

## 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 4月20日現在

機関番号：32689

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22700582

研究課題名（和文） がん骨転移患者の寝返りを支援する筋電制御体幹装具の開発

研究課題名（英文） Myoelectric controlled trunk orthosis to support rollover of patients with cancer bone metastasis

研究代表者

安藤 健（ANDO TAKESHI）

早稲田大学・理工学術院・研究員

研究者番号：40535283

研究成果の概要（和文）：

がんの末期に骨転移が起こると、患者の骨は極めて脆弱になり、寝返り動作による体幹の捻れによって激しい疼痛や骨折が発生する。本研究では生体計測技術とロボット技術の知見を活かし、ターミナル・ケアにおけるペインマネジメントを実現する「筋電信号を用いたがん骨転移患者の寝返り支援機器の開発」を行う。患者の寝返り動作を筋電信号の解析によって高応答かつ高精度に検知し、痛みを引き起こす体幹の捻りだけを抑制しつつ寝返り動作を空気圧ゴム人工筋を用いて人体との親和性の高い支援を実現するものである。

研究成果の概要（英文）：

Based on a pneumatic artificial rubber muscle (PARM) to restrict trunk-twisting range of motion (ROM), a robotic trunk orthosis was developed to support the rollover movement of cancer bone metastasis patients. The specifications of the robotic orthosis were determined so that it could perform in the same way as a traditional hard orthosis. Systems of the robotic orthosis were evaluated for detecting the intention of rollover using the electromyogram (EMG) signal, recognizing rollover by a micro macro neural network, and restricting trunk ROM using PARM. Through experimentation, the effectiveness of the robotic orthosis in rollover movements was confirmed by comparing its capability to restrict ROM with that of the customized hard orthosis.

交付決定額

（金額単位：円）

|        | 直接経費      | 間接経費    | 合計        |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2010年度 | 1,700,000 | 510,000 | 2,210,000 |
| 2011年度 | 1,400,000 | 420,000 | 1,820,000 |
| 年度     |           |         |           |
| 年度     |           |         |           |
| 年度     |           |         |           |
| 総計     | 3,100,000 | 930,000 | 4,030,000 |

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：知能機械，看護学

## 1. 研究開始当初の背景

転移性骨腫瘍は主に肺がん・乳がんの末期に発生し、世界中で毎年700万人の患者が亡くなっている。骨転移は主に脊椎に発生し、

「疼痛」はがん患者を苦しめる最もつらい症状の一つである。近年ホスピスを中心に、「ペインマネジメント」としてその対策の必要性が議論されている。

骨転移により脆弱になった骨を治療する方法として、手術療法や放射線治療が発展してきているが、特に余命が数ヶ月と限られている場合には患者の QOL を最優先するため「硬性コルセット」を装着するだけで、積極的な治療を行わない。しかし、硬性コルセットは呼吸が困難になるほど体幹を常に強く拘束し続けるため、身動きが取れなくなり、逆説的に患者の QOL が著しく低下するという問題がある。疼痛・骨折そのものの予防を行う「体幹装具」の開発・発達は遅れており、旧来の軟性・硬性コルセットがそのまま使用されているのが現状である。

本研究は緩和ケアに力を入れる静岡がんセンターとロボット技術開発力を有する早稲田大学の強力な医看工連携体制の元、「人生の最期まで、尊厳のある自立した生活を送りたい」というホスピス患者の願いを叶えるテクノロジーの開発を最終目的としている。その具体例として、骨転移患者の寝返り支援を重点化し、「最期まで自分で寝返りを」をコンセプトとした機器の開発を行ってきた。

## 2. 研究の目的

高齢者・障害者・有病者の特徴的動作であるにもかかわらず、先行研究においてはあまり対象とされていない緩慢動作に対して、がん骨転移患者の寝返り動作支援を典型的事例として取り上げ、高精度かつ高応答に動作意図を推定する技術の確立を目的とした。

本研究では、長時間の時系列筋電信号から寝返り動作を高精度かつ高応答に認識するアルゴリズムの設計手法、さらには自然に寝返り動作を支援するための空気圧ゴム人工筋を用いた機構設計手法について検討し、それらをもとに開発した寝返り支援装具システムの有効性を示す。

## 3. 研究の方法

機構の評価として、健常者 11 人が座位で左右への回旋動作を行った。実験は、装具装着の順序効果はないものとし、まず装具未装着の状態、次に上記実験で決定された長さとなった寝返り支援装具（空気圧ゴム人工筋：タケチ工業製マッキベン式、300 [mm]、 $\phi$  10）を装着した状態、最後にオーダーメイドで作製した硬性装具（松本義肢）を装着した状態、の 3 種類の条件で行った。ただし、関節をほぐすため、さらに装具装着しての回旋動作に慣れるために、事前に体幹回旋動作の練習を行った。また、インフォームド・コンセントを得た上で実験を行った。動作回数は各条件で左右 15 回ずつとした。また、本実験の被験者は、空気圧ゴム人工筋を用いた機構の有効性を評価するために寝返り支援の対象者であるがん骨転移患者よりも筋力

が強い健常者とした。

信号処理手法に関しては、まず、従来のニューラルネットワークの手法における問題点と本研究で設定した緩慢な寝返り動作の認識問題という特性を考慮し、提案するネットワークのコンセプトを明確にする。その後、提案ネットワークの構造を決定し、その動作認識に関する基本性能を検証する。さらに、実際の使用・運用で問題となりうる点を想定した実験を行い、安定した動作認識を実現可能な条件を明確にする。

最後に、全体のシステムとしての評価を行うために、まず被験者が何も装着しない状態で上肢先行型、下肢先行型、膝たて型の寝返りをスムーズに行えるように練習した。その後、左右の肩峰、上前腸骨棘にマーカを貼付し、開発した寝返り支援装具を装着し、上肢先行型、下肢先行型、膝たて型の寝返り動作をそれぞれ 10 回ずつ行った。この際の順序効果はないものとした。筋電信号は左右の内腹斜筋下部から計測した。また、被験者は若年健常者 3 名とした。ただし、被験者には事前に十分に実験内容などについて説明し、インフォームド・コンセントを得た上で参加してもらった。それぞれの寝返り動作時の体幹の運動を 3 次元モーションキャプチャシステム (Vicon612, 100 [Hz], 精度 1 [mm] 以内) を用いて計測し、体幹の回旋角度を算出した。

## 4. 研究成果

まず、以下のようにハードウェアの開発を行った。

(1) 体幹の運動学モデルの構築および人の回旋運動の特徴を運動学的に解析することで、体幹回旋動作時の体表の長さの変化量を算出し、体幹回旋運動により長さが最も変化する肩峰と反対側の上前腸骨棘を結ぶように空気圧ゴム人工筋を配置することを決定した。

(2) 空気圧ゴム人工筋の収縮力と内腹斜筋、外腹斜筋などの収縮力などとの力の関係から回旋運動が抑制できることを示した。

(3) 硬性装具と同程度の体幹回旋可動域拘束性能を有するための寝返り支援装具の仕様について検討し、寝返り支援装具における空気圧ゴム人工筋の収縮語の長さが正立時の肩峰と上前腸骨棘の体表上の長さの 1.03 倍になっていれば良いことを実験的に算出した。

(4) 製作した寝返り支援装具のプロトタイプを用いて、座位での回旋可動域を計測し、オーダーメイド硬性装具と同程度の抑制能力を有していることを体幹全体および腰椎レベルで確認した。

(5) 脊椎圧縮力に弱い骨粗鬆症患者であっても空気圧ゴム人工筋の収縮による脊椎圧縮力が、圧迫骨折につながる力よりも小さい



ことを示した。

(6) 回旋可動域抑制という開発条件以外の製作・装着・調整の容易性などの開発要件を考慮した寝返り支援装具を開発した。

(7) 上記のような一連のプロセスを通して、運動学解析、機構検討、仕様決定、プロトタイプ製作、支援性能評価という受動的動作支援機器の開発設計論の一例を示した。

また、以下のように信号処理手法の確立および評価を行った。

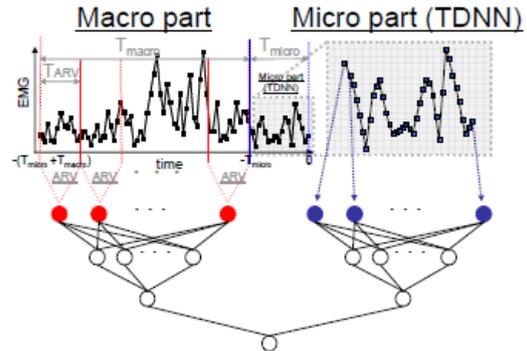
(1) 先行研究における時間遅れニューラルネットワークの課題を明らかにし、緩慢な動作を対象とした場合にネットワークへの入力時間長を長くできることを示した。また、過去の時系列信号が動作認識結果に与える影響を解析し、計測時刻直近のデータの影響が大きく、 $-10[\text{msec}]$ 以上過去のデータが与える影響は一定となることを示した。

(2) 上記知見をもとに、 $-1[\text{msec}]$  ~  $-10[\text{msec}]$ のデータの生信号が入力されるマイクロパートとそれ以前のデータは一定時間毎に圧縮された信号が入力されるマクロパートから構成されるマイクロ・マクロ・ニューラルネットワークを提案した。

(3) 既存の逆誤差伝播法をマイクロ・マクロ・ニューラルネットワークに適応した場合の、一括修正による慣性項付逆誤差伝播法のアルゴリズムを示した。

(4) マイクロ・マクロ・ニューラルネットワークの構造特性を MoE (混合エキスパートモデル) とマルチ時間スケールネットワークの観点からまとめ、マイクロパートが応答性の Expert、マクロパートが精度のエキスパートとなり、それらが異なる時間スケールで並列的に繋がるというオリジナリティを示した。

(5) 寝返り動作の認識における精度と安定性を指標としてマイクロ・マクロ・ニューラルネットワークの構造を決定するパラメータを決定した。マクロパートの入力は、 $40[\text{msec}]$ ずつ ARV を 40 区間分算出したものとする。このとき、既存の時間遅



れニューラルネットワークを用いて寝返り動作の認識を行ったときと比較し、認識の精度、応答性とも向上しており、信号処理の要求仕様を満たす性能を実現していることを確認した。

(6) ミクロパートとマクロパートの出力を解析することで、マイクロパートの応答性とマクロパートの精度が全体のネットワークの応答性と精度に強く関与していることを示した。

(7) 電極貼付位置および姿勢が寝返り動作の認識に与える影響を解析し、上前腸骨棘付近の腸骨稜に沿った位置に水平方向に貼付することにより、最も良い動作認識性能が得られることが示唆された。

(8) 寝返り動作以外の起き上がり動作との識別を行うための、排他的論理和を利用したアルゴリズムを加え、動作識別の安定性を高めた。

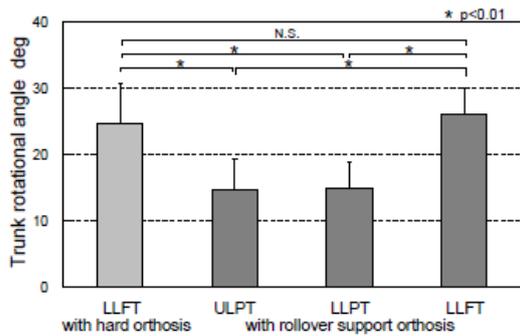
最後に、以下のように全体のシステムとしての有用性を評価した。

(1) 開発した寝返り支援体幹装具の体幹回旋可動域拘束性能に関する有効性を評価するための許容角度を、看護師へのヒヤリングより硬性装具を装着して膝立て型の寝返り動作を行ったときの最大回旋角度とし、許容角度を  $24.7[\text{deg}]$  と算出した。

(2) 若年健常者が開発した寝返り支援体幹装具を装着して、上肢先行型・下肢先行型・膝立て型の寝返り動作を行ったときの最大体幹回旋角度は、それぞれ  $14.8[\text{deg}]$ ,  $15.1[\text{deg}]$ ,  $26.2[\text{deg}]$  となった。上肢先行型・下肢先行型においては許容角度に対して有意に小さく、膝立て型に対しては許容角度と有意差ない回旋角度で寝返り動作を行えていることがわかった。

(3) 最大回旋角度への到達時間を解析することで、膝立て型での回旋角度が上肢先行型・下肢先行型の回旋角度と比較し大きくなっている理由を、膝立て型においては動作判別の入力となる内腹斜筋の筋電信号が小さくなっていることとした。

(4) 寝返り支援体幹装具を使用した被験者への使用後のヒヤリングにより、従来の硬性装具で問題となっていた装具からの常時の圧迫感に関しては、人工筋収縮時には圧迫感



を感じるものの、寝返り動作時以外の圧迫感はほとんどないことがわかり、硬性装具と同程度、もしくはそれ以上の体幹回旋運動の拘束性を有しながら、従来の圧迫感の問題を解決することができた。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

1. 安藤健, 岡本淳, 藤江正克, がん骨転移患者の寝返り支援に向けた筋電制御型体幹回旋拘束装具の開発, バイオメカニズム, Vol. 21, (採録決定), 査読有
2. Takeshi Ando, Masaki Watanabe, Keigo Nishimoto, Yuya Matsumoto, Masatoshi Seki and Masakatsu G. Fujie, Myoelectric Controlled Exoskeletal Elbow Robot to Suppress Essential Tremor: Extraction of Elbow Flexion Movement Using STFTs and TDNN, *Journal of Robotics and Mechatronics*, 24(1), 141-149, 2012, 査読有
3. 安藤健, 山田憲嗣, 清水佐知子, 大野ゆう子, 電動ベッドに後付け可能な起立支援機器の提案, *日本機械学会論文集 C 編*, Vol. 78 (785), 151-162, 2012, 査読有
4. Takeshi Ando, Jun Okamoto, Masakatsu G. Fujie, Micro Macro Neural Network to Recognize Rollover Movement, *Advanced Robotics*, 2011, 25 (1-2), pp. 253-271, 査読有
5. Takeshi Ando, Jun Okamoto, Mitsuru Takahashi, Masakatsu G. Fujie, Response Evaluation of Rollover Recognition in Myoelectric Controlled Orthosis Using Pneumatic Rubber Muscle for Cancer Bone Metastasis Patients, *Journal of Robotics and Mechatronics*, 23(2), 2011, pp 302-309, 査読有
6. Takeshi Ando, You Kobayashi, Jun Okamoto, Mitsuru Takahashi, Masakatsu G. Fujie, Intelligent Trunk Orthosis to Support Rollover of Cancer Bone Metastasis

Patients, *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, Vol. 15, No. 2, pp. 181-190, 2010, 査読有

[学会発表] (計 5 件)

1. 安藤健, 岡本淳, 藤江正克, がん骨転移患者の寝返り支援に向けた筋電制御型体幹回旋拘束装具の開発, 第 22 回バイオメカニズムシンポジウム, pp. 167-178, 2011
2. Takeshi Ando, Masakatsu G. Fujie, Repeatability Analysis of Rollover Recognition in Changing Myoelectric Electrode Condition, 33rd Annual International Conference of the IEEE EMBS, 2011, 619-623
3. Ando Takeshi, Okamoto Jun, Mitsuru Takahashi and Masakatsu G. Fujie, "EMG based Design and Evaluation of Micro Macro Neural Network for Rollover Support Trunk Orthosis", Proceedings of 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2010, 2916-2921
4. 安藤健, 岡本淳, 高橋満, 藤江正克, 骨転移がん患者用体幹装具における EMD を考慮した寝返り認識システムの評価, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMEC) 2010, 1A2-F11, 2010
5. Takeshi Ando, Masaki Watanabe, Masatoshi Seki, Masakatsu G. Fujie, Myoelectric controlled exoskeletal robot to suppress essential tremor: Extraction of elbow flexion movement using STFTs, International conference on Advanced Mechatronics, 2010, 756-761

[図書] (計 2 件)

1. 藤江正克, 安藤健, リハビリテーション工学と福祉 最近の動向 高齢者・障害者・有病者を支援するロボット, リハビリテーション研究, 16-21, 2011
2. 藤江正克, 安藤健, 小林洋, 専門家間の科学技術相互理解—医工連携—, 日本機械学会誌, 114(1107), 94-95, 2011

[その他]

1. 2010年6月14日 日刊工業新聞 16 面 未来を掛ける新進研究者列伝 (17) にて紹介
2. 2010年6月11日 テレビ東京系 ワールドビジネスサテライト「トレンドたまご」にて「寝がえりの痛み緩和」として紹介

3. 2010年5月31日 日刊工業新聞1面「早大、がん患者向けコルセット開発―「筋電」使い寝返りの苦痛緩和」

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

安藤 健 (Takeshi Ando)

早稲田大学・理工学術院・客員次席研究員

研究者番号：40535283