研 究

災害時人命救助ロボットに搭載するクラッシュ症候群発症阻止機構の基礎研究 — CSP 機構を使用した下肢血管阻血とその計測の研究 —

佐橋 拓^{1†,2}, 佐橋 昭², 内山 尚志³, 塩野谷 明⁴, 福本 一朗⁵

¹ 長岡技術科学大学大学院博士後期課程生物統合工学専攻, ² 株式会社プロジェクトアイ,

³ 長岡技術科学大学生物機能工学専攻, ⁴ 長岡技術科学大学情報・経営システム工学専攻,

⁵ 長岡技術科学大学

要旨: 阪神・淡路大震災の時, クラッシュ症候群 (以下 CS) の発症が大きな問題となったが, 現在においても現実的な対抗策は存在しない. 我々はこれまで人命救助ロボットの発案・研究を行ってきたが, 本研究ではそのロボットに搭載するクラッシュ症候群発症阻止機構 (以下 CSP 機構) についての実験を行った. 被災者を医師の許まで運ぶ間, CS の発症を抑える事を目的として, 鼠蹊部を圧迫材にて圧迫し, 大腿静脈を阻血することで血液の再灌流阻止を想定した実験を試みた. また大腿動/静脈が隣接していることから, 後脛骨動脈の流速を血流計で計測することにより静脈の阻血の指標とした. 実験の結果, 本 CSP 機構は太腿の駆血や, 掌による鼠蹊部圧迫法よりも高い阻血率を示した. また, 年齢・体脂肪率などにより阻血に必要な圧迫圧力に個人差が生じることも判明した.

キーワード: 人命救助ロボット, クラッシュ症候群発症阻止機構, 鼠蹊部圧迫駆血法, 阻血率

1. はじめに

1995 年 1 月 17 日兵庫県南部地震より 20 年が経過した. この地震を契機に, 国による法整備や自治体による具体的対応策, 企業による様々な災害対策製品の拡充など, これまで以上に柔軟に災害対応可能な状況となっているが, 一方で全く対応できておらず 20 年前と変わらないものもある. そのひとつとして, クラッシュ症候群 (Crush Syndrome, 以下 CS) への対応が挙げられる. CS の機序については多くの文献で触れられている^{1,2)}ので割愛するが, 現在災害時 CS への唯一の対応策が, 医療・救助関係者で構成された災害派遣医療チーム (Disaster Medical Assistance Team, 以下 DMAT) が「瓦礫の下での医療」(Confined Space Medicine, 以下 CSM) として行う, 瓦礫の下に潜りこんでの投薬・輸液, 場合によっては透析での対応である³⁾. しかし, 余震が頻発する災害現場においては 2 次災害の危険が厳存する. 丸川⁴⁾は, 災害医療・救助技術向上の観点から CSM 訓練の必要性を認めているものの, 安全性や認証制度の不透明感から現場での実施については懐疑的であった. 実際, 日本 DMAT が発足して 9 年経つが, CSM の実施は 2005 年 4 月 25 日の JR 福知山線脱線事故の一例のみで, 自

然災害時における実施例は一件もない. これは DMAT の隊員たちの問題などではなく, CSM そのものが隊員の安全を担保不可能な手技であることが問題である. つまり“震災時の, 特に瓦礫下での CS”に対処する現実的な手段は, 現状存在していないに等しい.

CSM で行っている複雑な手技でなくとも, 静脈からの再灌流を止めることで, 挫滅部位から筋組織が血管へ侵入するのを阻害することが出来れば, CS の発症を阻止し, 少なくとも軽症化できるはずである. そこで, 救助者が瓦礫に入らずに要救助者の CS 発症を阻止し, 瓦礫外まで要救助者を保護・搬送し, 双方ともに安全な場所で十分な治療を受けてもらうための工学的手段として, 人命救助ロボットを考案した.

2. 人命救助ロボットの概要

現在実験や研究を行っている, 試作 2 号機に当たる「子機入渠型人命救助ロボット」の概要を説明し, ロボットの研究開発全体における本実験の位置づけを示す.

2.1 子機入渠型人命救助ロボット

「子機入渠型人命救助ロボット」^{5,6)}は, 異なる機能を有した二つのユニットで構成される. 瓦礫除去及び瓦礫内進入, 退路確保を目的とした「キャリア・ユニット」, 患部圧迫物除去, 被災者収容, 瓦礫からの退去を目的とした「ブルーダ・ユニット」⁷⁾である. これらユニットに期待されるそれぞれの目的に沿った機構を有し, 機能を特化させることでより確実な救助を目指した.

2015 年 4 月 7 日受付 2015 年 10 月 18 日受理
† 〒452-0807 愛知県名古屋市中区歌里町 154-403
株式会社プロジェクトアイ
佐橋 拓
Tel: 052-501-0994 Fax: 052-501-0994
E-mail: t.sahashi.project-i@nifty.com

子機入渠型人命救助ロボットの運用手順は以下のようになる (図1)。

- ①キャリア・ユニットが瓦礫をこじ開け、トンネルを設置しつつ被災者近辺まで瓦礫内を進入する。なお本ロボットの進入対象は阪神大震災で最も多くの被害を出した、倒壊した木造平屋建て日本家屋に制限している。また当ロボットの運用は現行法と照らし合わせてDMAT (医師を中心に救急救命士を含む3名以上) による運用を想定した⁸⁾。
- ②キャリア・ユニットのコンテナ内のブルーダ・ユニットを出車。患部圧迫物を除去と同時に被災者をCS発症阻止機構 (Crush Syndrome Preventer, 以下CSP機構) で収容、CSP処理を行う。
- ③被災者収容後、ブルーダ・ユニットはキャリア・ユニットのコンテナ及びトンネルを通り、瓦礫より脱出する。
- ④瓦礫外で待機している医療チームの透析や輸液の準備が整い次第カフを減圧することで任務を完了する。

CSP機構及びスクーパ (被災者拘い込み) 機構は、ブルーダ・ユニットに搭載予定の機構である。

2.2 CS発症阻止機構

CSP及びスクーパ機構は、アームで被災者を掴むような動作で拘い上げる方式を採用した。二段階膨張式CSP機構

図1 人命救助ロボット運用想定図

図2 二段階膨張式CSP機構

は目的別にカフを2つに分け、一次膨張カフはスクーパのアーム先端が可能な限り人体に接触しないための保護用カフとして膨張し、次に下肢のCSPとして二次膨張カフにて鼠蹊部を圧迫することで大腿静脈の阻血を行い、挫滅した骨格組織などから逸脱した臓器障害を惹起するタンパク質などが循環するのを阻害したまま被災者を運搬する (図2)。

これまでの研究において瓦礫こじ開け機構や各駆動体の実験を行ってきたが、以下で行う実験は、当ロボットが有する多くの機構の中からCSP機構に焦点を当て、CSP機構の実物大実験器を用意し、工学的な下肢阻血の可能性を検証したものである。

3. 下肢血管の阻血方法

3.1 駆血対象の選定

「集団災害医療マニュアル」⁹⁾ (吉岡敏治ら, へるす出版) は、阪神・淡路大震災時のCSに関する臨床データを掲載した貴重な資料を有している。それによると、病院に搬送されCS発症の受傷部位が確認できた患者372名中84.4%にあたる317名が下肢に受傷後のCSを発症していたため (図3), かつ全身の30%以上の骨格筋の障害で重症度が高くなることから、本研究におけるCSP機構の目標部位を下肢に集中することとした。ちなみに、本文中では局所性貧血を阻血と呼ぶが、能動的に阻血状態を作り出す場合を駆血と称している。

また、下肢の再灌流を阻害するために、下肢静脈の内、大腿静脈の鼠蹊部付近を駆血位置として仮定した。理由としては、下肢静脈には表在静脈というバイパスが多く、大腿動脈の根元を駆血しない限りは、足を駆血帯で巻いて強く締めて駆血する方法しかないためである。

以下は本来出血を止めるための止血法であるが、数ある止血法の中で、間接止血法に分類される鼠蹊部圧迫止血法に着

図3 受傷部位と予後 (括弧内は死亡数)

目した。仰臥位（あおむけ）の患者の鼠蹊部を、上から強く掌で圧迫することで、動脈を圧迫することで一時的に下肢の血流を止め、鼠蹊部より先の脚部の出血を止める方法である。

この方法であれば、非常に簡単な機構で駆血が可能であり、また動脈の駆血だけでなく、当ロボットの目的である大腿静脈の駆血が可能となる為、「5. 実物大 CSP 機構を用いた下肢阻血実験」において本手技が可能となる機構の製作を行った。また、この手技を止血ではなく阻血を目的として行うため「鼠蹊部圧迫駆血法」と仮称する。

3.2 計測上の問題点と解決方法

大腿静脈は比較的深部にあるため、大腿静脈そのものの阻血の確認にはカラードプラモードが使用可能なエコー（超音波検査装置）など、高価な測定器が必要となる。また将来的にはそれだけ大掛かりな医療機器を、ロボットに搭載し、遠隔で操作しなければならないという積載量増大とユーザビリティの悪化の問題が生じるため、より簡便な計測方法を模索するべきであると考えた。

これは圧迫部位を仮定した理由の一つでもあるが、大腿静脈と大腿動脈は鼠蹊部近辺において隣接しているため、鼠蹊部圧迫は静脈と動脈を同時に圧迫する手技である。かつ静脈は動脈に比して血管の壁が薄く軟質である¹⁰⁾という特徴から、鼠蹊部を圧迫しての大腿動脈の阻血が成されれば、それと同時に大腿静脈も阻血できていると仮定した。静脈と異なり、動脈は計測方法、計測可能部位共に選択肢が多く、簡便で安価な計測器も多く存在する。

4. 予備実験

CSP 機構を用いた実験を行う前に、CSP 機構の駆血部位として仮定した鼠蹊部が駆血部位として十分な阻血効果を得られる場所であるかどうか、鼠蹊部圧迫法による阻血可能性検証のための予備実験を行った。

4.1 実験方法

使用した計測器は、超音波ドプラ血流計 ES-1000S II、プ

図4 超音波ドプラ血流計 ES-1000SP II とそのプローブ T8M05S

ローブは T8M05S、超音波審査用ゼリーとしては水溶性ゼリー剤プロゼリーノーマルタイプ（JFPA 社製）を使用した。また駆血帯として著者が使用している牛革製のベルト（厚さ 4 mm、幅 35 mm）を使用した。測定に使用した血流計は図 4 に示す超音波ドプラ式単方向血流計 ES-1000SP II である。本血流計は PC へのデジタル出力は無く、感熱シリアルドット方式でのプリントアウトの出力のみであり、リアルタイムでの計測結果の確認が出来ない仕様となっている。

使用したプローブは T8M05S（プローブ周波数 8.2 MHz、焦点距離 10 mm、周波数帯域 $350 \pm 80 \sim 2500 \pm 500$ Hz）。このプローブの短い焦点距離では深部（表皮から数十 mm）にある大腿静脈の測定は不可能であるため、計測部位を後に示す後脛骨動脈を選択し、測定することとした。

さらに、血流計の性能確認の為にテストを行ったところ、同じ計測部位においても測定結果に顕著な誤差が生じた。

表 1 の左は、この後に示す CSP 機構実験 20 回分の駆血時平均流速のデータで平均値と標準偏差を計算したもののだが、平均値の 59% という高い標準偏差値が確認できる。

これらの原因としては、

- ①プローブの傾斜角が変わった（マニュアルによると血管の方向に対し 60° 指定）ことによる誤差。
- ②プローブの押し当てる強さにより、計測する血管を圧迫し、流速が変動した。
- ③測定部位近辺の後脛骨動脈以外の血管を計測してしまった。

などが考えられる。この駆血時の血流計の値をそのまま各データの比較に使用するには誤差が大きすぎるため、駆血しての実験では先に駆血したデータを取得した上で、プローブを押し当てた位置を変えずにベルトを緩めて駆血を解除した状態を再び計測することで①、②に示した測定誤差を軽減し、新たに阻血の程度を示す「阻血率」を定義し、その値で判断することとした。

駆血時の平均流速を MN_C 、解放時の平均流速を MN_F 、そして阻血の割合を示す阻血率（Circulation Blocking Rate, CBR）を

$$CBR[\%] = \frac{MN_F - MN_C}{MN_F} \times 100 \quad (1)$$

と定義し、数値が高いほど血液の流速が下がり確実な駆血が出来ているという指標とした。表 1 の右に示すように阻血率では平均流速に比較してばらつき（標準偏差）が平均値に比して小さくなっていることが解る。計測位置は左足の後脛骨動脈、具体的には内果の後ろ 30 mm 程の位置で、最も大き

表 1 血流計の実測値と阻血率の標準偏差の比較

	駆血時平均流速 [cm /s]	駆血率 [%]
平均値	1.38	56.6
標準偏差	0.82	16.4

な音圧の脈拍音が拾える位置を探して計測した (図 5)。

被験者は著者一名 (男性, 42 才) で行い, まずは後脛骨動脈に最も近い足首の駆血, 次に脛脛, 太ももへのベルトによる駆血を行い, 最後に掌での鼠蹊部圧迫を行って, その都度の流速を測定した。また, 仰臥位 (あおむけ) と長座位 (足を延ばして座る) の体位の差で血流計の値に大きな差が生じないことを確認した上で, 実験のしやすさから予備実験においては長座位での実験を行った。

4.2 実験結果

PC に測定結果を直接取り込めない機器であるため見えにくい, 血流計グラフ上部に丸で囲んだ「PK」は最高流速, 「MN」は平均流速であり, 共に最初の三心拍を平均したものであり, 「HR」は脈拍数を表している。また縦軸は流速 (cm/s), 横軸は時間でありドット間は 0.2 秒である。

測定位置に最も近い足首の駆血時 (正確には踝より 8cm 上を駆血) での阻血率は 79.0% であった (図 6)。またグラフ内の駆血時 HR の***は測定不可を示しており, 脈拍が正常に計測できていないことから, ほぼ完全に動脈も阻血できている状態であると言える。次に脛脛の最大径の位置で駆血した。阻血率は 70.6% であった。

太腿は, 膝上 15 cm の位置を駆血し, 測定を行った。阻血率は 32.0% であった。

最後に, 掌での鼠蹊部圧迫駆血法での測定を行った。この鼠蹊部圧迫実験のみ 5 回行った結果, 平均の阻血率は 52.0% であった。測定回数が鼠蹊部だけ異なるが, 各部位の測定結果を図 7 に示す。

4.3 結論

上記実験結果 (図 7) により, 鼠蹊部圧迫駆血法は, 大腿動脈の完全阻血には至らないが太腿駆血以上の阻血効果は期待できるため, 仮定した駆血位置としての鼠蹊部が有効である可能性を示した。これは, 鼠蹊部圧迫という他の部位の

図 5 脛脛駆血時の血流計測風景

駆血と比して簡易に機構化できる手法を採用した CSP 機構であっても, CS の発症を阻止もしくは大幅に遅延させられる可能性を示しており, 以降における CSP 機構実験の重要な予備実験となり得たと考える。

5. 実物大 CSP 機構を用いた下肢阻血実験

子機入渠型人命救助ロボットのブルーダ・ユニットに搭載予定の, CSP 機構のスクーパ (被災者収容) 機構を排除し, あくまで CS 発症阻止が工学的に可能かを実験するための簡易な CSP 機構試作模型を作製した。外殻は, 床板に合板と, 天板と壁面には視認性と硬度を併せ持ったポリカーボネイト板をアルミ製の角パイプで補強し, エアバッグの膨張圧力に耐えうる構造とした (図 8)。

鼠蹊部圧迫機構として, 0.2 mm 厚の塩化ビニールシートで 600 × 300 × 300 mm に膨らむエアバッグを作製し, そこに発泡ポリスチレン製の圧迫材を接着したものを使用した。

図 9 で確認できるハの字の圧迫材で鼠蹊部を圧迫する (圧迫時は下向きで使用する)。圧迫圧力の計測用に, 小型体重計を取り付けた。また圧迫材が倒れることで大腿動/静脈に対し垂直に圧迫できなくなる状態を防ぐために, 傾倒防止用

図 6 足首駆血時 (上), 解放時 (下) の血流計データ

図 7 駆血位置模式図 (上) と阻血率 (下)

スペーサーを下腹部に当たるよう設置した。圧迫材とスペーサーは位置の微調整が可能のようにマジックテープで接着してある。これらを図8に示したCSP 外殻の天板裏に接着し、圧迫を行った。

また、本実験において健常者を対象とした臨床実験を行うため、本学の「平成26年度第4回生命倫理委員会（平成27年1月19日開催）」においての審理により、承認を得た。被験者には本実験の目的と方法、想定される危険性を伝え、安全に十分配慮をした実験を行うことを口頭にて伝えた。

5.1 実験方法

CSP 機構実験装置の概略図を図10に示す。計測機器と計測方法は予備実験である「4.1 実験方法」に準拠する。鼠蹊部は着衣状態のまま圧迫材を押し当て、圧迫圧測定用体重計の値で25 kgを示した時点で充気を止めて計測した。被験者は4名（男性4名平均年齢40.8歳、表2）、一人につき5回計測を行った。実験結果の有意差検定はマイクロソフトのエクセルを使用し、t検定を用いた。また図11において一元配置分散分析で検定を行った。有意水準は5%とした。

5.2 実験結果

5回のトライアルの平均阻血率は、被験者Aで44.3%、被

図8 CSP 機構模型外殻の概観
サイズ：610W × 600D × 400H [mm]
床材：合板木板9 mm厚
壁及び天板：ポリカーボネイト板3 mm厚
補強材：アルミ角パイプ

図9 鼠蹊部圧迫材の概観（左）とその断面模式図（右）

験者Bで61.3%、被験者Cで52.7%、被験者Dで68.2%となった。t検定の結果、被験者A-D間でのみ5%で有意差が生じたが、それ以外の被験者間での有意差は見られなかった（図11）。

5.3 考察

CSP 機構による実験結果の阻血率の総平均56.6%を、先に行った掌による鼠蹊部圧迫実験結果と比較したものを、図12に示す。

被験者数と実験回数が違うため（鼠蹊部5回×1人、CSP 機構5回×4人）純粋な比較とは言えないが、足首や脛脛の結果には及ばないものの、掌による鼠蹊部圧迫駆血法よりも高い阻血率を示していることが解る。しかしt検定の結果両者間に有意差は無かった。

また、各被験者間でA-D間を除き有意差は無かったが、

図10 CSP 機構実験装置概略図

表2 被験者の体格等のデータ

	性別	年齢(才)	身長(cm)	体重(kg)
被験者A	男性	75	174	80
被験者B	男性	42	172	122
被験者C	男性	23	172	81
被験者D	男性	23	173	50

図11 CSP 機構実験結果
被験者A-D間を除く被験者間での有意差なし

平均の阻血率が各被験者間一定の差が生じた。この原因としては、加齢による動脈の硬化や体脂肪量が考えられる。

ただし、被験者 B と比して若年で軽量である被験者 C の阻血率が低かったりと、この年齢による動脈の硬さや体脂肪が被験者間の阻血率の違いが生じた要因であると断定できない。個体差、体調、血圧、着衣の厚さなどその他の要因も十分考慮すべきであるし、これらの要因を解明するには更なるデータの蓄積が必要になると考える。

また、今実験の鼠蹊部圧迫駆血による CS への対応は現状どの救急医療機関でも行われておらず、輸液や透析での対応を前提としている世界中の DMAT 及び医療機関のコンセンサスを得ていない。今後この手技の有効性を示し、新たな手法として提案していかなければならない。

さらに、実際人命救助ロボットに搭載し、運用する場合、一度瓦礫による圧迫開放を行い再圧迫するまでの作業行程中に、致命的な発症をする可能性も考えられる。その作業に許容される時間は、被災者の重症度、受傷位置、環境的要素、身体的パラメータにもよるが、平時の血液循環速度を考慮すると長くて 60 秒の猶予は無いと予想する。しかもその予想を担保する臨床データも存在しない。多彩な困難を呈する災害現場において全ての状況に対応することは不可能である。今後の更なる研究は不可欠だが、駆血の目標を下肢に絞った時と同様に、本ロボットで救助活動を行う状況にある程度制限する必要があるだろう。

5. 4 結論

今回の実験は、CSP 機構による鼠蹊部圧迫であっても、掌による鼠蹊部圧迫駆血法と同等か、それ以上の阻血効果が期待できる事を示唆した。

現在著者が使用している測定器では、当 CSP 機構で大腿静脈の完全阻血が出来ていることを確認することができない。そこで、図 13 に循環器画像技術研究会が血管の形状や血流量をリアルタイムで観察可能なカラードブラモードが使用できるエコー（超音波検査装置）での大腿動／静脈の圧迫時の画像を示す¹¹⁾。図 13 右では動脈がほとんど変形していない状況でも静脈がつぶれているのが見て取れ、それに伴い静脈血の流量も極端に減少している。この図から、CSP 機構で動脈の流速を半減できたという事は、ほぼ静脈

の阻血は成されていると想定でき、これによりかなりの発症遅延効果及び症状の軽減効果が期待できる。

また阻血対象者の個体差によって同じ圧迫圧力でも阻血効果に差が生じる可能性を示した。これには、苦痛を与えない範囲で全ての条件の人を阻血できる最大圧力を模索するか、圧迫中に血液の流速以外の計測を行い、そのデータを見ながら確実な阻血が可能な各人の最少圧力で圧迫する方法を模索しなければならない。

今回指標として血流計による血液の流速を阻血効果確認のパラメータとしたが、血管の位置特定や特定した位置や角度の保持など、比較的計測に慣れと訓練を要することが解った。これでは実験室においては問題ないものの、遠隔操作のロボットに搭載する計測器として安定した計測を望めないため適さないと判断する。容易かつ確実に流速を自動計測できる方法を探るか、別のパラメータを利用する計測装置を使用するか、その検討を行わなければならない。

6. まとめ

CSP 機構は、下肢動脈の流速を半減させることが出来る程度の阻血効果を示したことで、同機構が CS 発症可能性を持つ被災者の下肢静脈の途絶した血流の再開阻止に利用できる可能性を有すると考える。また、CS が最も重篤化しやすい人物は、横紋筋の総量が多い、若く屈強な男性であることから、若い男性はその分血管も柔軟であり、本 CSP 機構においても高い阻血効果が期待できるため、CS の対処法として遠隔操作での薬物投与などの方法を模索するのではなく、CSP 機構として鼠蹊部圧迫駆血法を用いたことは、理に適った CS 対処法であると考えられる。

本実験においての今後の展望を以下に示す。

- ①鼠蹊部圧迫に適した圧迫材の形状（厚さ、高さ、傾斜角など）、材質、圧迫位置、圧迫圧力を変更した実験を行い、より効果的な CSP 機構による鼠蹊部圧迫駆血を目指す。
- ②今回は静脈の阻血が目的であるにも拘らず、動脈の流速をその指標とした。今後も動脈の阻血率を利用するならば、静脈の完全阻血に必要な動脈の阻血率はいくつなのかを正確に把握する必要がある。

図 12 掌による鼠蹊部圧迫法と CSP 機構法の阻血率比較

図 13 大腿動／静脈圧迫時のエコー画像
循環器画像技術研究会ホームページより、同研究会より写真使用の許可を頂きました

- ③血流計以外のパラメータを用いた実験については、大腿動脈の拍動（心拍音）を圧迫中の圧迫材から取得する方法を検討したい。阻血実験中、血流計のスピーカからはプローブの押し当て位置と角度を示すために拍動が聞こえているが、駆血時と通常時では、確実に脈拍音のパターンが異なっていた。この脈拍音のパターンの違いを阻血効果の目安に利用する方法を模索し、実験を行えば、より確実に、しかも安価な CSP 機構となる可能性がある。
- ④今後の CSP 機構の研究開発の結果、例え同機構が完成したとしても、人命救助ロボットが瓦礫下の被災者の許まで辿り着くことが出来なければ、本機構は使用することが出来ない。ロボットの開発も同時に進めていかなければならない。
- ⑤本実験は非常に安価で簡便な計測機器で構成された実験装置を用いて行ったが、そうであったとしてもこれが工学の立場から初めて提案された CS への解決案であり、DMAT 設立以降、危険すぎてこれまで実施されていない災害時の CSM に対して示されたもう一つの救助方法の提案に他ならない。要救助者は言うに及ばず、災害時の困難極まる作業環境の中、生命を賭して救助作業を行う DMAT をはじめとする勇敢な救助者の生命も等しく保護するべきであるとの理念のもとに我々は研究を行っている。これは必ず要救助者の救命率の向上に資するものと考えらる。

参考文献

- 1) 杉本侃:クラッシュシンドローム, 日本整形外科学会雑誌, 71(7), 285-291, (1997).
- 2) 鴻野公伸:クラッシュ症候群(特集輸液・輸血療法の考え方) - (輸液・輸血療法各論), 救急医学, 37(13), 1725-1729, (2013).
- 3) 日本集団災害医学会(編):増補版 DMAT 標準テキスト, へるす出版, 東京, (2012).
- 4) 丸川征四郎:“経験から学ぶ大規模災害医療-対応・活動・処置”, 157-159, 永井書店, 大阪, (2007).
- 5) Sahashi, T., Sahashi, A., Uchiyama, H. and Fukumoto, I.: Study and development of the rescue robot preventing Cruch Syndrome of earthquake, Final Program and Book of Abstract of ICINCO 2011 and SIMULTECH 2011, 55, (2011).
- 6) Sahashi, T., Sahashi, A., Uchiyama, H. and Fukumoto, I.: Study and development of the rescue robot to accommodate victims under earthquake disasters, Lecture Notes in Electrical Engineering 174, Informatics in Control, Automation and Robotics, 89-100, Springer, Berlin, (2012).
- 7) 佐橋拓, 佐橋昭, 内山尚志, 福本一朗:震災時人命救助ロボットの研究 -螺旋駆動体の走破性能評価-, ライフサポート, 26(4), 142-149, (2015).
- 8) 佐橋拓, 内山尚志, 佐橋昭, 福本一朗:災害用人命救助ロボットの研究開発と運用上の責任, 日本ロボット学会学術講演会予稿集(DVD), 3G1-7, (2010).
- 9) 吉岡敏治, 田中裕, 松岡哲也, 中村顕:集団災害医療マニュアル, へるす出版, (2000).
- 10) 石川朗:理学療法テキスト 内部障害理学療法学 循環・代謝, 14-18, 中山書店, 東京, (2010).
- 11) 循環器画像技術研究会(編):エコー検査でわかること - II - 下肢血管を中心に -, Retrieved February 18, 2015, available from, <http://citec.fc2web.com/shiryou/rinshou-j/echo080216/echo080216.htm>.

佐橋 拓 (さはし たく)

2010 年長岡技術科学大学専門職大学院課程修了。システム安全修士(専門職)。同年より同学博士後期課程生物統合工学専攻に編入。2004 年より株式会社プロジェクトアイに入社。人命救助ロボットを中心に災害 ME の研究開発に従事。日本生体医工学会, 日本集団災害医学会, 日本人間工学会, ライフサポート学会, 日本ロボット学会会員。(バイオメカニズム学会学生会員)

佐橋 昭 (さはし あきら)

1964 年名古屋工業大学卒業。2001 年株式会社エルモ社取締役退任。2004 年より長岡技術科学大学災害 ME 研究会会員として災害 ME 開発に従事(現会長)。2009-2012 年まで長岡技術科学大学客員教授。2004 年株式会社プロジェクトアイ設立。日本生体医工学会, 日本人間工学会会員。

内山尚志 (うちやま ひさし)

1997 年長岡技術科学大学修士課程修了。2010 年博士号(工学)取得。2007 年長岡技術科学大学助教。日本人間工学会, 日本生体医工学会, 日本電子情報工学会, 日本老年医学会, 日本集団災害医学会, 日本認知症ケア学会員。

塩野谷明 (しおのや あきら)

1982 年福島大学教育学部卒業。1985 年日本体育大学大学院修了。1998 年長岡技術科学大学エネルギー環境工学専攻論文博士(博士(工学))。スポーツ工学, スポーツバイオメカニクスの研究に従事。日本機械学会スポーツ&ヒューマンダイナミクス部門運営委員・企画委員長, 生体医工学会(甲信越地区理事)。(バイオメカニズム学会正会員)

福本一朗 (ふくもと いちろう)

1982 年東京大学博士課程修了。医学博士。瑞典王国公認医。シャルマース工科大学応用電子工学科客員研究員を経て 1996 年より長岡技術科学大学医用生体工学教室教授。2015 年同学退官。生体医工学会, プライマリケア学会, バイオフィードバック学会, 聴覚医学会等。

Basic Study of the Crush Syndrome Preventer to Equip Life-saving Robot. – Study of the Treatment to Stem the Lower Limb Blood Flow Using CSP Mechanism and its Measurement –

Taku SAHASHI^{1,2†}, Akira SAHASHI², Hisashi UCHIYAMA³, Akira SHIONOYA⁴, Ichiro FUKUMOTO⁵

¹Integrated Bioscience and Technology, Nagaoka Univ. of Tech., ²Project-I Co. Ltd.,

³Bioengineering, Nagaoka Univ. of Tech.,

⁴Management and Information Systems Engineering, Nagaoka Univ. of Tech.,

⁵Emeritus Professor, Nagaoka Univ. of Tech

Abstract : Crush Syndrome (referred to in the rest of this document as CS) was killed many victims at Great Hanshin Earthquake, but there is no viable countermeasure even now. Therefore, we have proposed and researched Life-saving Robot. This time, we experimented about the Mechanism of CS Preventer to be equipped on that Robot. This Mechanism has a purpose that preventing the onset of CS until victim is carried by the Robot to doctors waiting at a safe area. This Mechanism compress the groin by pressure materials, stem the femoral vein blood flow to prevent reperfusion. Furthermore, femoral artery and vein are adjoining, the flow velocity measurements of posterior tibial artery was used as an indicator of the femoral vein ischemia. A result of the experiment, the mechanism of CS preventer showed high Circulation blocking rate more than a thigh avascularization and a groin compression by palm. Furthermore, it was suggested that the requirement of a pressure value to ischemia have individual differences with age and body fat percentage.

Key Words : Rescue Robot, Crush Syndrome Preventer, Groin Compression Method, Circulation Blocking Rate.

Received Apr. 7, 2015 Accepted Oct. 18, 2015

[†]Taku SAHASHI

Project-I Co. Ltd.,

154-303, Utsato-cho, Nishi-ku, Nagoya, Aichi, JAPAN,

Tel: 052-501-0994 Fax: 052-501-0994

E-mail: t.sahashi.project-i@nifty.com