であって、今後日本人の手でドイツ人が果しえなかった新しい面を完成させていく責任があるとも云えるのではないだろうか。吾々もまた医学者の研究が進められるに従い当然起ってくる要求にたいし治療器技術の面で努力を致しドイツの製品よりも更に一步を進めた装置を創作したいと念願しているものである。ここに超音射とは超音波を人体に照射するという意味でドイツ語のウルトラシャルトゥング (Ultraschalltung) 英語のインソネーション (insonation) に相当する言葉であるが、日本の医学者の間では早くから音射とか超音射とか云われていた。従って超音射治療器というのが先人の努力に報いる正統的な名称であると考えられている。

〔二〕 適応症及び作用機序一般

超音射治療の適応症及び治療部位は概ね次の通りである。

(1) リウマチ性疾患・神経痛

(坐骨神経痛, 筋肉リウマチ・肋間神経痛, 筋痛, 腰痛等)

局所及び所属脊髄分節に超音射

(2) 関節疾患

(上膊肩胛関節周囲炎, 関節炎, 非炎症性関節病, ベヒテレウ氏病, 脊椎強直, 多発性慢性関節炎, 顎座癰等)

局所及び関節周辺に超音射

(3) 潰瘍・膿瘍

(膿瘍, 下腿潰瘍, 胃潰瘍, 十二指腸潰瘍, レントゲン潰瘍, 栄養障害性潰瘍, 凍傷性潰瘍火傷性潰瘍等)

局所に超音射

(4) 化膿性及び膿性炎症性疾患

(乳腺炎, 蜂窩織炎, 癰, 癰, 汗腺炎, 汗腺膿瘍, 瘰癧, 爪廓炎, 淋巴腺炎, 淋巴管炎, 膵腺炎等) 局所に超音射

(5) 末梢性循環障碍

(間歇性跛行症, 指端チアノーゼ, 痙攣性指端血行障碍, ブーデック氏萎縮症, 凍傷等)

局所, 所属脊髄分節及び動脈周辺に超音射

(6) その他

(夜尿症, 気管支喘息症, 帯状疱疹, 皮膚硬化症, デフテリー症等)

以上の如く従来治療が甚だしく困難であったかまたは全く療法の無かったいわゆる難症の治療に有効であることが特色といえよう。そしてとくに注目すべきことは局所に超音射するばかりでなく所属脊髄分節に向

って超音射する点である。この中枢神経に対する刺戟効果は近時とみに注目され治療効果の主流をなす観があるが、歴史的には1937年にドゥシックが脳病の診断に超音波を利用しようとした努力に始まり偶然に発見せられたものである。その後研究の結果中枢神経にたいする作用はノボカインによる機能封鎖や交感神経切除に似た経過を示すことを発表し、重要な忠告として中枢神経に超音射する場合は有効な過ぎる弱い超音射しか用いてはならないと述べている。またデニエは疼痛の局所へ超音射した場合と脊椎部へ超音射した場合と比較して詳細な研究を行ない、スツールファウスは局所に与えられた刺戟が交感神経によって反射的に血管系や心臓に伝達されることを報告し、ルードウィヒは猫の坐骨神経及び脊椎に強い超音射を行ったさいのスパイク・レスポンスの非常な低下を発表し、カイデルは蛙の心臓に超音射して心電図による研究を行っている。このような電気生理学的研究は超音射治療の作用機序を解明するにきわめて有意義なものとして今後の研究が期待されている。

しかしながら前項にも述べたように超音射は組織細胞にたいして賦活効果を有することを早やかに日本人が発見し実際に潰瘍の治療等の場合明らかにこの効果が観察されているが、ヨーロッパの超音波医学はまだこの問題の解決に到達していない。むしろ今日の状況では中枢神経にたいする刺戟効果に流行の流れが片寄りすぎている傾向が見られる。神経系にたいする効果はその敏感さの故に注目され易いことは当然であるけれども、そのみに超音射の効果を帰せしめる如き狭められた視野に立つことは研究の成果を期する道ではなく、吾々としては今日までに積み上げられてきた超音波の物理化学的あるいは生物物理化学的な研究成果を包含して出来るだけ広い視野に立ち今後の研究を展開していきたい。しいて云うならば今日再び吾々日本人が超音射治療器を手にした歴史的意義もこの辺りにあると云えるのではないだろうか。

〔三〕 超音射の医学生物学的効果

超音射の物理化学的效果としてはよく知られた選択的発熱効果のほか比較的弱い超音射によっても常にひき起される電解質の薄膜透過現象があり、また強い超音射の場合は巨大分子にたいする作用として生体膠質の構造粘性の低下による原形質の流動性の向上が知られているほか、生物物理化学的效果として1949年の国際超音波医学会にスツールファウスによって血清蛋白質分割に変化を与えることが報告され、またグラバーによって抗原抗体反応に変化を与えることが試験管内実験的に研究せられている。

(1) ローカル・ジアテルミー ポールマンは実際に生体実験を行ない超音波の減衰を測定し平均して体表面から2.0~2.5 ㎝で強度が半減しこのように浅い所では深さにたいして殆んど比例的に強度が減衰していくこと、また体表面から1.5~2.0 ㎝の所で脂肪層から筋肉組織に移行するため吸収係数が6割でいど増大するという結果を発表している。このため筋肉は脂肪よりも選択的に温熱されるのでこれを選択的温熱効果すなわちローカル・ジアテルミー (local diathermy) と呼んでいるが、ポールマンの測定結果によれば4ワット/平方㎝という比較的強い超音射を行った場合20秒後に体表面より2.5~3.0 ㎝の深さで約3°Cという予想外に大きな温度上昇を認め、超音射停止後20秒という短時間に約1°Cの温度上昇に復帰することが知られた。そしてこの急激な温度の下降は発生した熱量の約80%が血液によって運び去られるためであると報告している。

(2) 電解質の滲透現象 電解質溶液を薄膜に包んで蒸留水中に浸し超音波を照射すると滲透圧に逆って電解質が蒸留水中に滲透してくる現象で、超音波に特有な効果として既に1935年にフレントツェルらが注目し理論的説明は1938年にヘルマンズによって殆んど確立されたものであるが、周知の如く生体の組織細胞がその中に浸って生活している組織液の物理化学的性質はクロード・ベルナルの云う内部環境を形成して温度・滲透圧・PH・イオン分布等は厳密にある生理的範囲内に維持されていなければならない、しかるに超音射をうけた生体組織ではこれらの平衡が人工的に擾乱され、例えば細胞内液と細胞外液との膜平衡に介在する細胞界面に於て電解質の滲透現象が起ったとすれば、この刺激は超音射特有な効果となる筈であり中枢神経の刺激をも含めて広い意味での生理的刺激を組織細胞に与えることとなる。

(3) 非特異的刺激療法 スツールファウスは30ワットの超音射で腕の上膊部を緊迫して血行を止めながら生体実験を行ない、血清総蛋白含量に於て平均9.6%の減少を示しアルブミンとグロブリンの比は平均61%という著明な増大を実測し、またグロブリン分割に於てはガンマーが増大してアルファー及びベーターが減少するという結果を報告し、このよに異種化された蛋白体が人工的に生成されるとすれば生体は当然これにたいして反応を示さねばならないから、ここに非特異的刺激療法 (unspezifische Reizkörper Therapie) としての効果を考えねばならないということを主張している。この現象は血清の超音波処理による試験管内実験と比較せられ興味ある問題として我国でも研究が進められているが、とくにアルブミン・グロブリン

比の変化やグロブリン分割の変化は疾病の種類にも関係あるものとして最近における濾紙電気泳動法の普及及発達とともにますます詳細な研究が行われている。

(4) 抗原抗体反応 抗原抗体反応にたいする超音射の影響は今後もっとも興味ある問題であるが系統的な研究はほとんどパスツール研究所のグラバーらによって行われている。例えば卵白の超音波による変性を家兎のアンチ・ゼールムにたいする血清反応で調べた結果熱変性とは著しく相違し激しい振盪または泡立ちによる変性と似た性質を示し、長時間超音波処理によって2800オングストロームに於けるスペクトル吸収帯は消失してしまったにもかかわらずなお抗原性を失わなかったこと、また血清の超音波処理による影響はPHに関係し溶解度に変化を与えること、あるいは馬血清アルブミンを超音波処理して家兎のアンチ・ゼールムにたいする抗原性で調べた結果では免疫反応はほとんど変化しなかったことなどを数年にわたって報告している。しかしながらペニシリン等の力価が超音射によって低下することは広く知られ、また血清のフィブリノリチックな活性やアドレナリンにたいする活性は一過的に向上し再び失われていくという報告がある。このように血清蛋白の如きラビールな巨大分子にたいする超音波の影響はことにザルツの介在する生体の場合きわめて複雑なものがあろうと考えられる。

(5) 生体膠質の構造粘性の低下 ゼラチンや澱粉糊を超音波処理すると粘性が著減することはセント・ジョルジが1933年に発見して以来数多くの報告があり、1943年にシュミットはとくに構造粘性が敏感に破壊されること、ゾル状態よりもゲル状態が影響をうけやすいことを発表した。その後1949年にグラバーらは膠質体に於ける粘性の低下が超音波の発泡作用キャビテーションに基づくものであることを実験的に明らかにしたが、後にワイスラーやゾルナーによって確認され超音射による生体膠質の流動性の向上はかつて考えられていたように超音波の振盪作用によるものでなく、巨大な分子に対する物理化学的效果によるものであることが知られるに至った。この効果はきわめて顕著であって原形質流動の向上が顕微鏡下に於て観察されている。

〔四〕 超音射治療器の発達と現況

治療器として最初の試みはドグノンとビアンカニイの考案によるものでフランスの S. C. A. M. 社で製作された油中音波式のものである。この方式はずっと遅れてベルグマンの著書により我国に伝えられ日本の医学者はこれを利用し当製作所に於ても1950年よりこの考案を改良した油中音波式のを難聴治療用として

製作していた。しかるにドイツでは早やくから水晶板を金属板に密着させてこの金属板から超音波を発射させるいわゆるランデュヴァン型振動子が用いられ、このため治療器及び治療法が急速に進歩し医科器械の発達と医学の進歩が密接な関係にある事実を如実に示す好例を残し、1949年の国際超音波医学会には概ね今日みる如き形態の超音射治療器を完成しているという驚異的な発展を示した。このランデュヴァン型振動子というものは冒頭にも述べた如く早やくから船の方向探知器に用いられていた装置であって、日本で超音波の医学生物学的効果が盛んに研究された1933～1939年の頃であっても水中音響の技術が導入されたならば解決出来たであろうと思われる。当時もしそれに成功していれば日本の超音波医学は間違いなく発展の端緒につき世界の研究をリードしていた筈であって今にして思えばまことに惜しいことであった。この1949年の国際会議はいろいろな点で示唆にとむ資料を集めているが当時の記録に従って超音射治療器を概観すれば次のようなものである。

〔大型〕	超音波 総出力 (ワット)	超音波 発射面 (平方糎)	超音射 強度 (ワット/平方糎)	音射筒 冷却法
ジーメンス社 {	50	10	5	水 冷
レーフェルト社 {	55	12.5	4.5	空 冷
	40	8	5	空 冷
	25	5	5	空 冷
ウルトラクスト社 {	40	10	4	空 冷
エスピヒ社 {	45	10	4.5	水 冷
ステーク・ ロイター社 {	28	5.5	5	空 冷
(平均)	(40)	(8.8)	(4.7)	

〔卓上型〕	超音波 総出力 (ワット)	超音波 発射面 (平方糎)	超音射 強度 (ワット/平方糎)	音射筒 冷却法
ジーメンス社 {	30	10	3	水 冷
ウルトラクスト社 {	20	5	4	空 冷
シロ社 {	15	7	2	空 冷
(平均)	(22)	(7.3)	(3)	

以上の如く大型に主力がおかれ卓上型はパワーの小さいものに限られていた。すなわち大型は総出力40ワット超音波発射面積8～10平方糎で超音射強度4.5～5.0ワット/平方糎のものが多く今日でもこれが標準品とされている。また卓上型は総出力20～30ワット超音波発射面積7～8平方糎超音射強度3～4ワット/平方糎のものであったが、今日ではポータブル型として総出力30ワット程度のものが多い。標準品にこのような大きな発射面積と強い超音射強度をもたしめている理由は人体における超音波の吸収が激しいものであって、2.0～2.5糎の深さで強度が半減し例えば5ワット/平方糎の強さで治療を行っても実際に筋肉組織に与えられる超

音射強度は2～3ワット/平方糎でいど、深部に至れば1～2ワット/平方糎あるいはそれ以下になってしまうため治療器のパワーとしては大きくとっておかねば深部治療が有効に行えないからである。また超音波の波長は耗のていどであるため発射面の直径が充分大きくないといわゆる回折及び干渉という現象が起って音射筒からまっすぐに深部え向って超音波が進んで行かないため深達性が著しく悪いという重要な問題があるからである。そして800～1000キロサイクルといえぱパワーを利用する超音波としては比較的振動数の高いものであるがその理由は、生体における超音波の吸収をポールマンが実測した結果振動数に比例するものであって普通の液体のように振動数の自乗に比例するものではないという特殊な事情によるものである。

当時の装置で目立つのは超音波を発射させる音射筒に水冷式のものが少くないことで各社における超音波技術の優劣を明らかに物語っている。吾々も試作の初期には音射筒の発熱には大いに悩まされたが、要するに音響学的な設計が出来ていないと水晶から発射される振動のエネルギーが無駄に熱として失われてしまい有効な超音波に変換されて行かないからである。ポールマンが「熱感少く痛感の強い装置ほど治療成績が良好である」と述べているのは使用者の経験からする鋭い言葉であって設計の急所を突いているものである。吾々も標準型「テラソニック」を総出力40ワット有効発射面積8平方糎で超音射強度5ワット/平方糎をもたしてしかも小型に（もちろん水冷は用いない）製作するために苦心をしなければならなかったが、音響学的な設計を進めて何時間連続使用しても音射筒は体温でいどの温度に止まるようになしえた。

次に重要な問題は超音波を応用する装置では同調調整が大変にやかましいことである。超短波では同調を外して出力の加減をすることさえ行われているが超音射では同調が外れると全たく効果が無くなってしまい時としては逆の作用を呈する場合さえある。吾々は多年超音波発生装置を製作してきた経験から何んとかして同調調整の要らない装置を作りえないものかと以前から考えていたが、超音射治療器の試作に当って否応なくこの問題に直面せざるをえなくなり昨年の6月新しい着想に立って遂にこれを解決することができ、ここに始めて製品化の道が啓かれた次第である。したがって「テラソニック」ではただ単に出力加減用のスイッチを入れるだけで何時間連続してもまたいつ治療を行っても常に完全に同調状態が保持されている仕組みとなっている。このことは実際の治療に当って操作が簡単であるばかりでなく各患者にたいして正確な用量が用いられるので治療成績が確実となるのである。ま

たこの目的にそうよう真空管を取替えてもパワーが全
たく変わらないように設計されている。

用量を正確に規正するためにはいまひとつ重要な問
題として超音射強度の測定という仕事がある。すでに
1949年の国際超音波医学会にジーメンス社及びウルト
ラクスト社より出力計の出品があり、1951年の会議で
は用量の規正及び超音射強度の測定にかんしてシンポ
ジウムが行われたことは前述のとおりであるが、国
際会議を開いて討議しなければならないほどの難しい
問題なのである。現在まだ欧米の製品でも出力の目安
として水晶振動子にかかる高周波電圧を分圧して真空
管電圧計で読んでいるものが少くないが、この方法は
単に出力の目安としてしか利用できないことは周知の
事実である。例えば同調が外れたり真空管が知らぬま
に悪くなったりあるいはこのため真空管を取替えたり
すれば全たく何を示しているかわからないものになっ
てしまうのである。したがって解決の道は「超音射強
度は実際に発射されている超音波そのものの音響的な
パワーで測定せよ」というのが結論であり、ジーメ
ンス社のものは超音射の音圧を天秤にかけて機械的に測
定するというマリネスコの考案を製品化したものではあ
るが、総出力を測定するものであるためこれを有効発
射面積で割らなくては超音射強度が求められない不便
がありとうてい正確な測定は望みえない。このため工
業的用途とは違い、人体に超音射するという厳密を要
する治療器用の出力計としては甚だしく不十分なもの
として時代とともに忘れ去られてしまった。ウルトラ
クスト社のものも現在製作されていないので過去の記
録に載った以外は全たく不明である。幸いに吾々は試
作研究を行っていたとき偶然なことから逆ピエゾ効果
によって超音射強度を電気的に測定する方法を発見
し、これに工夫を加えて正確な細かい目盛が現れるよ
うに製品化することができた。この方法では総出力を
測定するのではなく直接に超音射強度すなわち超音波
振動の振幅を測定するものである。「テラソニック」に
は装置の上部にこの出力計を取付け音射筒を載せれば
随時に測定が行えるようになっている。

以上の如く超音波の吸収の激しい人体にたいして深
部治療が有効に行ないうるように超音射強度を最高 5
ワット/平方厘まで出し、有効発射面が 8 平方厘で総
出力 40 ワットという大型標準品と同じ規格にし、ポー
ルマンの主張する如く「熱感が少く痛感の激しい超音
射治療器」を作るという目標に達しえ、また同調調整
が全たく要らないでただ単に出力加減用のスイッチを
入れれば常に完全同調された超音射が行われ、さらに
用量の規正のために正確な超音射出力計とタイマーを
そなえた超音射治療器を製作するという、医科器械学

会の趣旨にそう所まで到達しえたように思われるので
ここに標準型「テラソニック」なる名称のもとに発売
しあわせて医学総会に報告を行った次第である。

【参考文献】 本稿を記すに当り次の文献を参照した

- ① Reimar Pohlman „Die Ultraschall Therapie” verlag
Hans Huber, Berlin 1951
- ② „Der Ultraschall in der Medizin” S. Hirzel Verlag,
Zürich
Bd. I „Kongressbericht der Erlanger Ultraschall
Tagung” 1949
Bd. II „Fortschritte auf biologischem und medi-
zinischem Gebiet unter berücksichtigung der
Ergebnisse des internationalen Ultraschall-
Kongress in Rom” 1950
Bd. III „Beiträge zum Problem der Dosismessung
und Dosierung in der Ultraschalltherapie”
1951
Bd. IV „Nebenwirkungen und Schädigungsmögli-
chkeiten” 1952
- ③ Piere Grabar “Biological Actions of Ultrasonic
Waves”
ADVANCES IN BIOLOGICAL PHYSICS Vol. 3
Academic Press Inc., Publishers, New York 1953
- ④ Earle C. Gregg “Ultrasonic Vibrations”
Biophysical Research Methode, Chapter 10.
Interscience Publishers, New York, London 1954
- ⑤ Antwerpen “Ultrasonics …… two symposia”
American Institute of Chemical Engineers,
New York 1951
- ⑥ Hiedemann „Grundlagen und Ergebnisse der
Ultraschallforschung” Verlag Walter de Gruyter &
Co., Berlin 1939.
- ⑦ Bergmann „Der Ultraschall und seine Anwendung
in Wissenschaft und Technik” S. Hirzel Verlag,
Zürich 1951
- ⑧ P. Vigoureux “Ultrasonics” John Wiley & Sons
Inc., New York 1951
- ⑨ E. G. Richardson “Ultrasonic Physics” Elsevier
Publishing Co., Amsterdam 1952
- ⑩ 能本乙彦「超音波」河出書房
- ⑪ 桂井富之助「音化学と音膠質学」河出書房
- ⑫ ビッカード「超音波の話」(クセデュ) 白水社
- ⑬ 「超音射治療に就て」久保田製作所パンフレット