

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 14 日現在

期間番号：11301

研究種目：若手研究（A）

研究機関：2010～2011

課題番号：22689039

研究課題名（和文） 高過剰圧波による高次脳機能損傷：ブレインマシーンインターフェースによる機能回復

研究課題名（英文） Blast-induced traumatic brain injury: Mechanism of injury and recovery by brain-machine interface

研究代表者

中川 敦寛 (NAKAGAWA ATSUHIRO)

東北大学・病院・助教

研究者番号：10447162

研究成果の概要（和文）：

生体を模擬した多層媒体モデル（ゼラチン（脳）、水（髄液）、アクリル（頭蓋骨）、空気）内の伝播動態を数値解析、圧測定、可視化に加えて動物実験を行った。電気生理学的変化の検討は特殊なシールドを製作し、内部で衝撃波照射後の脳波測定を行い、とくに対側損傷に関して知見が得られた。高エネルギー外傷による重症頭部外傷の病態解明のみならず、自然・産業災害も含めた高過剰圧波に対する防止機構の開発に重要な知見となるものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：

The primary blast-induced traumatic brain injury (bTBI) phase represents the response of brain tissue to the initial blast wave. Among the four phases of bTBI, there is a remarkable paucity of information about the cause of primary bTBI. There is increasing demand to understand mechanism and pathophysiology of bTBI. Understanding the mechanism of blast propagation into skull, and the development of animal model that is validated in terms of shock wave physics and can be conducted on the bench top is a key issue to understand the mechanism, pathophysiology, and to develop proper treatment and protection for this “new” form of TBI.

We have evaluated the mechanism of propagation of blast wave and shock wave in terms of visualization, pressure measurement, and numerical simulation. The experiments in brain phantom revealed that propagated wave through the skull has temporal increase of pressure on the side of wave entry and on the opposite side to the entry. The latter may explain the mechanism of contra coup injury, which is often observed in severe traumatic brain injury. The distribution of wave distribution correlated with the histological damage in animal model experiments.

The results of present investigation not only has impact on understanding the mechanism of blast wave-induced traumatic brain injury, but also helps to develop brain protection methods in traumatic brain injury by high energy traffic accident, and traumatic injury by high pressure waves during natural / industrial disasters.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| 2010年度 | 6,700,000 | 2,010,000 | 8,710,000 |
| 2011年度 | 5,700,000 | 1,710,000 | 7,410,000 |
| | | | |

| | | | |
|----|------------|-----------|------------|
| | | | |
| 総計 | 12,400,000 | 3,720,000 | 16,120,000 |

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：外科系臨床医学

キーワード：

(1) 衝撃波工学 (2) レーザー工学 (3) 高エネルギー外傷 (4) 対側損傷 (5) 部外傷モデル (6) blast injury (7) アジ化銀 (8) 高速度撮影

1. 研究開始当初の背景

Blast wave (衝撃波) を含む高過剰圧波による脳損傷は、イラク・アフガニスタンからの帰還兵を中心に米国を中心に大きな社会問題となっている。臨床的には高率に高次脳機能障害、神経心理学的障害が出現する。電気生理学的異常も認められる。また、爆発に伴う blast wave のみならず、交通外傷を含む高エネルギー外傷、自然災害・産業災害で生じる爆発などに際しても高過剰圧波が脳機能障害に関与している可能性も示されている。極めて短時間に起こる現象で、可視化には特殊な設備と技術を要することから、これまで、頭蓋内への伝播や脳神経への影響、小動物での詳細な神経行動学的評価、組織・細胞レベルでの検討は困難とされてきた。

交通外傷を含め脳損傷後の機能回復は原則としてリハビリ療法が中心で、回復程度には自ずから限界がある。脳損傷後の機能回復に対しても新たな外科的選択肢が加わることが期待される。応募者は、実験室内で簡便に行え、再現性の高いラット脳損傷モデルを確立し、誌上報告した。このモデルは工学的(可視化、圧測定、理論解析) validation が可能で、組織、細胞損傷評価にも適している。

本モデルを用いて、頭蓋内への高過剰圧波の伝播動態を明らかにし、神経行動学、電機生理学、細胞生物学のプロファイルを明らかにし、近年の BMI の進歩に伴い従来不可能と考えられてきた外科的アプローチによる精神心理学的改善効果に道が開けてきた点から本テーマを発想した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、第一に blast wave (衝撃波) 脳損傷モデルにおいて波の頭蓋内伝播動態を明らかにすること、第二に、高次脳機能に関するプロファイルを行動科学的、電気生理学的、細胞生物学的に明らかにし、非外傷性の精神心理学的異常や記憶障害に対して臨床応用、もしくは動物実験が行われている brain machine interface: BMI を介した外科的アプローチが外傷後の高次脳機能障害、精神心理学的障害に及ぼす影響に関する基礎的検討を開始することである。

3. 研究の方法

(1). Blast wave (衝撃波) の頭蓋内伝播動態に関する検討

・ 可視化・圧測定実験

多層生体模擬物質中衝撃波伝播実験装置(図1)を用いて、可視化と圧測定による検討を行った。両側に可視化用のアクリル窓のついたステンレス製水槽(200mm×200mm×200mm)内を精製水で満たし、多層の生体模擬物質を設置した。生体模擬物質は、ゼラチン、水、アクリルを用いて空気-アクリル-水-ゼラチンで各層1mm間隔の多層状態とし、比較のため空気-ゼラチンだけの条件でも実験を行った。衝撃波発生には、微小爆薬アジ化銀ペレット(AgN₃)10mgを細粒化し、電子マイクロ天秤で計量したものを使用した。

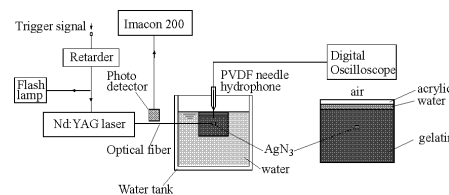


図1 可視化/圧測定に関する実験系

光ファイバ(コア径0.4mm)先端に接着した状態でゼラチン中に設置、光ファイバを介しパルスNd:YAGレーザー光を照射、起爆して衝撃波を発生させた。多層生体模擬物質中を伝播する衝撃波現象を、フラッシュランプを光源とした影写真法で可視化し、高速度カメラ(IMACON 200, DRS Technologies, Inc., 解像度1200pixel×980pixel)で記録した。また、PVDFニードルハイドロフォン(Platte Needle Probe, Muller Instruments、測定圧力レンジ10~200MPa、受圧面直径0.5mm、立ち上がり時間50ns)を用いて、多層生体模擬物質中における圧力変動を測定した。

・ 理論解析

解析モデルは二次元軸対称系とし、多成分系の解析に有効なMultiple Material Euler Solverを適用して行った。11mm×10mmの解析範囲をゼラチン(20wt%)、水、アクリル、空気から成る多層媒体をメッシュサイズ0.05mm/cellでモデル化し、原点で微小爆薬アジ化銀ペレット(AgN₃、密度3.8g/cm³)を起爆し発生する衝撃波を伝播させた。モデルは、ゼラチン(脳)、水(髄液)、アクリル(頭蓋骨)、空気の多層媒体モデルを使用した。

圧力測定ポイントを各モデルにおいて4点 (gauge1(7.0, 0)、gauge2(7.5, 0)、gauge3(8.5, 0)、gauge4(9.5, 0)) 設定した。ゼラチン、水、アクリルはMie-Gruneisen型の線形 Shock Hugoniot 状態方程式、空気は理想気体状態方程式を用いた。微小爆薬アジ化銀はJWL状態方程式を用いて質量50、100、200 μg で計算を行った。

(2). Blast wave (衝撃波) 脳損傷ラットモデルに不足するプロファイルの追加検討：

衝撃波 (blast wave) 照射後の、血液脳関門透過性亢進の評価をエバンスブルーを用いて経時的に行う。次いで、照射後の脳水分含有量の変化を乾燥重量法を用いて経時的に評価する。高次脳機能異常の有無を行動科学的、神経心理学的手法で明らかにする。てんかん研究に準じ、脳波、硬膜下電極を用いて電気生理学的異常の有無を明らかにする。

(3). 脳損傷後の高次脳機能障害に対するBMIを用いた改善効果の検討：

脳損傷モデルに深部電極を留置、刺激による高次脳機能障害、神経心理学障害の改善効果の有無を行動科学的、電気生理学的、細胞生物学的に明らかにする。

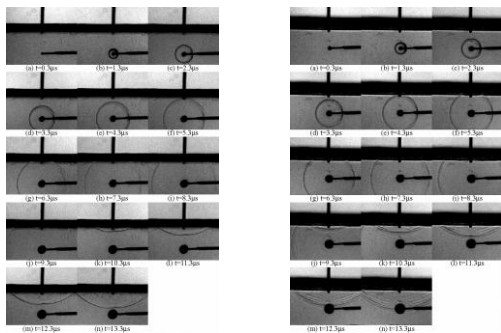


図 2A. 可視化 (ゼラチン-空気モデル) B. 可視化 (ゼラチン-水-アクリル-空気モデル)

4. 研究成果

(1). Blast wave (衝撃波) の頭蓋内伝播動態に関する検討

・ 可視化・圧測定実験

多層生体模擬物質中衝撃波伝播挙動の高速度連続撮影写真 (ゼラチン-空気 (図 2A)、ゼラチン-水-アクリル-空気 (図 2B)) では、300ns から 1 μs 間隔の空気界面近傍の生体模擬物質中の衝撃波伝播挙動を検討したところ、前者では、空気界面近くのゼラチン中を伝播する衝撃波は、微小爆薬起爆によって発生した球状衝撃波がゼラチン中を伝播し、空気界面で反射し、膨張波として下方へ伝播、空気界面では圧力が負圧となって気泡が発生していることが観察された。

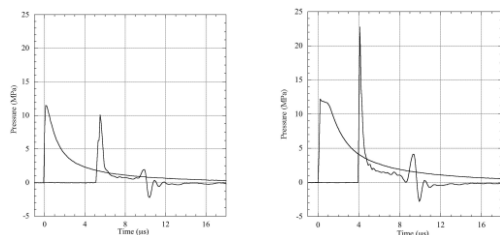


図 3 A. 圧履歴 (ゼラチン-空気モデル) B. 圧履歴 (ゼラチン-水-アクリル-空気モデル)

後者では、空気界面近くのゼラチン-水-アクリル中を伝播する衝撃波は、ゼラチン中で発生した球状衝撃波が、各層界面で反射、透過を繰り返し起こし、ゼラチン中に戻ってきた波は複数の波を伴う反射波になっていることが観察された。空気界面近傍におけるゼラチン中の圧力の時間履歴 (図 3A, 3B) では、圧力の立ち上がり時間は異なるが、小爆薬起爆による衝撃波が到達し、激な圧力上昇の後、膨張波が到達し負圧になるのが認められた。小爆薬の薬量の差が大きい点もあるが、圧センサによって反射波が阻害されているため、圧力センサではゼラチン-水-アクリル-空気中を伝播、反射して発生した複数の波による圧力変動を捉えることはできなかった。

・ 理論解析

図 4 に生体を模擬した多層媒体中を伝播する衝撃波の数値解析結果を示す多層媒体中で微小爆薬アジ化銀 (100 μg) が起爆した際に発生する衝撃波の時間変化の圧力カウンター図を示す。

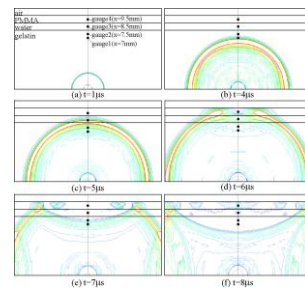


図 4 多層媒体中の衝撃波の伝播 (圧力カウンター図)

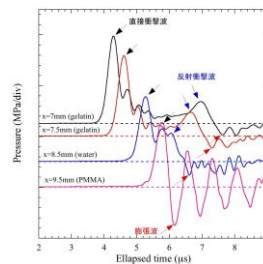


図 5 媒体における圧力の時間履歴

衝撃波はゼラチン中を伝播し、減衰しながら水界面に到着、ゼラチン-水間では音響インピーダンスは差が少ないため、界面で反射はなく透過する。その後、アクリルへ到達し圧縮波として一部反射、透過して、透過した衝撃波は空気界面に到達し膨張波として反射、アクリル-水間で膨張波が一部透過、一部は圧縮波として反射して、透過した膨張波

が水、ゼラチン中を伝播して、負圧領域を拡大していく。水-アクリル間で反射した波は、逆転して圧縮波となる。この波はアクリル内で減衰しながらアクリル-空気、アクリル-水の各界面で膨張、圧縮と反転を繰り返す。水、ゼラチン内の負圧領域は、気泡が発生するのに十分な負圧になっている (図 5)。

(2). Blast wave (衝撃波) 脳損傷ラットモデルに不足するプロファイルの追加検討：

高次脳機能異常の有無を行動科学的、神経心理学的手法で明らかにする。てんかん研究に準じ、脳波、硬膜下電極を用いて電気生理学的異常の有無を明らかにする。

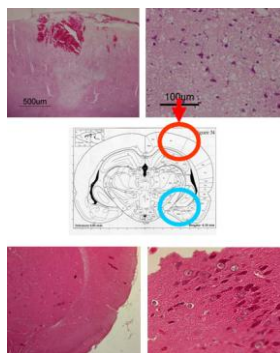


図 6 衝撃波照射による対側損傷



図 7. 脳波測定系

ラットを用いた衝撃波損傷モデルでは、照射側と反対側に損傷が認められ (核の紡錘状変形)、contra coup injury に相当するものと思われた。また、前述の理論解析、模擬モデルを用いた可視化、圧測定実験に相当する位置に損傷が認められた (図 6)。脳波測定実験では (図 7)、脳波自体の測定は可能であったが、特異的な異常所見を明らかにするまでには至らず、シールドを含めた改良などを継続して行っている。

血液脳関門の透過性を検討すべく、ラットに衝撃波照射後、1 時間後から経時的にエバンスブルーを静脈投与し、その後犠牲死させ、脳標本を摘出した検討では、脳全体にエバンスブルーの漏出が認められ、blast wave (衝撃波) 照射による脳損傷の特徴的な所見であると考えられた。また、それに伴い、骨窓を介して衝撃波を照射したモデル (図 8A)、骨窓なしでの照射モデル (図 8B) いずれにおい

ても、水分含有量の増加が認められた。

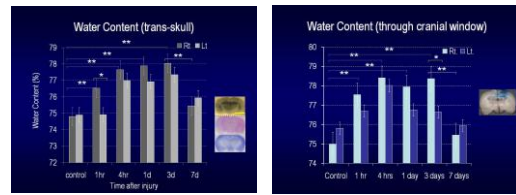


図 8 衝撃波照射後の水分含有量 A. 経骨窓照射 B. 経頭蓋照射

(3). 脳損傷後の高次脳機能障害に対する BMI を用いた改善効果の検討：

脳損傷モデルに銀製の深部電極を留置した際の組織学的な検討を行ったが、7 日目までは特に有害な事象は認められなかった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 30 件) (うち 19 件表示)

1. Nakagawa A, Kumabe T, Ogawa Y, Hirano T, Nakano T, Watanabe M, Yamamoto H, Ohtani K, Satomi S, Takayama K, Tominaga T. Pulsed laser-induced liquid jet: evolution from shock / bubble interaction to neurosurgical application. **Shock Waves** (2012, in press) 査読有
2. Nakagawa A, Furuya K, Washio T, Mugikura S, Kudo D, Arafune T, Mata Mbemba D, Miyamura N, Tateno M, Sato T, Karibe H, Kushimoto S, Tominaga T. Hypotension and hypoxia within 72 hours in traumatic brain injury patients: Retrospective analysis of prevalence and impact on hospital discharge death at Japanese tertiary referral hospital. **Acta Neurochir (Suppl)** (2012, in press) 査読有
3. Nakagawa A, Furukawa H, Kudo D, Abe Y, Sato D, Washio T, Arafune T, Arai M, Yamanouchi S, Kushimoto S, Tominaga T: Chronological analysis in Tohoku University Hospital during the first 72 hours after the Great East Japan Earthquake. **IEEE PULSE** (2012, in press) 査読有
4. Saigal R, Nakagawa A, Manley GT. Role of decompressive surgery (hemicraniectomy or temporal lobectomy) in trauma. Evidence. Alex Valadka 著 Evidence for Neurosurgery TFM Publishing Ltd., Upper House, Shropshire, United Kingdom (2012, in press) 査読有
5. 石川大樹、孫明宇、中川敦寛、富永悌二. 管壁の弾性変形を考慮したレーザー誘起液体ジェットの数値解析モデルの開発及び液体ジェットの特性評価. **日本機械学会誌** (2012, in press) 査読有
6. レーザー医学この人. 中川敦寛 **日本レーザー医学会誌** (2012, in press) 査読無

7. ムハマドヒルミビンシャピエン、孫明宇、中川敦寛、富永悌二. 相変化を考慮したレーザー誘起液体ジェットに対するノズル形状の影響. 平成 23 年度衝撃波シンポジウム (2012, in press) 査読有
8. 中川敦寛、富永悌二. 衝撃波による血管病変治療法: 現状と今後の展開. 分子脳血管病 11(1): 35-39, 2012 査読有
9. 中川敦寛、刈部博、古谷桂子、鷺尾利克、荒船龍彦、久志本成樹、富永悌二. 頭部外傷における二次侵襲: 転帰に関する検討と quality assurance. **Neuroemergency** 17: 67-71, 2012 査読有
10. Ogawa Y, Nakagawa A, Takayama K, Tominaga T. Pulsed laser-induced liquid jet for tumor removal with vascular preservation through the transsphenoidal approach. **Acta Neurochirur (Wien)** 153: 823-830, 2011 査読有
11. Seto T, Yamamoto H, Takayama K, Nakagawa A, Tominaga T. Characteristics of an actuator-driven pulsed water jet generator to dissecting soft tissue. **Rev Sci Instrum** 82:055105, 2011 査読有
12. Nakagawa A, Manley GT, Gean AD, Armonda R, Ohtani K, Yamamoto H, Takayama K, Tominaga T. Mechanisms of primary blast-induced traumatic brain injury: Insights from shock wave research. **J Neurotrauma** 28: 1101-1119, 2011 査読有
13. 中川敦寛、富永悌二. blast-induced traumatic brain injury - 脳損傷の新しい形態と外傷性脳損傷のトランスレーショナルリサーチ. **脳神経外科ジャーナル** 20: 896-902, 2011 査読有
14. 日本生体医工学学会各賞受賞「荻野賞」細血管温存下に組織破碎・切開可能な内視鏡デバイス: レーザージェットメスの開発. 中川敦寛、中野徹、山本裕朗、松永忠雄、孫明宇、新家光雄. **生体医工学** 48:626-627, 2011 査読有
15. 中川敦寛、中野徹、山本裕朗、松永忠雄、孫明宇、新家光雄. 平成 22 年度日本生体医工学学会荻野賞受賞報告 細血管温存下に組織切開・切開可能な内視鏡デバイス: レーザージェットメスの開発. **東北医学会雑誌** 123: 81-83, 2011 査読有
16. 大谷清伸、中川敦寛、早瀬敏幸、荒船龍彦、鷺尾利克、合田圭介. 生体模擬物質中を伝播する衝撃波現象. 平成 23 年度衝撃波シンポジウム講演論文集 (2012. 3. 7-9) 東大(柏) 千葉 125-126, 2011 査読有
17. Nakagawa A, Ohtani K, Goda K, Arafune T, Wahio T, Hayase T, Tominaga T. Preliminary experiments for investigation on mechanism of contra-coup injury blast-induced traumatic brain injury.

Proceedings of the 11th International Symposium on AFI / TFI 96-97, 2011 査読有

18. 中川敦寛、Geoffrey Manley、富永悌二. 神経外傷におけるモニタリングと集中治療: Update. **No Shinkei Geka** 38(12): 1081-1095, 2010 査読有

19. 中川敦寛、荒船龍彦、大谷清伸、山本裕朗、松永忠雄、鷺尾利克、塚本哲、中野徹、仲井正昭、合田圭介、小川欣一、孫明宇、隈部俊宏、芳賀洋一、Bahram Jalali、牛田多加志、高山和喜、西野精治、新家光雄、佐久間一郎、富永悌二. blast-induced traumatic brain injury (bTBI): multidisciplinary teamによる病態解明から機器開発まで. **神経外傷** 33: 60-67, 2010 査読有

[学会発表] (計 34 件) (うち 20 件表示)

1. 中川敦寛. 重症頭部外傷の管理. 第 35 回日本脳神経外傷学会 脳神経外科教育セミナー 2012. 3. 10 東京

2. 中川敦寛、古谷桂子、鷺尾利克、宮村奈美子、麦倉俊二、Daddy Matas、工藤大介、荒船龍彦、久志本成樹、富永悌二. 外傷性脳損傷受傷早期の二次侵襲・栄養管理. 第 35 回日本脳神経外傷学会 2012. 3. 9 東京

3. Nakagawa A, Furuya K, Washio T, Mugikura S, Kudo D, Tatsuhiko A, Mata Mbemba Daddy, Miyamura N, Tateno M, Sato T, Karibe H, Kushimoto S, Tominaga T. Hypotension and hypoxia within 72 hours in traumatic brain injury patients: Retrospective analysis of prevalence and impact on hospital discharge death at Japanese tertiary referral hospital. XV International Conference on Brain Edema and Cellular Injury, 2011. 11. 24 Tokyo

4. 中川敦寛、荒船龍彦、鷺尾利克、中野徹、古谷桂子、齊藤茜、舘野美沙子、久志本成樹、富永悌二. 爆風による脳損傷研究: 機序解明と機器開発へのトランスレーショナルリサーチ. 第 39 回日本救急医学会学術総会 東京 2011. 10. 18-20 (20)

5. 中川敦寛、齊藤竜太、富永悌二. 脳神経外科領域における機器開発研究の現状と課題. 東北大学金属材料研究所共同研究ワークショップ 日本バイオマテリアル学会東北地域講演会 次世代金属系バイオマテリアル開発の新たな展開. 東北大学金属材料研究所講堂 2011. 9. 29

6. 中川敦寛、工藤大介、阿部喜子、遠藤智之、古川宗、山内聡、久志本成樹、富永悌二. 東北大学病院 / 高度救命救急センター72 時間の記録 - 次の「想定外」を想定する - ポストン日本人研究者会特別講演 Harvard 大学公衆衛生学大学院 2011. 9. 2

国内招待

7. Nakagawa A, Furukawa H, Abe Y, Kudo D, Yamanouchi S, Kushimoto S, Tominaga T. Clues to deal with “unexpected” disaster and huge mismatching during the first 72 hours: Lessons from the chronologies. IEEE EMBC, Boston, USA 2011.9.1

8. Nakagawa A, Furukawa H, Abe Y, Kudo D, Endo T, Yamanouchi S, Kushimoto S, Tominaga T. Clues to deal with “unexpected” disaster and huge mismatching during the first 72 hours: Lessons from the chronologies. 在ボストン日本領事館 東北大学中川医師、Massachusetts 医師会、在ボストン災害識者を交えての総領事主催懇談会 在ボストン日本総領事公邸 (USA)2011.9.1

9. Nakagawa A, Teiji Tominaga, AND Research Platform BASIC. Mechanisms of blast-induced traumatic brain injury (bTBI): Insight from shock wave research. Translational research at Tohoku University. Brain Trauma Foundation, New York World Trade Center / Cornell University, New York, USA 2011.8.30

10. 中川敦寛、富永悌二. 衝撃波のトランスレーショナルリサーチ - 臓器損傷研究から機器開発まで - 平成 22 年度「衝撃波学際応用研究寄付講座部門」成果発表講演会 東北大学流体科学研究所 仙台 2011.6.15

11. Nakagawa A, Teiji Tominaga, AND Research Platform BASIC. Mechanisms of blast-induced traumatic brain injury (bTBI): Insight from shock wave research. Translational research at Tohoku University. Grand Round Lecture, Miami Project to Cure Paralysis, University of Miami, Miami, FL, USA 2011.6.9

12. 中川敦寛、工藤大介、阿部喜子、遠藤智之、古川宗、山内聡、久志本成樹、富永悌二. M 9.0 東北大学病院高度救命救急センター72時間の記録 - 次の「想定外」を想定するために何を学び、何を準備するか - 第 52 回 JBC フォーラム 緊急企画 LSJ / JTPA / JBC 合同フォーラム Li Ka Shing Center, Stanford University, Palo Alto, CA 2011.6.7

13. 中川敦寛、富永悌二. blast-induced traumatic brain injury (bTBI) と外傷性脳損傷のトランスレーショナルリサーチ. 第 31 回日本脳神経外科コンgres横浜 2011.5.6

14. 中川敦寛、工藤大介、阿部喜子、遠藤智之、古川宗、山内聡、久志本成樹、富永悌二. 東北・関東大震災報告 東北大学病院 震災後 72 時間以内の経過から: 「想定外」をいかに想定するか. 第 50 回日本生体医工学学会 2011.4.30 東京電機大学

15. 中川敦寛、刈部博、西野精治、古谷桂子、

松井憲子、星知恵美、阿保圭子、山口真一、井上昌子、久志本成樹、富永悌二. 外傷性脳損傷受傷後の睡眠障害. 第 34 回日本脳神経外傷学会 京都 2011年4月15日

16. 中川敦寛、刈部博、富永悌二. 外傷性脳損傷受傷早期の二次侵襲のモニタリングと quality assurance. 第 10 回宮城頭部外傷研究会 仙台 2011年2月24日

17. 中川敦寛、刈部博、古谷桂子、鷲尾利克、荒船龍彦、久志本成樹、富永悌二. 外傷性脳損傷受傷早期の二次侵襲と quality assurance. 第 16 回日本脳神経外科救急学会名古屋 2011年1月30日

18. 中川敦寛. 「衝撃波研究」の研究プラットフォーム: 生体損傷から機器開発まで. Nibe Doctors Salon 日米(寺崎)財団 Los Angeles, USA 2010年7月12日

19. Nakagawa A, Ohtani K, Yamamoto H, Takayama K, Tominaga T: Biological and mechanical profile of blast-induced traumatic brain injury model in rat. Scientific Session. Neurotrauma and Critical Care AANS 2010 2010.5.3 Philadelphia, PA (oral) USA

20. Nakagawa A, Kumabe T, Ogawa Y, Takayama K, Tominaga T. Application of pulsed water jet dissectors for tumors involving perforator level vessels. AANS 2010 2010.5.1-5 Philadelphia, PA, USA

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

○取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

分野横断型医工学連携プラットフォーム BASIC <http://basic.umin.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中川 敦寛 (NAKAGAWA ATSUHIRO)

東北大学・病院・助教

研究者番号: 10447162

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし