

Title	動物体内に於ける超音波の加温作用について(超音波療法の作用機轉に関する研究)
Author(s)	有賀, 槐三; 小林, 恭之介
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1958, 17(10), p. 1135-1141
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/18857
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

動物体内に於ける超音波の加温作用について*

(超音波療法的作用機轉に関する研究)

日本大学医学部有賀内科学教室

有賀 槐三** 小林 恭之介***

(昭和32年6月20日受付)

緒言

超音波(以下USと略記する)療法はPohlman(1938)²⁾の発表以来物理療法として歐米特にドイツに於て廣く行われており、本邦に於ても昭和28年その治療器の市販以来漸次普及しつつある。

その作用機序については未だ充分に解明されていないが、この療法を確立したPohlman³⁾⁴⁾はその第一にUSの加温作用をあげており、従来の生物學的諸實驗に於てもUSの熱作用が主要因子の一つにあげられている。

Lehmann等はUSの細胞機能⁵⁾或は組織の物質代謝に及ぼす影響⁶⁾の主因子はその熱効果であると述べ、又USによる治療上の生物學的諸反應は機械的作用よりも主として熱作用に由来するものであり、US療法は選擇的加温療法であると述べている。

USの熱作用はUSエネルギーの吸収或は摩擦に依つて起るものであり、これについて有賀⁸⁾は早くより試験管内實驗を行い、發熱を起す機序及び要因について詳細に報告した。又一方体組織に於けるUSの加温作用についてはその研究報告は後述の如く未だ寥々たるものである。

そこで我々は本問題を解明する爲に人体及び家兎について皮膚、皮下組織、骨、胸部及び腹腔内

臓器について研究し、更に屍体と生体とを比較實驗し、幾つかの新知見を得たのでここに報告する。

實驗方法

(1) US發生装置:振動數は1000KC, 最大強度は40W(0.5~5 W/cm²), 投射頭の直徑は5 cm, 表面積は8 cm², 水晶板の直徑4 cm, 厚さ3 mmである。而してUS強度はW/cm²で書き、Wと略記した。

(2) 温度測定器:英弘精器製作所のマイクロパイロメーターを使用した。

(3) 家兎の投射部皮膚は剃毛し、流動パラフィンを塗布し、US投射面を密着せしむる様細心の注意をはらつた。

實 驗

1) 人体について

我々はUS治療には通常1~2 Wを5~10分間投射しているのでこの強さで實驗した。

無風の室内(15~20°C)で精神的、肉体的安静の後、皮膚を露出し5分後皮膚温を測定し、次いでUSを投射し、中止後再び測定した。對照實驗にはUSを投射することなく單に投射頭を皮膚面に同一時間當てた後、温度を測定した。その結果は表の如く對照に比しUS投射群は温度上昇が著しい。この温度上昇は軀幹部よりも四肢の方が著明であつた。

又1 Wより2 Wの方が著明であつたが、その程度は略く1.5倍であり、強さとは正比例していない。

3 W投射は灼熱性疼痛の爲實驗困難であつた

* 本論文要旨は昭和31年4月¹⁾、及び32年5月第14及び15回日本医学放射線学会總會に於て報告した。

** 教授

*** 助手

別表 US 投射による皮膚温の変化

部位	例数	US 1 W			US 2 W		
		前	5 分 後	10 分 後	前	5 分 後	10 分 後
大腿部	1.	30.4	32.2 (1.8)	33.2 (2.8)	30.0	32.6 (2.6)	34.0 (4.0)
	2.	29.5	32.0 (2.5)	32.4 (2.9)	30.4	32.4 (2.0)	33.4 (3.0)
	3.	30.0	31.5 (1.5)	32.0 (2.0)	32.2	34.7 (2.5)	36.7 (4.5)
	対 照	29.5	30.4 (0.9)	31.0 (1.5)	30.6	31.2 (0.6)	31.6 (1.0)
上腕部	1.	27.4	29.5 (2.1)	30.5 (3.1)	27.6	29.7 (2.1)	31.0 (3.4)
	2.	30.6	32.4 (1.8)	34.6 (4.0)	30.6	33.4 (2.8)	34.1 (3.5)
	3.	29.0	30.7 (1.7)	31.0 (2.0)	30.0	34.6 (4.6)	36.8 (6.8)
	対 照	30.6	36.6 (1.0)	32.2 (1.6)	30.0	30.5 (0.5)	31.5 (1.5)
腹部	1.	31.6	32.8 (1.2)	34.1 (2.5)	31.6	33.5 (1.9)	35.2 (3.6)
	2.	33.5	34.2 (0.7)	35.7 (2.2)	33.5	36.6 (3.1)	36.8 (3.3)
	3.	34.0	35.5 (1.5)	36.5 (2.5)	33.5	36.8 (3.3)	37.3 (3.8)
	対 照	33.0	33.3 (0.3)	33.4 (0.4)	34.0	35.0 (1.0)	35.5 (1.5)
腰部	1.	34.0	35.2 (1.2)	36.0 (2.0)	35.0	37.0 (2.0)	38.5 (3.5)
	2.	33.0	34.5 (1.5)	35.0 (2.0)	33.0	36.0 (3.0)	39.0 (4.0)
	3.	34.0	34.8 (0.8)	36.5 (2.5)	34.0	37.6 (3.5)	38.0 (4.0)
	対 照	32.0	32.5 (0.5)	32.8 (0.8)	32.0	32.6 (0.5)	32.8 (0.8)

が、1, 2 Wでは小水泡形成などの障害は全く認められなかつた。投射中止後尚一定時間自覺的温感が残留するが、これは恐らく後述の如く皮下組織内の温度上昇が投射中止後も容易に元の値に戻らないことが一因であろう。

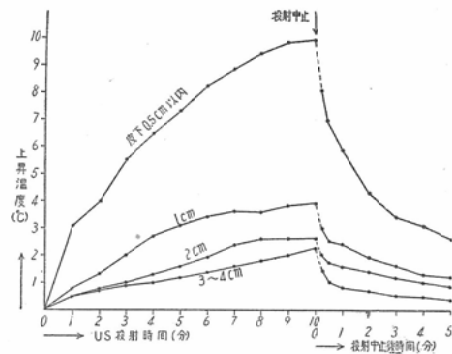
2) 皮下軟部組織について

既に Pohlman²⁾ は人体の臀部に熱電錐を刺し、US (5 W/cm²) を 20秒間投射し、皮下 0.2 ~ 3 cmの深さに亘つて温度上昇を測定し、2.2 ~ 5.8°Cの上昇を認め、その上昇度は投射當初急速に後緩やかとなり、中止後急激に下降することを認めた。

岡¹⁰⁾ は家兎について 0.75 W/cm² 30分間投射し、皮下 4 cm及び 1.5 cmに於ける温度變化を測定し、3 ~ 10°Cの温度上昇を認めている。

余は家兎の臀部に US を 3 W 10分間投射し、皮下 0.5, 1, 2 及 3 ~ 4 cmの深さの 4カ所について各々 5例づゝ実験した。その結果はその平均値を以つて圖示した第 1圖の如く、投射時及び中止後の温度變化の経過はいずれの深さに於ても略く相似であり、投射中は時間と共に當初急激に後緩く上昇し、中止後急激に下降し、後漸次緩慢とな

第 1圖 家兎臀部軟部組織に於ける US 加温作用

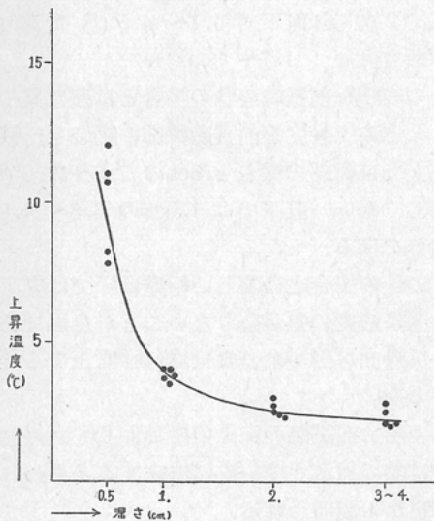


り、而も容易に投射前の温度に戻らない。この経過は Pohlman⁴⁾ の実験と一致している。

この場合投射當初急激に、後緩く上昇するのは US に依る熱發生の一方には皮膚からの放散、血流による喪失がある爲と解される。

その深さとの關係をみると、投射 10分の上昇度を比較すれば第 2圖の如くなる。即ち 1 cm迄は深さと共に急激に發熱度は減弱し、それ以後は深さによる差異は少く、減弱度は緩慢である。而して Pohlman⁴⁾ によれば生体臀部の半價層 (US 勢力が半減する深さ) は 80 KC の場合筋肉組織では

第2図 臀部軟部組織に於けるUSによる加温と深さとの関係



2.1cm, 脂肪組織では3.3cmであると言う。第2圖の曲線の如く發熱度と深さとの関係は直線でないから、これから半價層を推定することは困難であるが、0.5cmの深さの温度上昇(7.8~12.0°C)に對し、2cm(2.3~3.0°C)及び3~4cm(2.1~2.8°C)では夫々 $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ となっている。

3) 骨及びその周圍組織について

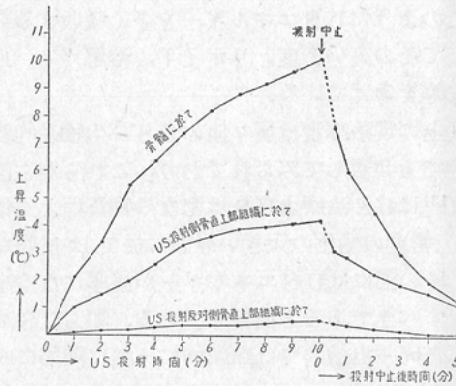
1938年 Freundlich 等¹¹⁾は鶏の骨髓について、その後 Nelson 等¹²⁾は犬の大腿骨について實驗し、著しい加熱作用がある事から慢性骨髓炎等の治療への應用を示唆した。

我々はUSを3W10分間家兎大腿部皮膚上より骨に向つて投射した。皮膚より大腿部迄の距離は多少の個人差はあるが、3~4cmであつた。骨髓内の温度測定は切開により骨を露出し、外科用ドリルで小孔を開けて温接點を刺入し、反對側より投射した。

その實驗成績は各實驗5羽の平均値をもつて圖示した第3圖の如くであり、いずれもその投射時及び中止後の温度變化の推移は前實驗と相似である。

投射側の骨直上部に於て測定した場合その温度變化の経過は前實驗のそれと相似であるが、それ

第3圖 大腿部の骨及び骨周圍組織に於けるUS加温作用



よりも上昇度は速かに高く、同じ深さの3~4cmで比較すれば、この場合(3.5~4.7°C)は前實驗(2.9~2.8°C)の2倍近くも高い。

これに反し放射反対側の骨直下部における温度上昇度は0.5~1.1°Cで著しく低い、1例は全く温度上昇を認めなかつた。これは前實驗の同一深さの發熱度に比較すれば $\frac{1}{2}$ 以下である。これは Pohlman³⁾が示唆した如く、密度の著しい差ある軟部組織と大腿骨との境界に於てUSが反射され、骨近接部にUSエネルギーの密度が増加した爲である。一方反対側では骨に妨げられてUSは僅かとなり、發熱度も少い。この現象は既にある賀¹³⁾が種々の實驗に於て屢々指摘した所である。

骨髓内で測定した場合その上昇度は前記骨直上部よりも著しく(6.5~12.3°C)その約2倍であつた。これは骨に於ては周圍組織と異り、その密度が高く、USエネルギーがよく吸収され、一方骨内では熱の放散は少い爲であると思われる。

Freundlich 等¹¹⁾も鶏の骨髓が1分投射で10~15°Cも上昇したと報告している。又 Nelson 等¹²⁾は麻酔犬の下腿について1分半投射し骨髓の温度上昇は5Wでは5.4°C、10Wでは10.3°Cであり、骨皮質では僅かに高く、これに反し筋肉では低く夫々1.1, 2.2°Cであつたと。又非麻酔犬について3W投射し、骨髓では9.8~3.4°Cであり、筋肉では僅かに0.6~2.3°Cであつたと。又 Krusen 等¹⁴⁾は800KCのUSを固定法で5W/cm²2分

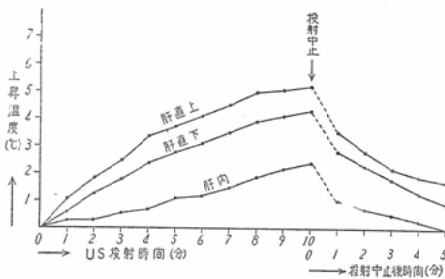
間投射したとき犬の下肢の骨皮質(持続波)の温度上昇は 11°C であつたと。又 Nelson 等¹²⁾は骨髓がこのようにUSエネルギーを多く吸収する要素としてその高い密度、リポイド、溶解ガス、血液含有等をあげている。

以上の実験事實は屢々他のUSの生物學的實驗に於ても共通してみられており、これらから既に有賀¹³⁾はUS治療上USは密なる物質程よく傳導し、密度の變化の大きい界面に於ては反射が起り、その部にはUSエネルギーが濃厚になる事を銘記すべきであると指摘している。即ちUS治療の場合同一組織内では漸減的に一樣に深部に向つてUSが滲透していくが、密度が著しく異なる組織が混在する場合は、そこ丈がUS密度が増強し部分的に加熱され或は過量投射になつたり、或は反對に殆んど作用を受けない部分が出来たりすることがある譯である。

4) 肝臓について

家兎の肝臓は分葉して左右の季肋部に亘つて帯状をなしており、大部分が肋骨弓内にある。我々は上腹正中線に切開を加えて肝の直上、肝内、肝直下に温接點を刺し入れて固定し、腹壁を縫合閉

第4図 肝臓及びその周囲に於けるUS加温作用



鎖した後、右季肋部の皮膚上からその部に向つて投射した。この場合投射頭よりの距離は夫々約0.5, 0.7~1.0及び1~1.3cmであつた。

各實驗に4羽宛使用したが、その平均値を以つて示せば第4圖の如くである。

いずれの場合も投射と共に温度は次第に上昇し、10分後投射中止と共に始め急速に後徐々に下降している。而して肝臓内の場合は中止後5分

投射前の値に戻つたが、他の場合は戻らなかつた。

その温度上昇度は肝直上が最も高く(3.9~7.0 $^{\circ}\text{C}$)次に肝直下(4.1~4.5 $^{\circ}\text{C}$)であり、肝内は最も低い(1.7~3.0 $^{\circ}\text{C}$)。

この成績は前實驗の骨の場合とは甚だ異つている。又その上昇度を前實驗臀部の場合と比較すれば直上では臀部の深さ0.5cmの7.8~12.0 $^{\circ}\text{C}$ よりは著しく低い。直下では1.0cmの3.8~4.0 $^{\circ}\text{C}$ と略同じである。

この骨の場合との著しい相違は肝では皮下組織との間に密度の差が余りないことが主因であり、従つて界面反射が余りない爲に肝直上でもそれ程上昇しない。

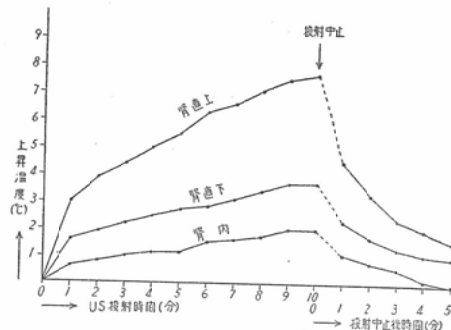
この場合前實驗の皮下の場合よりも上昇度が低いのは熱の放散が多い事に由來すると思われ、次の事實から説明される。

それは肝内の温度上昇が最も低い、これは肝が血流豊富な臓器であり、吸収されたUSエネルギーが或は發生熱が血流によつて次々と運び去られることによるものと考えられる。この事は次の腎の場合からも肯定される。

5) 腎臓について

家兎の腎臓は左は腹壁上から容易に觸れるが、右は觸れ難いので、左腎について肝と同様その直上、直下、腎内の温度上昇を測定した。この場合皮膚上からの距離は0.3, 1.8~2及0.7~1.0cmであつた。

第5図 腎臓及びその周囲に於けるUS加温作用



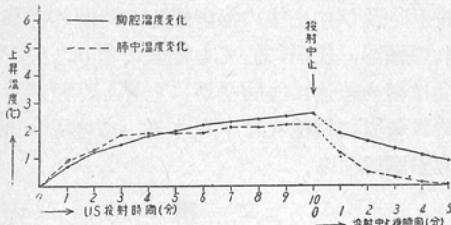
各實驗に5羽づつ使用し、その成績を平均値をもつて圖示すれば第5圖の如くである。

その温度変化の経過は肝臓の場合とよく似ており、又温度上昇度の順位も肝同様であり、腎内が最低であり、又腎内の場合のみ中止5分後に前値に戻っている。腎内の温度上昇が低い事は前同様血流による發生熱の搬出を以つて説明される。又腎直上部の温度上昇は肝の場合より高いが、これは腎の方が皮膚からの深さが浅い爲と思われる。

6) 肝臓について

豫め氣胸針を刺入し、これにより夫々の位置までの長さを測定しておき、それ従つて温接点を刺入し、前同様皮膚上より投射した。家兎胸壁部迄の距離は0.5cm以下であり、肺實質内の温接点迄の距離は約1cmであつた。各實驗に5羽宛使用し、その平均値を以つて圖示すれば第6圖の如く、その投射時及び中止後の温度変化の経過はいずれも緩徐である。而して投射時の温度曲線は胸腔肺臓内共に殆んど相違はないが、中止後の経過

第6圖 肺臓及び胸膜腔内に於けるUS加温作用



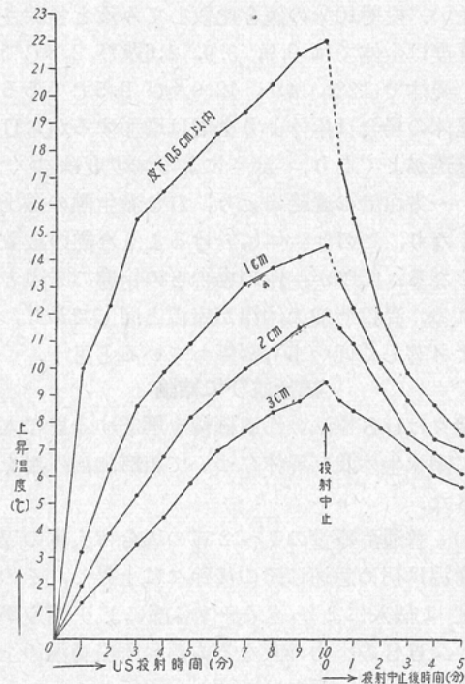
は肺臓内では比較的速やかに下降し、5分後に前値に戻り、胸壁内ではその下降は遅く5分後も前値へ戻らない。又その温度上昇は前實驗の臀部の場合よりも低く、この場合の深さは0.5~1cmであるが、前實驗の皮下2cmに於ける温度上昇に略一致する。

7) 屍体について

以上の實驗から判る様にUSの体内への深達性はその体組織の密度が關係する。従つて死後体内の蛋白が凝固し、ゾル状態からゲル状態に變化すれば、USの吸収も變化することが考えられる。

Pohlman³⁾⁴⁾によればゾル状態の方がゲル状態よりも吸収され易く、従つてUSの半減する迄の距離(半價層)は浅いと。又臀部の筋肉組織の半

第7圖 家兎屍体臀部軟部組織に於けるUS加温作用



價層は3.6cm、脂肪組織では6.8cmであると云い、Horvath¹⁵⁾は水の半價層は4.5cm、油脂では0.6~1.1cmであると言う。又前實驗に於て血流が關係していることが推定されたが、死後は血流が停止するからその影響も考えられる。

Pohlman⁴⁾によれば生体臀部筋肉の半價層は800KCのUSで2.1cmであり、屍体のそれでは3.6cmであり、死後ではその深達性が増大されると。而してその相違の主因として循環血液中のガス含有をあげている。

以上から我々も生体と屍体との相違を温熱作用の上から觀察した。

死後6~8時間の死後強直を起している家兎の臀部にUSを投射し實驗(1)と同様に0.5, 1, 2, 3~4cmの深さに於て温度を測定した。各實驗4例づつの平均値を以つてその成績を圖示すれば第7圖の如くである。

即ちその投射時及び中止後の温度変化の推移は前實驗と同様であり、深部に行くにしたがつてそ

の上昇度が減少することも同じである。しかしその上昇度は前実験の生体の場合に比較して著しく大きい。投射10分の値を比較してみると各深さの上昇度は生体では9.9, 3.9, 2.6及び2.3°Cであり、屍体では22, 14.5, 12.0及び9.5°Cである。

屍体の場合は生体より密度は増加するからUSの透過がよくなり、深さによる減少度は少くなる。一方血流の途絶により、US発生熱の搬出は無くなり、この他生体に於けるような熱の放散も無くなる。此等が生体の場合との相違の原因と思われる。尚投射前の体温が室温と同じであり、生体より著しく低い事も関係していると思う。

總括並びに結論

我々はUS療法の作用機轉を解明する爲に人並びに家兎生体及び屍体について組織加温作用を研究した。

1) 普通治療量の1~2Wの場合は人体の局所皮膚温は初め急速にその後徐々に上昇し、その上昇度は個人により、又身体各部により相違がある。又USの出力の大なる方が局所皮膚温の上昇度も大きい、両者は必ずしも平行しない。

2) USを3W10分間生家兎の臀部に投射した場合、その皮下組織内の温度上昇は深さと共に急速に減少する。これは各深さに於けるUSエネルギーの吸収を示すものである。

投射時及び中止後の温度変化の時間的推移はいずれも相似であり、投射初期に急速に後緩やかに上昇し、中止直後非常に急速に減少し、後時間と共に減少度は少くなり、仲々投射前の値に戻らない。この経過はPohlmanの實驗と略々一致する。かゝる發熱経過をとるのは熱の傳導、血流による散逸、皮膚面からの放散等が考えられ、又中止後容易にもとの温度に戻らないことが、US投射後温感が残留することの主因の一つと思う。

3) 大腿部に於て投射した場合投射側の骨近接部では臀部に於ける同じ深さの場合より發熱度が著しく高く約2倍であり、これに反し反対側では著しく低く、一方骨髓内の温度上昇はこれよりも高い。これはUS密度の著しく異なる骨部に於て、反射され、投射側にエネルギー密度の増加を来た

すこと、高密度其他によりUSが骨によく吸収されること等が主因と思う。

(4) 肝及び腎では臓器内の温度上昇は外面よりも低く、血流によりUS發生熱が散逸される事を示しており、従つて又血流豊富な肝の方が腎より低い。

5) 胸腔内及び肺臓内の温度上昇は皮下組織に比していづれも低く肋骨により、又胸腔によりUSの浸透が著しく妨げられる事を示している。

6) 屍体の臀部に投射した場合は生体に比しその上昇度は著しい。これは密度の増加による透過の増大、血流の停止其他による熱の放散の減少が原因であり、又投射前体温が低い(室温と同じ)事が関係している。

以上から次の如く結論される。

USの組織加温作用は密度の同じ組織内では一様に深さと共に急激に減少して行くが、密度の異なるものがある場合には一様でなく、部分的に強く加温される状態が起る。

投射時及び中止後の温度変化の時間的推移はいずれの臓器、組織に於ても相似であり、投射時間と共に初め急速に後緩やかに上昇し、投射中止と同時に急激に後徐々に下降する。この場合血流の多寡が關係する。

文 献

- 1) 小林恭之介他; 日本医放誌. 16 (3) 73 (1950).
- 2) Pohlman, R.: Dtsch, med, Wschr. 65, 2 51 (1939).
- 3) Pohlman, R., E.P. Souchon u. H. Schlungbaum: Klin, Wschr. 26, 277 (1948).
- 4) Pohlman, R.: Schweiz, med, Wschr. 79 (33) 754 (1949).
- 5) Lehmann, J.F., G. Becher u. J. Otto: Strahlentherapie, 87, 550 (1952).
- 6) Lehman, J.F. u. R. Hohlyeld: Strahlentherapie, 87, 544 (1952).
- 7) Lehmann, J.F.: Arch. Phys. Med. a. Rehabilitation 34, 741 (1953); J.A.M.A. 157, 996 (1955).
- 8) 有賀槐三; 日大医誌. 3 (1) 10 (昭24).
- 9) 小林恭之介; 日大医誌. 16 (11) 掲載予定.
- 10) 岡益尚他; 臨床外科. 7 (8) 383 (1952).
- 11) Freundlich, H., K. Söllner u. F. Rogowski: Klin. Wschr. 11, 1512 (1932).
- 12) Nelson, P.A., J.F. Hevick a. F.H. Krusen: Arch. Phys. Med. 31, 687 (1950), 34, 424 (1953).
- 13) 有賀槐三; 日大医誌 11 (1) 1, (2) 71, (3) 143 (昭27).
- 14) F.H. Krusen, L.F. Bender, a. Herrick J.F.:

Studies on the Heat Produced during the Application of
Supersonic Waves in the Tissues.

By

Kaizo Ariga and Kyonosuke Kobayashi

(Ariga Clinic of Internal Medicine, Nihon University School of Medicine)

The heat produced during the application of supersonic waves is responsible for the therapeutic effect. This paper is presented the summary of experiments on human-being and rabbits as to the heat produced by the waves.

1) Rapid increase in the temperature with subsequent gradual increase in any tissue was observed during the application of the waves. This phenomenon may be explained to be a result of heat loss in tissues by conduction, diffusion through skin or into blood stream.

Then initial rapid decrease with subsequent gradual decrease in the temperature was noticed after the ceasing of application of waves.

2) The increase in dermal temperature varies with individuals and different parts of body.

3) The degree of the heat produced in the subcutaneous tissues of the buttocks in general is reduced in proportion to the depth of the tissues.

4) Marked increase in temperature in the irradiate surface of bone and only slight increase in the opposite side was seen. This fact suggests that the reflection of supersonic waves may be brought about by the remarkable differences in density between bone and the surrounding tissues. On the other hand, these were a remarkable rise in temperature as a result of heat being absorbed into the bone-marrow.

5) In liver and kidneys slight elevation were also observed. This fact may be explained to be due to the transportation of the heat produced in the liver and kidney into blood stream.

6) Slight rise in temperature in pleural cavity or lungs was seen. This fact may be a result of disturbance of the waves by the ribs, pleural cavity and lungs containing air.

7) The curve of changes in the heat in subcutaneous tissues of cavader was similar to these of livings, the degree of elevation being more pronounced in cavader than in the livings.