

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25年4月20日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22300193

研究課題名（和文）筋疲労モニタを有する能動制御型FESリハビリシステムの開発と検証

研究課題名（英文）Development and validation of active control type FES rehabilitation system with muscle fatigue monitor

研究代表者

渡邊 高志 (WATANABE TAKASHI)

東北大学・大学院医工学研究科・准教授

研究者番号：90250696

研究成果の概要（和文）：

プロトタイプ FES リハビリテーションシステムを開発し、随意運動の誘発を補助する FES を用いた片麻痺者の歩行リハビリへの適用について検証し、有効性を示した。また、異なる条件の追加パルスによる M 波振幅を用いた筋疲労評価指標を提案し、短時間電気刺激による繰り返し運動訓練を想定した試験により実現性を示した。これらの構築した技術を実装することで、筋疲労モニタを有する能動制御型 FES リハビリシステムを実現できることを確認した。

研究成果の概要（英文）：

A prototype FES rehabilitation system was developed and shown to be useful for gait rehabilitation of hemiplegic subjects, in which FES was used to assist in producing voluntary dorsiflexion. Muscle fatigue evaluation index using amplitudes of M-waves elicited by various additional stimulation pulses was proposed and shown to be feasible to apply to repetitive movement training using short time electrical stimulation. It was shown that FES rehabilitation system with muscle fatigue monitor would be realized by implementing the developed techniques.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	4,900,000	1,470,000	6,370,000
2011年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2012年度	2,000,000	600,000	2,600,000
年度			
年度			
総計	9,200,000	2,760,000	11,960,000

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：機能的電気刺激、FES、筋疲労、M波、動作計測、慣性センサ、医療、福祉

1. 研究開始当初の背景

脊髄損傷や脳卒中などによる中枢性の運動機能麻痺に対して、麻痺肢の動作の補助・再建を行う方法として機能的電気刺激（FES）がある。上肢の FES 制御法は、日本で開発された筋電図に基づく刺激データ

作成法が非常に優れており、臨床的有効性も実証されている。一方、下肢の運動機能再建は、麻痺肢の筋力低下や、電気刺激による筋疲労の早期発生などの影響で、FES 単独での適用は限定されるのが現状である。このような FES による麻痺肢の動作再建の現状に対

して、近年では、運動機能障害者の機能回復をはかる運動リハビリテーションへの FES の適用に注目が集まり、その有効性が評価されている。すなわち、実際の動作を FES により制御しながら運動機能のリハビリテーションを行うことで、麻痺肢の随意制御能力の改善、さらには、運動制御機構の再構築（運動再学習）に効果があることが報告されている。しかしながら、電気刺激による動作制御においては、随意運動時に比べて筋疲労が早期に発現する問題があり、運動リハビリテーションの実施だけでなく、FES リハビリの効果の評価の上でも大きな支障となる。さらに、運動機能麻痺者の運動再学習を支援するためには、随意運動を促進する訓練が必要であり、FES による動作の補助を随意運動の量にしたがって調節しつつ訓練を行うことが望まれる。これらの点で十分な機能を有する FES リハビリシステムが提供されていないため、FES を用いた運動リハビリテーション手法の確立には至っていない。

2. 研究の目的

FES による麻痺肢の動作制御では、筋疲労の早期発生が問題であり、筋疲労は、FES を用いた運動リハビリテーションにおいても訓練の実施や効果判定に影響する。そこで本研究では、ダブルパルスによる M 波を用いた筋疲労評価法を基盤として、FES 運動リハビリテーションに適用可能な筋疲労モニタを開発すること、FES 運動リハビリに有効とされる能動的な動作の実行を促すために、運動状態に応じて電気刺激強度を調節する FES 制御と運動の評価、ならびに患者への運動状態のフィードバックを行える FES リハビリシステムを開発すること、そして、開発したシステムを用いて、FES を用いた運動リハビリテーション手法の体系化を推進することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) FES を用いた運動リハビリテーションのための筋疲労モニタの開発と検証

最初に、表面電極を用いた FES 制御中に M 波を計測するために、小型、電池駆動の M 波計測用筋電増幅器を製作する。そして、FES による運動リハビリテーションとして、短時間電気刺激による繰り返し訓練を想定し、膝伸筋を対象にして、繰り返し電気刺激時の M 波と発生筋張力や膝関節角度変化との同時計測を行う。電気刺激にはパルス幅、振幅、繰り返し周期を固定したバースト刺激を用い、その一部に追加パルスを挿入してダブルパルスとする。これらの結果より、繰り返し電気刺激による運動訓練時に計測される M 波の性質を明らかにし、等尺性条件での発生張力に基づく従来の疲労指数に相当す

る情報の抽出可能性を検討する。そして、具体的な筋疲労評価指標を作成し、FES リハビリテーションにおける M 波を用いた筋疲労評価の有効性を検証する。

(2) FES リハビリテーションのためのプロトタイプシステムの開発と検証

①小型表面電気刺激装置を製作し、繰り返し運動のための cycle-to-cycle 制御に基づくフuzzy FES 制御器を実装する。そして、制御誤差に応じて刺激量を調整するフィードバック制御機能を検証する。この制御器を基盤として、随意運動量に応じて FES 制御の目標値や目標達成に必要な随意運動量を調整する機能を構築する。また、運動機能麻痺者の筋骨格系の電気刺激応答特性は、健常者に比べて非線形性が強い場合が多く、フィードバック制御が適切に行えなくなることがある。そこで、麻痺者の様々な電気刺激応答特性に対して適切な制御が行えるようにするため、学習型 FES 制御の実現可能性について検討する。

②患者が運動の状態を認識して随意指令を調節するために、運動情報を健常部位の触覚刺激により提示するバイオフィードバック部を製作し、関節角度、足の移動、下肢加重等量等の情報を患者にフィードバックする機能を構築する。

また、運動の様子を使用者にフィードバックする方法として、リハビリテーションスタッフによる説明を付加したオフライン提示も実際的事であることから、リハビリ訓練中の運動を計測するウェアラブルセンサシステムを開発し、歩行リハビリテーションの効果を定量的に評価するためのパラメータ算出アルゴリズムの構築を行い、計測結果をアニメーションやグラフにより可視化する機能を構築する。これらによりリハビリにおける運動のフィードバックについて、リハビリスタッフや使用者と有効性を検証する。

③開発したウェアラブルセンサシステムと小型電気刺激装置とを統合し、FES リハビリテーションのためのプロトタイプシステムを構築する。このプロトタイプ FES リハビリテーションシステムを用いて、片麻痺者の歩行リハビリを対象とした試験を実施する。FES の有無、電気刺激中の随意運動生成の有無などの条件で、実際の FES リハビリテーション訓練を想定した歩行時の動作を計測し、プロトタイプシステムの臨床的有効性、ならびに電気刺激の運動リハビリテーションへの効果について検証する。このとき、電気刺激の印加タイミングについて、歩行状況の変化への対応可能性も検討し、患者の動作に応じた FES 制御を行えるようにする。

4. 研究成果

(1) FESを用いた運動リハビリテーションのための筋疲労モニタの開発と検証

表面電極を用いた FES 制御中に M 波を計測するために、小型、電池駆動の M 波計測用筋電増幅器を製作した。また、表面電極用の小型電気刺激装置を製作し、繰り返し運動のための cycle-to-cycle 制御に基づくファジィ FES 制御器を実装した。

次に、FES による運動リハビリテーションとして短時間電気刺激による繰り返し訓練を想定し、この時の筋疲労を M 波を用いて評価する方法について、健常被験者で検証した。断続的なバースト刺激に筋疲労評価用の追加パルスを加えた刺激パルス列で外側広筋を電気刺激し、等尺性条件下での膝伸展力発生および膝伸展角度のフィードバック制御において M 波を計測した結果、通常の単一パルスによる M 波では、繰り返し電気刺激による運動時の張力低下や刺激量増加に相当する情報が得られないことを明らかにし、また、追加パルスによって得られた M 波振幅は、筋疲労により張力の減少や刺激量の増加が観測されたときに他の M 波と比べて大きく減少し、追加パルスの印加タイミングにより減少傾向が異なることを明らかにした。

上記の結果をもとに、短時間電気刺激による繰り返し運動を対象に、追加パルスによる M 波の振幅情報を用いた筋疲労評価指標を提案した。等尺性条件下での筋力発生においては発生筋張力の低下が、膝伸展運動のフィードバック制御においては刺激強度の増加が筋疲労に相当するので、それらに対する M 波筋疲労評価指標との関連性を検討した結果、通常の FES 制御時の M 波のみによる指標では関連性はほとんど得られなかったが、追加パルスによる M 波を用いた指標では良好な相関関係が得られ、筋疲労モニタとして機能することを確認した。

(2) FES リハビリテーションのためのプロトタイプシステムの開発と検証

①表面電極用の小型電気刺激装置を製作した。これに、繰り返し運動のファジィ FES 制御器を実装して実験的検証を行い、リハビリを想定した繰り返し運動制御において適切に機能することを確認した。また、FES 制御において制御対象の電気刺激応答の非線形特性に適切に対応するため、フィードバック誤差学習法を適用した学習型 FES 制御器について計算機シミュレーションによる検討を行い、その実現可能性を示した。

②患者が運動の状態を認識して随意指令を調節するために、関節角度情報を振動刺激によ

り健常部位に提示するバイオフィードバック部を製作した。目標角度到達、目標角度維持での情報提示を健常者で検討し、リアルタイムフィードバックの有効性を確認した。

一方、片麻痺者での歩行訓練において、リアルタイムフィードバックが必ずしも適切ではない場合があったことから、歩行リハビリテーションを想定し、下肢運動を計測するためのウェアラブルセンサシステムを構築した。ウェアラブルセンサシステムで計測した結果から、歩行リハビリテーションの効果を定量的に評価するため、評価指標として、角度を算出する方法を構築し、健常者での歩行計測で評価した結果から、安定した精度で計測できることを確認した。また、足の移動量として1歩毎のストライド長の計測法を構築し、健常者歩行で比較的良好な精度で計測可能であることを示し、さらに、慣性センサだけの関節モーメント計測法の実現可能性を示した。

これらに並行して、歩行訓練後に動作をフィードバックすることを想定し、ウェアラブルセンサシステムにより計測した歩行動作を可視化する機能について検討し、簡易アニメーションや角度のグラフ化を一部実現した。そして、運動機能障害者での計測結果の可視化について検証し、不自然な描画になる場合もあったが、特徴をとらえており、情報提示において有用になると期待された。

③開発してきた小型表面電気刺激装置とウェアラブルセンサシステムを統合し、片麻痺者の遊脚期の足関節背屈を FES により制御し、同時に下肢関節角度及び各部位の傾斜角度の計測を可能にしたプロトタイプ FES リハビリテーションシステムを構築した。

次に、構築したシステムを用いて、片麻痺者の FES を用いた歩行リハビリシステムへの展開を検証した。歩行遊脚期の足関節背屈を FES により制御しながら、電気刺激による知覚を利用して患者が随意背屈の発生努力をする訓練方法を提案した。随意運動の発生量に応じて刺激強度を変化させるために、FES 制御中に計測した運動が随意努力の有無により FES 制御時と同等な運動や異なる運動となることを検証した結果、十分大きな刺激強度では、随意背屈努力の有無による動作の変化は見られないが、刺激強度を下げた場合には随意努力の有無により動作が変化し、随意背屈努力により FES 補助に類似した動作を行える可能性があることを示した。さらに、歩行中に知覚できる程度の低強度電気刺激においても、随意努力を行うことで、十分な FES 補助

の場合に類似した動作が発現可能であることを示し、随意努力の無い場合と動作が異なることを示した。また、電気刺激の印加タイミングについて、健常者や片麻痺者の異なる歩行状態に応じて適切に制御可能であることを確認した。これらにより、センサシステムで動作を計測し、随意動作発生の程度に応じて刺激強度を調節する能動制御が有効であり、最大背屈量に応じて刺激強度を調節する場合には、プロトタイプシステムをそのまま利用して能動制御型FESリハビリを実行可能であることを確認した。

以上の歩行訓練では短時間の繰り返し電気刺激が使用されるため、構築した筋疲労評価指標を適用可能である。よって、プロトタイプ FES リハビリテーションシステムに筋疲労評価部を実装することで、筋疲労モニタを有する能動制御型 FES リハビリシステムを実現できることが確認された。

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 12 件)

- 1) Takashi Watanabe, Takuya Murakami and Yasunobu Handa, Preliminary Tests of a Prototype FES Control System for Cycling Wheelchair Rehabilitation, 査読有, Proc. 13th Int. Conf. Rehabil. Robotics, (2013) (印刷中)
- 2) Takashi Watanabe, Shun Endo, Katsunori Murakami, Yoshimi Kumagai, and Naomi Kuge, A Measurement of Lower Limb Angles Using Wireless Inertial Sensors during FES Assisted Foot Drop Correction with and without Voluntary Effort, Int. J. Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics, 査読有, Vol.3, No.3, pp.216-220 (2013)
- 3) 村上卓弥, 大橋研斗, 渡邊高志, 半田康延, FES 足漕ぎ車椅子における走行速度に基づく刺激タイミングの検討, 査読無, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.112, No.479, pp.65-68 (2013)
- 4) Hiroki Saito and Takashi Watanabe, Kalman-filtering-based Joint Angle Measurement with Wireless Wearable Sensor System for Simplified Gait Analysis, IEICE Trans. Inf. and Sys., 査読有, Vol.E94-D, No.8, pp.1716-1720 (2011)
- 5) Naoto Miura, Takashi Watanabe, Satoru Sugimoto, Kazunori Seki, and Hiroshi Kanai, Fuzzy FES Controller Using Cycle-to-Cycle Control for Repetitive Movement Training in Motor Rehabilitation:

Experimental Tests with Wireless System, J. Med. Eng. & Technol., 査読有, Vol.35, No.6-7, pp.314-321 (2011)

- 6) Takashi Watanabe, Hiroki Saito, Eri Koike, Kazuki Nitta, A Preliminary Test of Measurement of Joint Angles and Stride Length with Wireless Inertial Sensors for Wearable Gait Evaluation System, Comput. Intel. and Neurosci., 査読有, Volume 2011, Article ID 975193, 12 pages (2011)
- 7) Naoto Miura, Takashi Watanabe, Kiyokazu Akasaka, Tatsuto Suzuki, A Clinical Trial of a Prototype of Wireless Surface FES Rehabilitation System in Foot Drop Correction, Proc. 33rd IEEE EMBS Conf., 査読有, pp.5461-5464 (2011)
- 8) Takashi Watanabe, Hiroki Saito, Tests of Wireless Wearable Sensor System in Joint Angle Measurement of Lower Limbs, Proc. 33rd IEEE EMBS Conf., 査読有, pp.5469-5472 (2011)
- 9) 照山裕太, 渡邊高志, 遠藤 駿, カルマンフィルタを用いた角度計測法に関する異なる慣性センサによる計測での基礎的検討, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, Vol.111, No.314, pp.19-23 (2011)
- 10) Takashi Watanabe, Keisuke Fukushima, A Study on Feedback Error Learning Controller for FES: Generation of Target Trajectories by Minimum Jerk Model, Artificial Organs, 査読有, vol.35, no.3, pp.270-274 (2011)
- 11) Takashi Watanabe and Keisuke Fukushima, An Approach to Applying Feedback Error Learning for Functional Electrical Stimulation (FES) Controller: Computer Simulation Tests of Wrist Joint Control, Advances in Artificial Neural Systems, 査読有, Volume 2010, Article ID 814702, 8 pages (2010)
- 12) Takashi Watanabe and Yoshihiro Sugi, Computer Simulation Tests of Feedback Error Learning Controller with IDM and ISM for Functional Electrical Stimulation in Wrist Joint Control, J. Robotics, 査読有, Volume 2010, Article ID 908132, 11 pages (2010)

[学会発表] (計 35 件)

- 1) T. Watanabe, Measurement and Control of Lower Limb Movements for Gait Rehabilitation of Hemiplegic Subjects, 5th Int. Conf. Bioinformatics and Biomed. Technol., 2013年3月18日, Macau, China
- 2) T. Watanabe, S. Endo, .K. Murakami, Y. Kumagai, and N. Kuge, A Measurement of

- Lower Limb Angles using Wireless Inertial Sensors during FES Assisted Foot Drop Correction with and without Voluntary Effort, 5th Int. Conf. Bioinformatics and Biomed. Technol., 2013年3月18日, Macau, China
- 3) 村上卓弥, 大橋研斗, 渡邊高志, 半田康延, FES 足漕ぎ車椅子における走行速度に基づく刺激タイミングの検討, ME とバイオサイバネティクス研究会, 2013年3月14日, 東京
 - 4) 村上卓弥, 渡邊高志, 半田康延, 対麻痺者のための足漕ぎ車椅子リハビリシステムの FES 制御系の構築に関する基礎的検討, 第19回日本 FES 研究会学術講演会, 2012年12月1日, 仙台
 - 5) 村上克徳, 熊谷芳美, 久家直巳, 遠藤 駿, 渡邊高志, 下垂足を有する脳卒中後片麻痺患者における機能的電気刺激歩行と短下肢装具歩行の歩容改善効果の比較, 第51回全国自治体病院学会, 2012年11月9日, 高松
 - 6) 熊谷芳美, 村上克徳, 久家直巳, 遠藤 駿, 渡邊高志, 下垂足のある脳卒中後片麻痺患者の FES による歩容の評価, 第51回全国自治体病院学会, 2012年11月9日, 高松
 - 7) 遠藤 駿, 渡邊高志, 村上克徳, 熊谷芳美, 久家直巳, 片麻痺者の歩行リハビリテーションにおける FES による随意背屈誘発補助の基礎的検討, 第27回生体・生理工学シンポジウム, 2012年9月19日, 札幌
 - 8) Watanabe T, Endo S, Miura N, Murakami K, Kumagai Y, Kuge N, A Case Study of Angle Measurements in Foot Drop Correction by FES under Different Stimulation Conditions, 17th Ann. Conf. Int. FES Society, 2012年9月10日, Banff, Canada
 - 9) N. Miura, T. Watanabe, K. Akasaka, T. Suzuki, A Study of Gait Evaluation Using a Prototype FES Rehabilitation System: A Case Study in Foot Drop Correction with a Hemiplegic Patient, 第51回日本生体医工学会大会, 2012年5月10日, 博多
 - 10) 村上卓弥, 渡邊高志, 三浦尚人, FES を用いた足こぎ車いすリハビリシステムの構築に関する検討, 足漕ぎ車いす研究会 第2会年次学術集会, 2012年2月4日, 仙台
 - 11) 新田和樹, 渡邊高志, 武田涼子, リハビリテーション評価のための慣性センサを用いたストライド長計測に関する検討, 第32回バイオメカニズム学術講演会, 2011年11月26日, 大阪
 - 12) 森 裕章, 渡邊高志, ウェアラブルセンサを用いた下肢モーメント計測の検討, 第32回バイオメカニズム学術講演会, 2011年11月26日, 大阪
 - 13) 照山裕太, 渡邊高志, 遠藤 駿, カルマンフィルタを用いた角度計測法に関する異なる慣性センサによる計測での基礎的検討, ME とバイオサイバネティクス研究会, 2011年11月24日, 仙台
 - 14) 新田和樹, 渡邊高志, 三浦尚人, 赤坂清和, 片麻痺者の足関節 FES 制御時の動作評価の検討 - ウェアラブルセンサによるストライド長計測 -, 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会2011, 2011年11月4日, 東京
 - 15) 森 裕章, 渡邊高志, ウェアラブルセンサを用いた下肢モーメント計測法に関する誤差の基礎的検討, 第45回日本生体医工学会東北支部大会, 2011年10月29日, 盛岡
 - 16) 大橋研斗, 渡邊高志, 慣性センサを用いた歩行中の下肢関節角度の3次元計測に関する基礎的検討, 第45回日本生体医工学会東北支部大会, 2011年10月29日, 盛岡
 - 17) N. Miura, T. Watanabe, K. Akasaka, T. Suzuki, A Clinical Trial of a Prototype of Wireless Surface FES Rehabilitation System in Foot Drop Correction, 33rd IEEE EMBS Conf., 2011年9月2日, Boston, U.S.A.
 - 18) T. Watanabe, H. Saito, Tests of Wireless Wearable Sensor System in Joint Angle Measurement of Lower Limbs, 33rd IEEE EMBS Conf., 2011年9月2日, Boston, U.S.A.
 - 19) 新田和樹, 渡邊高志, ウェアラブルセンサを用いたストライド長計測に関する基礎的検討, 平成23年度電気関係学会東北支部連合大会, 2011年8月25日, 多賀城
 - 20) 森 裕章, 渡邊高志, ウェアラブルセンサを用いた下肢モーメント計測の基礎的検討, 平成23年度電気関係学会東北支部連合大会, 2011年8月25日, 多賀城
 - 21) N. Miura, T. Watanabe, H. Saito, K. Akasaka, T. Suzuki, Development of Wireless FES Control System for the Ankle Joint and Its Clinical Test with a Hemiplegic Patient, 第50回日本生体医工学会大会, 2011年5月1日, 東京
 - 22) H. Saito, T. Watanabe, R. Takeda, A Study on Wireless Lower Limb Joint Angle Measurement System Using Inertial Sensors in Measurements of Hemiplegic Gait, 第50回日本生体医工学会大会, 2011年5月1日, 東京
 - 23) M. Sato, T. Watanabe, H. Takahashi, E. Itoi, A preliminary test of a quaternion-based upper limb position tracking system using inertial sensors, 第50回日本生体医

- 工学大会, 2011年4月30日, 東京
- 24) K. Nitta, T. Watanabe, H. Saito, E. Koike, R. Takeda, A Basic Study on Stride Length Measurement of Hemiplegic Gait with Wearable Sensor System, 第50回日本生体医工学大会, 2011年4月30日, 東京
- 25) T. Watanabe, H. Saito, E. Koike, K. Nitta, Development of Wearable Gait Evaluation System: A Preliminary Test of Measurement of Joint Angles and Stride Length, 4th Int. Conf. Bio-inspired Systems and Signal Processing, 2011年1月28日, Rome, Italy
- 26) 新田和樹, 渡邊高志, 齋藤広樹, 小池 英利, ウェアラブル歩行評価システムのための関節角度及びストライド長計測の検討, 第11回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会, 2010年12月23日, 仙台
- 27) 齋藤広樹, 渡邊高志, 慣性センサを用いた簡易歩行評価のための無線型下肢関節角度計測システムの開発, 第30回バイオメカニズム学術講演会, 2010年11月6日, 浜松
- 28) 三浦尚人, 渡邊高志, 金井 浩, FES を用いたリハビリテーションでの筋疲労評価における追加パルスによる M 波の利用に関する基礎的検討, 第25回生体・生理工学シンポジウム, 2010年9月23日, 岡山
- 29) Suzuki T, Watanabe T, Saura R, Uchiyama H, Movement of Ankle Plantar flexor and Subjective Pain by Monophasic Electrical Stimulation, 15th Ann. Conf. Int. FES Soc., 2010年9月11日 Vienna, Austria
- 30) Watanabe T, Fukushima K, A Study on Feedback Error Learning Controller for FES: Generation of Target Trajectories by Minimum Jerk Model, 15th Ann. Conf. Int. FES Soc., 2010年9月10日, Vienna, Austria
- 31) Miura N, Watanabe T, Hiroshi K, A Preliminary Study of Muscle Fatigue Evaluation using Mwaves Elicited by Additional Pulses for Rehabilitation with FES, 15th Ann. Conf. Int. FES Soc., 2010年9月10日, Vienna, Austria
- 32) 渡邊高志, 三浦尚人, 関 和則, 運動器リハビリテーションのための表面電極型 FES システムの開発, 第22回日本運動器リハビリテーション学会, 2010年7月10日, 仙台
- 33) H. Saito, T. Watanabe, A Feasibility Study of Simplified Joint Angle Measurement System Using Wireless Inertial Sensors for Gait Evaluation, 第49回日本生体医工学大会, 2010年6月26日, 大阪
- 34) T. Watanabe, S. Sugimoto, N. Miura, K.

Seki, Development of a Prototype of Wireless Surface Electrical Stimulation System for Rehabilitation Training with FES, 第49回日本生体医工学大会, 2010年6月25日, 大阪

- 35) N. Miura, T. Watanabe, H. Kanai, A basic study on muscle fatigue evaluation using M-wave for rehabilitation with electrical stimulation, 第49回日本生体医工学大会, 2010年6月25日, 大阪

〔図書〕 (計 1 件)

- 1) Takashi Watanabe, Naoto Miura, Functional Electrical Stimulation (FES) Control for Restoration and Rehabilitation of Motor Function, Technological Advances in Biomedicine for Healthcare Applications, IGI Global, Chapter 9, pp.80-93 (2012)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡邊 高志 (WATANABE TAKASHI)
東北大学・大学院医工学研究科・准教授
研究者番号：90250696

(2) 研究分担者

古瀬 則夫 (FURUSE NORIO)
仙台高等専門学校・准教授 (2010年度)
研究者番号：30249734

(3) 連携研究者

関 和則 (SEKI KAZUNORI)
仙台保健福祉専門学校・副校長
研究者番号：20206618

古瀬 則夫 (FURUSE NORIO)
仙台高等専門学校・准教授 (2011～2012年度)
研究者番号：30249734