

氏名(本籍)	阿部裕
学位の種類	医学博士
学位記番号	医第2321号
学位授与年月日	平成3年2月27日
学位授与の条件	学位規則第5条第2項該当
最終学歴	昭和59年3月27日 東北大学医学部医学科卒業

学位論文題目 非水槽型体外衝撃波胆石破碎装置の基礎特性に関する研究

(主査)  
論文審査委員 教授 松野正紀 教授 田中元直  
教授 折笠精一

# 論文内容要旨

## 目 的

患者の苦痛軽減と装置の小型化，簡略化および他の胆石切石法との併用を可能にすることなどを目的に，従来の水槽型結石破碎装置をもとに新たに非水槽型体外衝撃波胆石破碎装置（以下，本装置）を開発した。本装置について基礎的圧力特性を検討し，さらに，ヒト胆石の被破碎性について検討を行った。

## 原 理

衝撃波は水中においた回転楕円体の第1焦点で微小爆薬アジ化銀10mgの爆発で生じ，回転楕円体の内面で反射・伝播する。そして，その第2焦点，すなわち体内の結石に焦点（フォーカシング）し，ここに高圧が発生する。従来の機器は患者を水槽に水漬けした状態で治療する設計であったが，本装置では患者と衝撃波発生装置との間にゴム膜を介するという変更を行った。これにより患者は水漬けから解放されベッド上で治療を受けられる。

## 方 法

### (1) 第2焦点付近の圧力特性の実測

本装置の下半分を水槽内に浸し，第2焦点付近で自作の圧力変換器（PVDF膜）を移動させ圧力を実測した。

### (2) 衝撃波フォーカシングの可視化

二重露光ホログラフィー干渉計法により衝撃波フォーカシングの可視化を試みた。

### (3) 数値シミュレーションによる圧力分布特性の検討

結石が実際に第2焦点に存在した場合の結石近傍の圧力実測は通常困難である。そこで，大型コンピューターを用いた数値シミュレーションによる結石近傍の圧力分布計算を試みた。計算はオイラーの方程式をTVD差分法で解くことにより行い，種々の位置に結石をおいた場合について，回転楕円体長軸上の圧力分布および長軸を含む平面上の圧力分布を検討した。

### (4) 各種胆石の被破碎性の検討

手術で得られた各種胆石を材料に水中で破碎実験を行った。ゴム製の疑似胆嚢中に胆石1個を約50mlの生理的食塩水とともに封入し第2焦点の部位に設定した。この胆石にくり返し衝撃波を照射し，胆石がはじめて分割されたときの衝撃波照射回数と粉碎されて焦点合わせができなくなるまでに要した全照射回数を求め，さらに破碎片のヒストグラムを作成した。用いた胆石は直

径10～23mmの純コレステロール石4個，X線透過性陰性混合石8個，X線不透過性陽性混合石4個，黒色石2個，ビリルビンカルシウム石2個である。

## 成 績

### (1) 第2焦点付近の圧力特性の実測

本装置で得られた最高圧力値は約91MPaであった。圧力分布上で最高圧力の半値以上の圧力を示す範囲は第2焦点を含み38mm（回転楕円体の長軸方向）×5mm（同，短軸方向）であった。

### (2) 衝撃波フォーカシングの可視化

二重露光ホログラフィー干渉計法によりフォーカシングの瞬間を水槽型と同様に可視化した。第2焦点付近では圧力勾配を示す縞模様が密となり急激な圧力上昇が生じていることが確認された。

### (3) 数値シミュレーションによる圧力分布特性の検討

長軸上の圧力分布では，衝撃波圧は結石直前で実測値の約2倍まで急激に上昇することがはじめて確認された。さらに30MPa以上の範囲を平面で見ると，結石が第2焦点に位置している場合には結石前面のごく小さな範囲だけであったが，結石が焦点から離れるに従って，すなわち正確なフォーカシングができなくなるとその範囲が拡大した。

### (4) 各種胆石の被破碎性の検討

最大径12～18mmの純コレステロール石と最大径10～23mmのX線透過性陰性混合石ではいったん分割された後は120～150回の衝撃波照射の追加により十分な破碎効果が得られた。陰性混合石ではその直径と分割に至るまでの照射数が相関した。陽性混合石では2mm以下の細かい破砕片が多く生じたものの，石灰化した表面を含む破砕片もいくつか大きく残存した。黒色石やビリルビンカルシウム石では分割されにくく，すべての破砕片を細かくすることは困難であった。

## 考 察

圧力特性の実測および可視化実験より本装置は胆石破碎装置として水槽型同様結石破碎治療に応用しうることが判明し，新たに患者の苦痛軽減や他の切石法，例えば胆道鏡による術後遺残結石切石法との併用の可能性などの利点が生まれた。圧力特性の数値シミュレーションからは実測では得られない結石近傍の圧力変化がとらえられ，衝撃波の高い圧力に他の組織が必要以上にさらされないため結石への確実なフォーカシングが重要であることが確認された。また，破碎実験より純コレステロール石と陰性混合石が衝撃波による胆石破碎の良い適応になると考えられた。陽性混合石では石灰化表面の大きな残存片の存在が治療に際して完全消失を困難にさせている理由のひとつと考えられた。色素石は一般に本法の適応外と思われた。

## 審査結果の要旨

本論文は体外衝撃波を用いた胆石破碎法に関する基礎研究がテーマである。試作した装置はこれまでの水槽型を改良して非水槽型とした。衝撃波発生源は微小爆薬アジ化銀10mgの爆発で、衝撃波は回転楕円体で反射・集束する。このことで患者は水漬けから解放され、さらに胆道鏡などの併用が可能となり、胆嚢結石のみならず胆管内の遺残結石の治療にも貢献できる可能性があるものと考えられる。

この装置を用いて、水中の圧力分布を自作の計測器により実測した。さらにこれまでは全く示されていなかった結石近傍における圧力特性を数値シミュレーションによりとらえようと試みた。また、二重露光ホログラフィー干渉計法による衝撃波集束の瞬間の把握を試みている。その結果、圧力は最大91MPa、パルス幅は2～3  $\mu\text{sec}$ であり、圧力分布上の最高圧力の半値以上を示す範囲は長軸上で38mm、短軸方向で5mmという結果を得た。これらの圧力測定の結果は従来水槽型と同等のものであり結石破碎に十分なものであった。さらに、数値シミュレーションでは、結石近傍でこれまで考えられていた以上の圧力が発生することが示され、副損傷の可能性の観点からも興味深い結果であった。これらにより、基礎的な圧力特性が明らかになった。

次に、この装置を用いて各種胆石について実際に破碎を試み、その被破碎特性を検討した。方法は水中の衝撃波集束部位に置いた疑似胆嚢中の胆石にくり返し衝撃波を照射するというものである。結石は日本消化器病学会の肉眼分類に準じており、大きさは10～23mm径のものを対象とした。破碎に要した衝撃波照射数などを検討するとともに、破碎された結石片はひとつひとつその大きさを測定し、ヒストグラムを作成し被破碎性を検討している。その結果、X線透過性混合石が衝撃波照射数も少なく、かつ細かく破碎され、もっとも効果的に破碎される結石であった。次いで純コレステロール石が破碎されやすいものであった。これに対し、X線不透過性混合石では、内部は極めて細かく破碎されるものの石灰化した表面が大きく残存する傾向が示され、これがこの結石に対する治療成績が不良である原因と実証された。色素石ではさらに破碎されにくい結果であった。以上の結果から、X線透過性混合石と純コレステロール石が体外衝撃波による結石破碎療法の良い適応となることが示された。

本装置による非観血的胆石破碎療法の臨床応用がこれらの結果により可能であることが示されたが、結石種類により被破碎性が大きく異なることや、結石近傍では圧力が従来示されていたよりも大きいことが示され、確実な焦点合わせや、極力照射数を少なくするべきであることが併せて明らかになった。

本論文は極めて独創的なものであり、内容からも学位に値するものと考えられる。