



Title	家兎眼に及ぼす超音波の影響超音波療法に関する基礎的實驗
Author(s)	有賀, 槐三; 土田, 次雄
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1957, 17(9), p. 1038-1047
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/17196
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

家兎眼に及ぼす超音波の影響*

超音波療法に関する基礎的実験

日本大学医学部有賀内科学教室

有賀槐三** 土田次雄***

(昭和32年5月14日受付)

1938年 Pohlman²⁾ が超音波（以下USと略記す）を初めて治療に應用して以来、その著明な鎮痛効果その他により歐米殊にドイツに於て物理療法として急速な發展を遂げた。本邦に於ても昭和28年US治療器が市販される様になつて以來廣く一般に行われんとしつつある。

一方その作用機轉は充分に解明されておらず、従つてその適應、禁忌、副作用については殊に後2者については今後共充分に研究されなければならないと思う。

このUS療法の禁忌の1つとして眼部の投射がある³⁾。その根據は次に述べる如き Zeiß その他の実験である。

Zeiß⁴⁾ (1938) は試験管内実験に於て摘出牛眼にUSを投射し、水晶体に小水泡性白内障が惹起され（超音波白内障、Ultraschallstareと命名）、又硝子体は不可逆的に溶解される事を觀察し、その後家兎、海猿或は人眼に於ても磯 (1941)⁵⁾、河本 (1947)⁶⁾ 等が追試確認し、その發生機轉について彼等はUSの Kavitation による水晶体層間の破裂を擧げている。又樋口⁷⁾ は同様の実験に於て角膜にみられる表在性の點状混濁、組織破壊像は媒質にゲラチンを入れて Kavitation による氣泡發生を防止した場合には殆んど認められず、この際は一過性の瀰漫性混濁のみであり、従つてこの破壊現象は Kavitation による組織内空洞形成

並びにその破裂によつて生ずるものであると述べた。次いで Müller, Holstege, Kleifeld (1949)⁸⁾ は Zeiß の云う小水泡性白内障のみならず、水晶体に Micell 構造の變化が起る事をレントゲン圖により見出し、これを核白内障 (Kernstare) と命名し、その發生機轉については Kleifeld 及 Fuchs⁹⁾ の熱電氣的測定等からUSの熱作用による凝固機轉を考え、Zeiß 等の云う小水泡白内障は US の機械的作用と熱作用との共同作用の結果であるとした。然るに一方同氏等⁹⁾ は家兎生眼ではかかる現象はみられないと云い、Grün, Funder, Wyt 等¹⁰⁾ も同様に試験管内実験では硝子体の廣汎な且不可逆的な溶解を、又死体の家兎眼について色々のUSによる變化を認めているが、やはり生眼では水晶体は全く透明であり、網膜にも検眼鏡で認め得るような變化はないと云う。

Donn¹¹⁾ も摘出牛眼について同様な不可逆的な硝子体の溶解現象を認め、これは家兎の生体眼では非常に強力にUSを作用しても惹起し得ないが、この際硝子体に氣泡を注入しておいて投射すればやはり惹起出来ると、又生体内実験では網膜に検眼鏡では正常所見であったが組織學的にUSによる損傷を認めたと云う。

Schwab 等¹²⁾¹³⁾ (1950) は家兎生眼にUSの振動數、強さ ($1/2 \sim 4\text{W}$)、投射方法を變え、又断續波と持続波について、その影響の差異を實験したが、その際高い振動數では角膜實質には全然或は極輕微の變化しかみられなかつたが、低い振動數のものを強力に作用させた場合白い混濁の發生を認め、こゝには細隙燈所見で微小の水泡様の破裂がみられ、USの Kavitation に由來するも

* 本論文要旨は第15回日本医学放射線学会総会に於ける超音波療法に関する研究の報告中で述べた¹⁾。

** 教授

*** 研究生

のとし、これは6週間後には纖細な網状物を残すのみとなつた。又瞳孔は縮少し、前房に滲出機轉があつたが、水晶体や眼底には何等の障害も認めなかつたと。Badtke¹⁴⁾はUSを眼疾患の治療に應用せんと試み、1947年 Henkel の協力の下に10羽の家兎生眼にUS(0.7~6W, 3~10分, 5回)を直接投射し、検眼鏡と細隙燈で検査した結果、何等の病的變化も認めず、網膜脈絡膜の出血も分裂剝離もみられず、硝子体も全く透明であつたと。唯發射頭を固定して、10分間宛5回投射した場合のみ角膜表層に軽度の膨張混濁を認めた。然しこれも4日後摘出した時は既に消失しており、組織學的にも變化はなかつたと。これにより通常の治療量では生きた家兎眼には認むべき障害は起らぬと結論した。

前記の Kleinfeld⁹⁾は15羽の家兎について同様な方法により、11.5W断續波で20分間3~4日の間隔をおいて10回投射した結果、角膜には全例に上皮性浮腫を、又装着したゴム筒との接觸部には糜爛を認めたが、これ等は24時間後に殆んど、48時間後に全例消褪し、前眼房には當初のみ40%にチandal現象を認めたのみであり、この部の透過性は一時亢進するが、對照實驗によりこれはUSの爲でなく實驗装置の機械的刺戟であるとし、又一過性の瞳孔の散大、對光反應の減弱乃至消失を認めた。

その他には變化なく、從つて生眼に於てはUS投與は眼の前部に一過性の變化しか起きないと結論した。

以上その他US投射の變化としては軽微な結膜毛細管充血、又時に虹彩充血があげられている。

Badtke¹⁴⁾は前記の自己の實驗成績からUSを治療に應用し、外傷及動脈硬化症による出血後の硝子体混濁の2例、霰粒腫形成の1例にかなりの効果を認め且副作用は殆んど無く、眼内部の輕度の熱感、牽引感を感じるのみであつたと。その後Belz¹⁵⁾は硝子体出血でUSにより視力恢復した症例を述べ、これはUSの線維溶解作用によるものならんとし、一方一時軽快したが悪化した例、その他無効例をあげ、優れた療法ではないが有害

作用はないと言つた。然し Hallermann¹⁶⁾はこのUS療法の行過ぎを警戒しており、彼によれば Heidelberg の第55回ドイツ眼科學會では討論の結果、實際の使用は避けるように警告したと云う。岡等¹⁷⁾は比較的弱いUSではあるが家兎眼に直接投射しても結膜充血の他は余り變化ないと、中西¹⁸⁾は直接投射により角膜上皮形成が促進されたと、又雲井¹⁹⁾は實驗的角膜出血に効果があると夫々報告している。

以上の諸報告に關連して我々もUSを眼疾患に應用する爲の基礎實驗として家兎の生眼に直接USを投射し、眼の各部分についてUSの影響を肉眼、検眼鏡及生体顯微鏡等により詳細に研究し、以下述べる如き興味ある結果を得た。

(實驗方法)

實驗裝置は Badtke¹⁴⁾, Kleinfeld⁹⁾ 等の方法に準じて圖の如きものを作製した。USは久保田製US治療器で、振動數1000KC(持続波)最高出力40W、投與強度5w/cm²、發振水晶板直徑4cm、厚さ3mm、投射面の直徑5.5cm、有効投射面積8cm²、これに投射面の直徑1.8cmのアタプターを付け圖の如くして實驗した。

家兎を一定位に固定、ラボナル麻酔を行い、又投射面と眼球との間の媒体には生理的食鹽水を使用した。

觀察方法としては肉眼、検眼鏡及生体顯微鏡を用い、一部組織標本により變化を確めた。又投與直後及24時間後に、更に必要に應じ4週間に亘り觀察した。

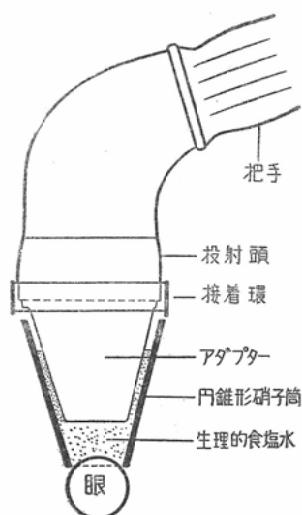
(實驗)

(1) 1回投射の影響

1~5w/cm²、投射時間5, 10及び20分間として、USを1回投射した場合の實驗成績を一括すれば第1表の如くである。

その個々については別に土田が報告する予定であるが、投射直後にはUS量の多寡に大体平行して結膜、角膜、瞳孔に次に述べる如き變化を認めた。

即ち結膜の變化は充血のみで、それも毎常みられるものではなく、3W以上に於て殊に5W20分投



第1表 U S 1回投射の影響(1) (裸眼の場合)

作 業 時 間	U 強 度 (W/cm ²)	結膜		角膜						その 他
		瞼	球	上浮皮腫	混濁	糜爛	潰瘍	凹凸	粗造	
5 分	1			±						○ 2 Wの場合のみ瞳孔稍 々縮少
	2			+						
	3		+		+					
	4		±		+	+		+		
	5			+			+			
10 分	1			+						○ 4, 5 Wの場合のみ瞳 孔縮少, 対光反応鈍
	2			+						
	3			±						
	4				+	±		+	+	
	5		+		+	+		+	+	
20 分	1				+	±				○全例共瞳孔縮少, 対光 反応鈍或は欠 ○ 5 Wの場合のみ虹彩充 血軽微
	2				+					
	3	+			±			+	+	
	4	+			±			±	±	
	5	++	++		±			+	+	

一般にU Sの強度が強くなれば、又投射時間が長くなれば變化は強く起り、3 W10分以上では結膜の充血、角膜の混濁も強く、表面の凹凸、粗造も起り、瞳孔の變化もみられ、又中には投射後その變化の増強するものもあり、或は投射直後には殆んど變化なかつたのに、その後に現われて来るものもあつた。

然し普通の使用量である1～2 Wの強さでは、

射に於て著明にみられた。

角膜の變化は主として上皮浮腫、混濁、次に軽度の糜爛、表面の粗造、凹凸等であり、糜爛は投射時家兎の暴れたものに多く、又 Kleifeld の實驗と同様に硝子筒の接觸部に多くみられ、一概に投射のみの影響とは斷定出來ないものであつた。又この角膜の變化は4～5 W10、20分投射のものに強く或は多く見られた。

瞳孔の變化は縮進、對光反應の遲鈍であり、これは20分以上の投射では毎常みられたが、10分投射群では殆んどみられなかつた。

紅彩には1例に於てのみ極輕度の充血がみられたにすぎず、前房、水晶体、硝子体、網膜には全く變化がみられなかつた。

第1表 U S 1回投射の影響(1) (裸眼の場合)

20分投射でも結膜の充血、時には角膜の軽度の變化がみられるにすぎず、しかも變化は翌日には全部消褪している。

(2) 加温のみの影響(対照實驗)

磯等^{5,6)}の實驗では加温の影響は余りみられなかつたが、Müller, Kleifeld, Fuchs はU S白内障の主因として、U Sの熱作用をあげており、又一般にU Sの生物學的實驗或は治療に於てその熱

作用が重視されている。我々の実験に於ては生理的食鹽水を介してUSを露出眼に投與したのであるから、USのエネルギーの吸收その他によりこの部に温度上昇が起る。従つて前項の諸變化はUSの直接作用でなく、この加熱によるものではないかと考え、実験(1)の対照として次の実験を行つた。

前実験に於て投射直後、硝子圓筒内の生理的食鹽水の温度を測定した所、5分投射群では34~39°C、10分投射群では35.4~46°C、20分投射群では38.5~45°Cであり、従つて全症例に於ける最高温度は46°C(4W10分)、最低温度34°C(1W5分)であり、実験前の温度との差は15~3°Cであつた。

そこで前同様に硝子圓筒を家兎眼に装着し、生理的食鹽水を満し、これを半田付電氣鎧で夫々の温度に加温し、USを投射することなく加温のみの影響を調べた。その結果は15例中12例に結膜の軽度の充血或は浮腫を認めたのみで、その他には變化なく、又この結膜の變化も翌日には消褪した。従つて前述の變化は殆んどがUSの直接作用によるものと考えられる。然し乍らこの実験に於ける測定値の最高温度は46°Cであつたが、一般にUS投射中媒体中に部分的に強い温度上昇が起ることがあると云われる。そこで試みに媒体の温度を略々50°C前後に固定し、5、10、15分間加温しその影響を観察した。

その結果は第2表の如く、5分では結膜の充血

第2表 加温(50°C)の影響

加時	動番	直			24時間後
		結膜	角膜	その他	
温間	物号	球の部分的充血	な し	な し	な し
		瞼の浮腫(++)	な し	な し	な し
10 分	3	同 上(++)	瞳孔頸に軽度混濁	な し	混濁 軽度 残存
	4	瞼の浮腫(+)充 血(±)	な し	な し	球部分的充血
20 分	5	瞼の浮腫(±) 充 血(++) 球の充血(++)	混 濁 爛(±)	虹彩充血(±) 瞳孔縮少 対光反応欠	虹彩充血の縮瞳残存 対光反応鈍
	6	瞼の浮腫(++) 充 血(++) 球の浮腫(±) 充 血(±)	同 上	虹彩充血(++) 瞳孔縮少 対光反応欠	同 上

或は浮腫のみであつたが、10分では角膜に軽度の混濁がみられ、20分では結膜の充血浮腫も強く、角膜の混濁、糜爛、紅彩の充血、瞳孔の縮少、対光反応消失等の変化がみられた。この20分50°C加温の変化は前記US20分投與の際にみられた変化と似ている。然し加温の際にはUS投射時みられた角膜表面の凹凸、粗造化がみられず、又瞳孔の変化はUSの方が短時間で起つてゐる。然し乍ら充血、浮腫、糜爛等は兩者とも共通しており、本実験における諸変化にUSによる熱作用が關與していると云うことは否定出来ない。

(3) 閉眼の場合

以上の実験では眼瞼を開き眼球に直接投射したが、次に閉眼のまゝ眼瞼の上より投射した場合について実験した。

実験方法は剃毛せる家兎眼瞼上にガラス圓筒を装着し、前同様に実験した。その結果は第3表の如く、結膜充血の出現例は前実験より多く、変化も稍々強く、前回では余り変化が見られなかつた3W10分投射に於ても既に充血、浮腫が起つてゐる。然しその他は一般に変化が前実験より軽度であり、角膜の浮腫は1例もみられず、混濁も比較的少く、糜爛は殆んどなく、表面の凹凸も少く、又瞳孔の変化の出現度も低い。又いずれも24時間後にはその変化が殆んで消褪してゐる。この際變

第3表 US 1回投射の影響(2)(閉眼の場合)

作用時間	U S 強度 (w/cm ²)	結膜		角膜				瞳孔		備考
		瞼	球	混濁	糜爛	凹凸	粗造	縮少	対反光応	
5分	1		±							
	2			±	+			+		
	3			+				±		
	4		+	+				±		
	5		+	+				±		
10分	1		±	±						
	2		±	±				±		
	3	+	+	±				±		
	4		±							
	5		+			±	±		鈍	
20分	1									
	2	+	+	+				±		鈍
	3	+	+							
	4	+				+				久
	5	#		+		±	+			久

第4表 US連続投射の影響

U S 強度	結膜 (出現頻度)	角膜	その他の
1 W	1, 3, 5 及び 7~10回充血 (各24時間後消失)	1, 5 及び 7~9回上皮浮腫 1, 3, 5, 7 及び 9, 10回凹凸 (各24時間後消失)	
2 W	1~10回充血(10) 2回浮腫(1) (24時間後消失)	1 及び 5~10回上皮浮腫(7) 4回糜爛 2~7 及び 10回凹凸 (各24時間後消失)	2回瞳孔縮少
3 W	2, 4 及び 6~10回充血 2回浮腫 (各24時間後消失)	1, 2, 4~6 及び 8, 9回混濁 2回糜爛 3~5, 7 及び 10回凹凸 (各24時間後消失)	8回虹彩充血 6回瞳孔縮少の縮少, 反応稍々鈍 (上記24時間後消失) 10, 11回網膜剥離
4 W	1~7 及び 9, 10回充血 (各24時間後消失)	1~3 及び 5~10回混濁 1回糜爛 1~5回凹凸 (24時間後略々消失)	1, 3~6回虹彩充血, 6及び9, 10回瞳孔縮少, 反応鈍 (大部分24時間後も残存) 7~10回網膜剥離
5 W	1~10回充血 (各24時間後消失)	1~10回混濁(3, 4 及び 8~10回は24時間後も残存) 1, 4回糜爛 2, 4, 5, 7 及び 9回凹凸 (7, 9回は残存)	3~6 及び 8回虹彩充血(24時間後消失) 3回24時間後虹彩浮腫, 3~4 及び 8~10回瞳孔縮少(9, 10回以外は24時間後消失) 3~4回対光反応鈍

化が最も強かつた2例(20分4及5W)は実験途中眼瞼が開き直接投射の如き状態になつたものである。

然し乍ら眼瞼上より投射しても、裸眼に直接投

射しても程度の差はあるが、惹起された變化には本質的な差異はない。

(4) 連續投射した場合

実験(1)はUSを1回のみ投與した場合の成績

第5表 最強投射の影響

U S 強度 W/cm ²	投射回数 (投射日)	直 後 の 変 化					備 考	
		結 膜	角 膜	虹 彩	瞳 孔	網 膜		
4 W	10 分	1 (7/9)	充 血	混 濁, 凹 凸, 粗 造	充 血	縮 反 応 少 欠	—	1~3日目に消褪
		2 (16/9)	充血, 浮腫	混 濁, 糜 爛	充 血		剥 離	網膜剥離以外は全部翌日消褪
		3 (26/10)		混 濁	輕 度 充 血	縮 反 応 少 欠	同 上	同 上
5 W	8 分	1 (5/10)	浮 腫	混 濁, 糜 爛	充 血 点状小出血	縮 反 応 少 欠		
		2 (7/10)	充 血	混 濁	充 血	同 上	剥 離	3回目はこれと同様
		4 (12/10)		瀰漫性混濁 針頭大水泡	同 上	翌 日 同 上		よく見えない。 翌日剥離
		5 (14/10)	充 血	瀰漫性混濁	同 上	散 反 応 大 欠	剥 離	6及び7はこれと同様
		8 (21/10)	同 上	混 濁 3日目潰瘍	同 上	同 上 3日目出欠		
5 W	9 分	1 (5/10)	充 血	混 濁		縮 反 応 少 欠		瞬膜の充血浮腫 翌日全部消褪
		2 (12/10)	浮 腫 強 血	混 濁 強 血 点状混濁		翌 日 稍々 散 大, 反応鈍	翌 日 剥 離 出 欠	
		3 (14/10)	充 血	瀰漫性混濁 後点状混濁		散 大, 反応 鈍, 反応欠	剥 離, 出 血	4, 5, 6回目はこれ と略々同様
5 W	10 分	2 (15/8)	充 血	全般に軽度 混濁, 糜 爛	充 血			1回目はこれより軽い (13/8) 3, 4回はこれ と略々同様か稍々強い
		5 (22/8)	充 血	瞳孔領に斑 状混濁, 粗	充 血	縮 反 応 少 鈍		6, 7回はこれと 略々同様
		8 (29/8)	充 血	造混濁増強 瀰漫性混濁	充 血	—		翌日角膜に小水泡形 成
5 W	12 分	1 (7/10)	充 血	混 濁		縮 反 応 少 鈍		2回はこれと同様
		3 (12/10)	充 血	瀰 漫 性 混 濁	充 血	縮 反 応 少 正		瞬膜浮腫, 出血
		4 (14/10)	充 血	混 濁	充 血, 出 血 後 瘢 着	翌 日 縮 反 応 少 正		5回はこれと同様
		6 (19/10)		球結膜より表層へ血管入 り込む (Pannus)				7回はこれより稍々 軽度
		8 (24/10)		混 濁 潰 瘡				9回はこれと略々同 様

であり、實際に治療に應用する場合には1回のみには止まらない。そこで次に前実験同様に

(1~5 W) を1日1回5分間投射し、これを1~2日の間隔で10回投射し、1日毎に直前、直後、24時間後の變化を前同様の方法により観察した。その結果は第4表の如く、意外にも1~2 Wの場合には1回投射と略々同様な軽度の變化を認めたにすぎず、又各回共投射翌日には變化消褪し、投射完

了後4週間迄観察したが、全然變化を認めなかつた。

然し乍ら3 W以上の場合は前項に述べたような結膜、角膜、瞳孔の變化が可なり多くみられ、更に今迄みられなかつた紅彩充血と網膜剥離がみられた。而して後者は3 Wの場合10回投射後に、4~5 Wの場合には7回投射後に夫々惹起された。

以上の如く3 W以上に於ては連續投射により變

化の増強がみられているが、1～2Wに於ては投射を繰返す事による影響はあまりみられなかつた。

(5) 特に多量に投射した場合

以上の諸実験に於ては水晶体は常に透明であり、硝子体に變化なく、角膜の混濁も5W連續投射の場合以外は一過性で白内障様の變化は全然みられなかつたが、更に強力にUSを作用させたならばこれに類するものが或は惹起し得るかもしれないし、又以上とは別の變化がみられるかもしれないと考えて、4～5Wの強度で作用時間を8, 9, 10及び12分とし、1日1回、1～2日おきに繰返し投射した。尙この場合12分以上投射すると角膜の混濁が強く、眼の觀察に支障を來すので、これ以上では実験を行わなかつた。

その実験成績は第5表の如く、その惹起された變化は前述のものと同じであるが、いずれもその變化が著明であり、角膜混濁、網膜剝離等が數多くみられた。4W10分の場合第1回投射直後の變化は48時間後には消褪したが、10日目に第2回投射をしたところ第1回より強い變化が現われ、網膜剝離が惹起され、これは10日後になつても存續していた。これに更に10日目第3回の投射をしたが、一時角膜の混濁が増強したのみで、それ以上の新しい變化はみられなかつた。5W8分の場合は4W10分より比較的強い變化がみられ、24時間後にも結膜、角膜に軽微の混濁が残存し且つ投射直後にはみられなかつた網膜剝離がみられた。角膜の混濁は投射を重ねるに従つて強くなり、4日目には水泡形成も起り、5回以後は瀰漫性から點状混濁に變貌して來た。又瞳孔の變化は4回目迄は今迄の実験同様縮瞳であつたが、5回投射後より前とは逆に散大し、對光反応は消失した。網膜剝離は最後まで持續し、最後には出血がみられ、又角膜に潰瘍を形成した。同じく5Wで投射時間を長く9分にした場合は前回よりも變化が稍々強く、角膜の瀰漫性或は點状混濁、更に前回同様5回以後から瞳孔散大、對光反応消失がみられ、又網膜剝離及び出血は2回投射後24時間よりみられ、6回投射後も残存した。

更に10分間とした場合は却つて前回よりも作用時間が長いにもかゝわらず、網膜の變化は全々みられず、瞳孔の變化も軽い。然し乍ら角膜の混濁は前回同様か或は強い。

更に延長して12分間投射した場合は前同様網膜の變化はみられず、瞳孔の變化も比較的軽く、散瞳もなく對光反応も消失しなかつた。然し他方虹彩には充血、血管の擴張、出血等比較的強い變化がみられ、角膜にも從來みられなかつたパンヌス様變化が6回投射後みられ、7回投射後には潰瘍が惹起され、9回投射後2日目には角膜に瘢痕化による白斑がみられた。

以上の如く大量の投射により、一般にその變化が増強され、又今迄みられなかつた強い變化もみられたが、水晶体、硝子体には全く變化無く、US白内障に類するものはみられなかつた。又この場合個體差が認められており、投射時間が長くとも、必らずしも變化が増強するとはかぎらず、又部位的にも影響の受け方に差異が認められた。

〔總括〕

以上我々はUSが眼疾患の治療に應用し得るや否やについて、その基礎實験として家兔の生眼にUSを色々の強さに於て、又投射時間を変え或は投射回数を變えて實験したが、その得られた成績を總括すると次の如くなる。

1～2Wでは1回投射では20分間投射しても一過性の軽度の充血が結膜にみられるにすぎない。又5分間ずつ1日おきに連續10回投射しても一過性の中等度の結膜充血或は角膜の軽度の浮腫がみられたにすぎない。従つて2W以下であれば充分治療に用いられると思う。岡等¹⁷⁾の報告はこの1～2Wの場合に近似している。

然し乍ら3W以上に於ては1回投射でも角膜の變化がみられ特に4W以上で10分以上投射した場合には強く。又20分以上では瞳孔の變化もみられた、又10分以上の投射例の中には24時間後に變化が増強或はあらたな變化が起つて来るものがあつた。

然し1回投射だけでは前房、水晶体、硝子体、網膜には變化なく虹彩充血は5Wの場合に軽度にみられたにすぎない。

然るに5分間づつ10回投射した場合には3Wに於て既に虹彩の變化と網膜の剥離がみられ、後者は3Wの場合は10回投射後、4~5Wの場合は7回投射後に夫々惹起されている。又5Wに於ては角膜の混濁は一部24時間後も殘存した。

此等の成績は繰返し投射した Kleifeld 等⁹⁾の成績と略々一致しているが、その變化が稍々強く、1回投射でも角膜の變化は彼等の云う上皮浮腫のみならず、より強い變化と思われる混濁、粗造化が見られ、又瞳孔の變化では彼は對光反射の減弱は投射後45分で消失したと述べているが、我々の實驗ではこれより長い。又彼は瞳孔は擴大すると述べ、一方 Schwab 等¹²⁾は縮少すると云い、この相違について Kleifeld 等は局所麻醉法の相違、即ち彼等はパントカインを、Schwab 等はコカインを夫々使用した事が原因ならんと述べている。我々の實驗ではラボナール静注による全身麻醉の下に行つたが、いずれも縮瞳であつた。而して最も強力に投射した場合には散瞳がみられ、角膜の永續瘢痕（白斑）、パンヌス様變化、潰瘍、對光反應の消失、網膜の剥離、出血等が惹起された。この持続性の角膜混濁は Schwab 等が強力にUSを作用させた際にみられた角度質の白濁に匹敵する所見と思われ、又網膜の剥離出血は從來にない強い變化であり、Donn¹¹⁾が検眼鏡では異常なかつたが、組織學的に網膜に障害を認めたと云う事と關連して、USを治療に應用する場合、最も注意すべき事であり、Badtke も注意している如く、近視の如く網膜剥離の傾向のある人は禁忌であると思う。

閉眼して眼瞼より投射した場合は瞼結膜の充血は強くみられるが、その他の變化は裸眼の場合より軽い。この事はUSの作用深度、界面反射が關係する事を示している。

これ等の變化がUSの特殊な機械的作用によるものか或は熱作用によるものかについては未だ實驗が充分ではないが、投射時の温度上昇は46~35°Cであり、夫々の場合加熱のみの影響を調べた結果では殆んどみるべき變化はなかつた。但し50°C 15分間加熱した場合はUS 1回投射（15分、20分）

と似た變化がみられた。然し必ずしも一致はしない。又動物生眼ではUS白内障は惹起されないが、これは摘出眼と生眼とに於けるUSによる發熱の相違によるものと思う。即ち Müller, Kleifeld 等の實驗はUS白内障の生成の主因はその熱作用である事を示している、單に水晶体を加熱した場合は Michel²⁰⁾によれば、52°Cで混濁が初まり、62°Cで全く混濁すると云い、野上²¹⁾は2才以上の牛の水晶体では55°Cで初まり、65°Cで中心部を除き全く混濁すると云う。

然るに Kleifeld, Fuchs⁹⁾の熱電氣的測定によれば生眼投射時の温度上昇は2~3°Cにすぎず、當教室小林²²⁾の同じ方法による生体各組織に於ける實驗に於ても試験管内と異り温度上昇は低く、臓器により、又部位或は深さにより異なるが、大体2~5°C時に7°C位である。

従つて生眼ではUSによる加熱が熱凝固を來す迄に達しない事が白内障が惹起されない原因と思う。

一方小水泡性白内障に於て熱作用のみならずUSによる Kavitation が一因と考えられており、Schwab¹²⁾が生眼でみた角膜の混濁は Kavitation による破裂が主因とされており、我々の實驗でも角膜混濁の或部分は不可逆的であり、而もこれは熱凝固機轉とは思われず、又樋口⁷⁾、Donn¹¹⁾の實驗は Kavitation による氣泡發生が重要な因子である事を示しており、又結膜、角膜の上皮性浮腫はその組織内に於ける微細水泡形成とすれば、USの機械的作用が考えられ、又角膜の粗造化、網膜剥離は他のUSの生物學的實驗からみてUSの特殊な機械的作用によるものと解せられる。

以上の如く生眼に於ける變化はその Kavitation, Dekavitation による機械的作用が主因をなし、これに熱作用が相乘的に作用しているものと思われる。

〔結論〕

① 超音波を家兎生眼に投射した場合にみられる變化は結膜充血、浮腫、角膜の上皮浮腫、混濁、表面の粗造、凹凸、虹彩の充血、瞳孔の縮

少、對光反応の鈍化或は欠除等であり、超音波を特に強力に作用させた場合には更に角膜の潰瘍、持続性白斑、瞳孔の散大、網膜剝離等が惹起される。

然し水晶体、硝子体には變化なく、白内障様變化は惹起し得ない。

此等の變化は從來の報告と共通しており、強度、作用時間、實驗方法等によりその程度に差異が現われるのみにすぎない。

② 以上の變化は主として超音波の機械的振盪作用に由来し、更に熱作用が關與しているものと思われる。

③ 普通量(1~2W)では投射を繰返えしても生眼では結膜、角膜に一過性の輕度の變化を起すにすぎない。従つて超音波は眼の治療に應用し得る。

又眼瞼上より(閉眼)投射した場合は裸眼より變化が軽い。

終りに本研究に多大の御協力をいただいた、当眼科学教室大山秀助教授に衷心より感謝する。

文 献

1) 有賀、土田他：日本医放会誌，16(3) 277,

- (昭31). — 2) Pohlman, R.: Dtsch. med. Wschr. 65, 251 (1939); Schweiz. med. Wschr. 77, (33) 754 (1949); Die Ultraschalltherapie (1950). — 3) Hinzelmann, U.: Schweiz. med. Wschr. 79 (33) 759 (1949). — 4) Zeiß, E.: Graef Arch., 139, 1301 (1938). — 5) 磯徳次郎：大阪医誌，40, 432 (昭16); 日眼誌，51(1, 2), (昭22). — 6) 河本郁雄：日眼誌，51, (1, 2) 12, 14 (昭22). — 7) 橋口一郎：綜合眼科雑誌，38, 778, 1140 (昭18). — 8) Müller, Holstege, Kleifeld: 55 Ber Dtsch Ophthalm. Ges. Heidelberg 1949. — 9) O. Kleifeld, Fuchs. K.: US in med, u. Grenzg. 7 (1) 9 (1954). — 10) Grün, Fuender, Wyt: Klin. Mbl. Angen. 116, 358 (1950). — 11) Donn, A.: Arch. Ophthalm. 53 (2) 215, (1955). — 12) Schwab, F.: US in d. Med. 2, 51 (1950). — 13) Schwab, Wyt, Nemetz: Klin. Mbl. Angen. 166, 367 (1950). — 14) Badtke, G.: Klin. Mbl. Angen. 114, 193 (1949). — 15) Belz: Annales D' Oculistigne Tome CLX-XIV (1951). — 16) Hallermann, W.: Klin. Mbl. Angen. 116, 355 (1950). — 17) 岡益尚他：臨床外科，7(8) 383 (昭27). — 18) 中西寛：日眼紀要，5(5) 166 (昭29). — 19) 雲井雄三郎：日眼紀要，5(3) 106 (昭29). — 20) Michel, V.: 大日本眼科全書，第1篇 194より引用。 — 21) 野上尚志：大日本眼科全書，第1篇 194より引用。 — 22) 小林恭之介：日大医誌，16(昭32)掲載予定。

The Effects of Supersonic Waves on the Eyes of the Normal Rabbits.

By

Kaizo Ariga and Tsugio Tsuchida

(Ariga clinic of Internal Medicine, N.U.S.M.)

The effects of irradiation of supersonic waves on the eyes of the normal rabbits were observed ophthalmoscopically and biomicroscopically and the following results were obtained.

The changes in the eyes caused by irradiation of supersonic waves were congestion and edema of the conjunctiva, edema, turbidity and roughness of the cornea, miosis and sluggish pupillary reaction to the light. Powerful irradiation caused congestion of the iris and detachment of the retina, but such changes as seen in cataract were not observed.

Above-mentioned changes is considered to be due to the mechanical and thermal effects of the supersonic waves.

Since only transient changes in the conjunctiva and cornea were seen after irradiation of supersonic waves of 1 or 2 watts per 1cm^2 every two or three days, its clinical application for eye diseases may be possible. However, particular care should be taken in the treatment for eye diseases with supersonic waves, because the application of high watts may cause the congestion of iris and detachement of the retina.