

## 衝撃波および衝撃波関連現象の生体への影響、ならびに医療応用



研究者所属・職名：  
病院 臨床研究推進センター・特任教授

ふりがな なかがわ あつひろ

氏名： 中川 敦寛

主な採択課題：

- [若手研究\(A\)「重度頭部外傷における衝撃波・キャビテーションの関与：治療法と防止機構の開発」\(2007-2008\)](#)
- [基盤研究\(B\)「組織切開・形態学的温存下に切開面周囲に薬液浸潤可能な衝撃波メスの開発」\(2015-2017\)](#)
- [基盤研究\(A\)「浸潤病変の局所制御と術後機能温存を両立する微弱衝撃波パルスジェットメスの開発」\(2018-2020\)](#)

分野：衝撃波工学、医工連携

キーワード：医療機器開発、ウォータージェット、多業種連携、爆風脳損傷

### 課題

#### ●なぜこの研究をおこなったのか？（研究の背景・目的）

東北大学流体科学研究所では高山和喜教授の下、1970年代から衝撃波の医療応用に関する研究が行われ、尿路結石破碎をはじめとした医療応用につながった。同時に可視化、圧測定、理論解析と動物実験などの蓄積により、衝撃波と水中溶存気泡の干涉による高速ジェットの発生（shock bubble interaction (図1)）など生体への作用機序も明らかになった。私たちはこれら衝撃波特有の生体作用に注目し、臨床的アンメットニーズを考慮し、脳血栓破碎、ウォータージェットの特性（組織選択性）を生かした医療機器開発、ならびに衝撃波が脳神経組織に及ぼす影響についても検討を行った。

#### ●研究するにあたっての苦労や工夫（研究の手法）

ヒト生体内で使用可能な微量の高速ジェット発生法を開発し、ウォータージェットの持つ組織選択性（強さを調整すると相対的に硬いものは温存され、柔らかいものは破碎される）が生かせる臨床領域の診療科医師、材料工学、人間工学など、臨床応用、事業化に向けて必要な専門領域の研究者と開発コンソーシアムを構築した。衝撃波による脳損傷研究は米国イラク・アフガニスタン紛争に従事した臨床家からの要請を受け、臨床的意義のある実験系の構築に発展させた。

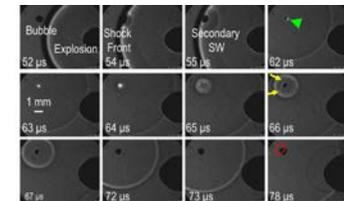


図1 shock bubble interaction

## 衝撃波および衝撃波関連現象の生体への影響、ならびに医療応用

### 研究成果

● どんな成果がでたか？どんな発見があったか？

当初は微小爆薬と気泡の干渉で発生させていた微量の Pulsed Water Jet を Holmium YAG レーザーの水中細管内照射、ピエゾ素子を用いた方法など臨床応用可能な技術として確立した。脳血栓破砕は、非臨床試験段階で事業化に向けた開発研究は断念したが、手術用治療器開発研究は産学・多業種連携体制で発展した。模擬モデルを用いた工学実験（可視化・圧測定）により、組織選択性をもたらす Pulsed Water Jet 発生技術を確認した後、非臨床試験（脳、脊髄、肝臓、腎臓、心臓）で細血管温存下に組織を切開する非臨床概念実証を確立した。その後、ヒト脳・脊髄においては細血管温存下に組織を切開可能であることに関する概念実証を確立した。開発研究の結果、物性値（組織選択性は物性値（破断強度が主要因子）であることを明らかにし、生体、一部病理検体でライブラリーを構築し、医療機器開発に新たな視点を導入した）、エルゴノミクス（術者の疲労軽減につながる様々な知見を得た）など他領域との融合学問領域の派生につながった。基礎的研究から臨床応用とは逆に、高速微量ウォータージェットに衝撃波など物理的負荷を印可することにより組織内浸潤効率が向上する可能性が示唆されたことから、臨床アンメットニーズを解決する技術として再び工学的研究としての新たな取り組みへとつながった。衝撃波による生体損傷研究は、爆風脳損傷が米国で社会的課題となったことから、衝撃波工学的に検証可能な爆風脳損傷モデル開発につながった（図2）。衝撃波による脳損傷閾値は他臓器より低く、低過剰圧照射後にはアポトーシスが生じることを報告した。また、音響インピーダンスミスマッチを生じさせることで衝撃波過剰圧を90%以上減衰させ、損傷防止に有効であることを報告し、米国の臨床・工学エキスパートと共同で、衝撃波工学を考慮した爆風損傷の適切な実験系に関する提言を発表した。

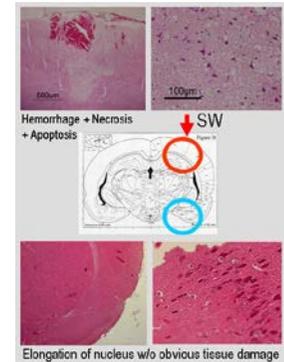


図2 衝撃波脳損傷モデル（ラット）

### 今後の展望

● 今後の展望・期待される効果

一連の研究で得られた成果から臨床的ニーズが高く、リスクの低い歯科領域での事業化を目指し、橋渡し研究とし展開しており（図3）、歯科領域における非臨床概念実証を実施する。爆風や衝撃波はマイクロ秒単位で生体に作用することで細胞レベルにおいても独特に影響を及ぼしている。その一方で、可視化が難しいため、機序解明が十分ではない。今後は工学的アプローチを組み合わせ、細胞への作用について検討し、生体損傷機序の解明や、新たな生体制御応用の端緒としたい。

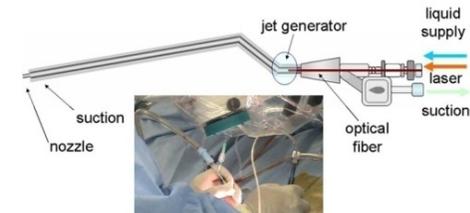


図3 パルスジェットメス（歯科領域における展開の一例）