

平成 22 年 5 月 14 日現在

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2006～2009

課題番号：18200037

研究課題名（和文）電気刺激とボツリヌストキシンの併用による神経調整的治療体系の確立

研究課題名（英文） Establishment of neuromodulation therapy with combination of electrical stimulation and Botulinum toxin

研究代表者

関 和則（SEKI KAZUNORI）

東北大学・大学院医学系研究科・准教授

研究者番号：20206618

研究成果の概要（和文）：慢性期上下肢麻痺患者の運動機能、脳卒中後の中枢性疼痛、難治性過活動膀胱を標的として、neuromodulation としての電気刺激治療（ES）、ボツリヌス治療（BTX）、その併用治療の効果を比較検討した。上肢麻痺では併用治療が痙縮抑制と機能改善に良好な効果を示した。持続的 ES や筋電トリガーES は、通常のリハ訓練以上の歩行機能改善効果を示した。中枢性疼痛への BTX では、自覚的改善はなかったが感覚閾値の正常化が示唆された。難治性過活動膀胱の 2 例では、単独治療よりも併用治療で尿失禁の消失期間が延長した。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to investigate the effect of electrical stimulation (ES) and Botulinum toxin (BTX) injection as a neuromodulatory therapy for treatment of three types of intractable impairments, i.e., remaining paresis after central nervous system damage, abnormal sensation and pain after stroke, and intractable overactive bladder. Combination therapy of BTX with ES provided improvement of upper limb function and long lasting spasticity reduction. Continuous application of ES to lower limb and use of EMG triggered ES showed possibility to improve gait function. Central pain was not reduced by BTX injection but pain threshold tended to normalize. Two patients with intractable overactive bladder showed long lasting incontinence disappearance after combination therapy.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	23,700,000	7,110,000	30,810,000
2007 年度	6,000,000	1,800,000	7,800,000
2008 年度	5,300,000	1,590,000	6,890,000
2009 年度	3,000,000	900,000	3,900,000
年度			
総計	38,000,000	11,400,000	49,400,000

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：電気刺激、ボツリヌストキシンの併用による神経調整的治療体系の確立、痙性麻痺、疼痛、神経因性膀胱

## 1. 研究開始当初の背景

末梢神経に対する表面電極を用いた電気刺激（Electrical Stimulation: ES）は、運動線維を通じて筋の収縮をもたらす（末梢効

果）と同時に、感覚線維を興奮させて脊髄、脳に求心性の入力を与える（中枢効果）。特に脊髄においては、運動ニューロンや自律神経中枢の活動に、抑制や促通などの影響をお

よばし、種々の反射活動を制御することが可能となる。こうした形での ES の臨床的な利用は神経調整 (neuromodulation) と呼ばれ、痙性麻痺筋の痙縮抑制や、過活動膀胱の反射性収縮の抑制など、脊髄反射の制御による様々な治療効果をもたらす。

A 型ボツリヌス菌が産生する毒素タンパクであるボツリヌストキシン (Botulunum Toxin: BOT) は、筋弛緩作用などの末梢効果を有すると同時に、求心性入力 of 抑制による中枢効果を示すことも報告されており、この点では ES と類似した neuromodulation 的治療手法と考えられる。BOT の治療標的となる疾患・病態は、電気刺激治療 (ES 治療) のそれと重なる面が多く、海外ではすでに痙性麻痺、神経因性膀胱、疼痛性疾患を含めたさまざまな疾患に使用されている。

こうしたことから、BOT と ES を組み合わせることで、治療効果の延長や、より高い治療効果の獲得が期待できるが、ES と BOT の併用によるこうした疾患・病態の治療は、端緒にすぎたばかりであり、臨床応用に関する報告は少ない。

BOT 投与では、筋弛緩作用の利用が先行し、感覚入力抑制による neuromodulation 効果を各種の病態に適用する段階には至っていない。一方、表面電極を用いた ES の臨床適用範囲は、麻痺筋の機能回復促進、頻尿・尿失禁などの骨盤内臓器に由来する症状の緩和、嚥下障害の軽減などにも広がりを見せており、反射の制御を軸とした neuromodulation 効果に関する知見も集積されつつある。特に薬物等によって十分な治療効果が得られにくい難治性の病態では、ES 治療が一定の治療効果を示すことが報告されている。

リハビリテーション領域や泌尿器科領域では、通常の薬物治療や運動療法等によっても十分な治療効果の得られない、難治性の感覚運動機能異常や膀胱機能異常が多くみられる。これらは、急性期の集中的な取り組みによっても完全回復に至らず、慢性期以降は障害の残存によって、多くの患者が日常生活の遂行に支障をきたしている。本研究ではこうした難治性の症状・障害を、ES と BOT 投与、およびその組み合わせによって治療し、特に neuromodulation の視点から、その治療効果の背景機構を解明することを意図した。

## 2. 研究の目的

本研究では、ES と BOT 投与を neuromodulation 治療と位置づけ、単独治療や組み合わせによってどのような治療効果が得られるかを明らかにすることを目的とした。治療の標的は慢性期の脳卒中や脊髄損傷を中心とした中枢神経疾患による、1) 上下肢麻痺、2) 四肢の中枢性疼痛および異常感覚 (高度のしびれ)、3) 難治性の過活動性

膀胱とし、それぞれに対する上記治療によって、痙縮抑制と上位・下位運動ニューロンの促通による上下肢運動機能の改善、脊髄反射等の制御による疼痛やしびれ感の緩和、膀胱機能の回復による頻尿・尿失禁の改善の有無を明らかにする。さらに ES 単独での治療や運動療法との組み合わせ、および ES と BOT の併用治療との比較を行い、併用治療の適応を検討した。また、治療前後に運動学的解析、神経生理学的解析および機能画像学的解析、尿水力学的解析などを行い、神経系の機能調整に関わる効果発現の背景機構について分析を行った。

## 3. 研究の方法

### I) 上下肢麻痺に対する治療

片麻痺を中心とした上下肢麻痺患者に対して、ボツリヌス治療 (BOT 治療)、ES 治療、機能訓練およびその併用治療などを行い、それぞれについて筋緊張、運動機能に与える効果を比較検討した。また ES とミラーセラピーを組み合わせ用いた際の、脳内神経機構を生理学的に検討した。

### A) 上肢麻痺に対する ES と BOT 治療

中枢神経疾患発症後 6 か月以上が経過した痙性片麻痺患者を対象として、BOT 単独治療と、ES との併用治療を行い、それぞれの効果を比較検討した。

対象者を BOT 単独治療群と併用治療群に無作為に分け、併用治療群では最初の 1 か月は ES 治療のみを行い、その後約 9 か月間に渡り ES 治療と BOT 治療を行った。単独治療群では、1 か月の経過観察の後に、9 か月間に渡り BOT 治療を行った。ES には OG 技研製 PulsecurePro を用いた。刺激部位は、麻痺側の上腕三頭筋上と前腕伸側とし、運動閾値上、疼痛閾値下で最大の強度で刺激した。刺激手法習得後に装置を貸し出し、以後は自宅にて刺激周波数 20Hz、1 回 15 分、1 日 2 回の刺激を、研究参加期間を通じて継続的に行わせた。1 か月後に状態観察を行った上で、100 単位を生理食塩水 2ml で溶解した BOT を、1 部位あたり 20~25 単位として、計 200 単位を数か所に分けて麻痺肢に施注した。初回投与から 3 か月後に再度施注し、計 3 回の施注を行った。施注は、上肢では麻痺側の上腕二頭筋と手関節・手指屈曲筋群とした。

治療前後には、manual function scale (MFS) のスコアによる上肢機能評価と、テスト施行時の三次元動作解析、Tardieu scale (TS) による痙縮の定量化を行い、これらを ES 導入前 (観察開始前)、ES 開始 1 か月後 (初回注射時)、各注射時と注射 2 か月後に実施した。

### B) 下肢麻痺への ES と歩行訓練、BOT 治療

下肢に対する治療は、(1) 痙性麻痺患者については、BOT 単独治療と ES 治療を行い、歩

行機能に対する影響を検討した。また(2)痙性麻痺患者と筋緊張低下のある患者について、ESを用いた新しい歩行訓練の手法開発を行った。

#### (1)痙性麻痺患者に対する治療

対象は中枢神経疾患発症後6か月以上が経過した片麻痺および対麻痺患者とした。ESにはOG技研製PulseSecureProを用い、片麻痺では麻痺側、対麻痺ではより麻痺の顕著な側の大腿四頭筋上に表面電極を貼付した。刺激のパラメータは上肢と同様とした。BOTについては麻痺肢のハムストリングスと下腿三頭筋について、上肢と同様に溶解したものを最大100単位投与した。

ES、BOTともに1回施行時の変化を、最大歩行速度、立ち上がりあるいは歩行時の三次元動作解析、歩行中の筋電図測定、およびTardieu scale (TS)による痙縮の定量化によって評価した。また6か月以上の経過観察が可能であった例については、その後にも同様の評価を行い、長期的な変化についても検討した。

#### (2)痙性麻痺患者と筋緊張低下のある患者に対する治療・訓練

麻痺側下肢に筋緊張低下を示す片麻痺患者、および痙性片麻痺患者について、麻痺側下肢にESを行いながら歩行した場合の、歩行速度、歩行中の下肢筋電図、歩行時の三次元動作解析から、ESの歩行機能に対する影響を検討した。

ESにはOG技研製PulseSecureProを用い、麻痺側大腿四頭筋上に表面電極を貼付した上で、刺激なしでの10m歩行と刺激しながらの10m歩行を行わせ、上記の評価を実施した。刺激のパラメータは上肢と同様とした。また入院中の患者では、ESをしながらの歩行訓練を通常の理学療法とともに2-4週間施行し、その後に同様の評価を行った。

#### C) 筋電駆動型電気刺激装置を用いた訓練手法の開発

筋緊張低下のある患者については、上肢近位筋の緊張が低下したいわゆるdistal typeの麻痺を有する患者について、筋電駆動型電気刺激装置を用いた上肢訓練手法の開発を試みた。さらに、筋電駆動型電気刺激装置を用いた歩行訓練手法の開発を、上肢と同様に試みた。

二見らが開発した局所筋電駆動型電気刺激装置(local EMG driven electrical stimulator: LEMDES)は局所の筋電図をトリガーとして麻痺筋の筋収縮による運動を誘発するものである。脳卒中発症後3か月以上経過した後も、肩関節周囲の緊張低下と筋力低下のために上肢機能の改善が不十分で、また肩関節の運動時痛が顕著な2例で、LEMDESを用いた機能訓練を2週間に渡り実施した。また痙性片麻痺下肢の歩行時の内

反尖足に対しても、LEMDESを用いた機能訓練を2週間に渡り実施した。

#### D) ESとミラーセラピーの組み合わせ治療に関する検討

ESによって生じる運動と固有感覚情報が、視覚入力とともに脳内の運動イメージにどのような影響をもたらすか、またこれらが一次運動野を賦活するかどうかを検討するために、一側の手関節を随意的に伸展させながら、鏡に映った運動を見ている時に、反対側の手をLEMDESによって一側の運動と同期させて動かすことを基本とした複数の課題を健常者で実施し、その際の経頭蓋磁気刺激(TMS)による運動誘発電位(MEP)を測定した。

#### II) 中枢性疼痛・異常感覚に対する治療

中枢神経疾患発症後6か月以上が経過した後も、上肢に中枢性疼痛あるいはしびれ感が残存する者について、BOT投与を行い、こうした異常感覚に対する影響を検討した。

BOT投与のタイミングはI)と同様としたが、注射部位は疼痛・しびれ感の存在する上肢の皮下とし、BOTについては、100単位を10mlの生理食塩水で溶解したものを、1部位あたり5単位、計100単位施注した。

治療前および治療後1か月毎に、visual analogue scale (VAS)による主観的疼痛の程度と、知覚神経児童検査システムによる客観的感覚閾値を測定した。

#### III) 神経因性膀胱に対する治療

中枢神経疾患発症後6か月以上が経過し、1日10回以上の頻尿あるいは切迫性尿失禁を呈する、過活動型の神経因性膀胱を示し、薬物治療では改善が得られない難治性の患者に対して、仙骨部へのES単独治療、BOTの単独治療およびBOTとESの併用治療を行い、症状の改善の程度を比較した。

仙骨部ESには、市販されている低周波刺激装置「のどか」を使用した。I)と同様に研究参加期間の貸与を行い、刺激手法指導の後、数か月間の経過観察を行った上で、I)と同様のタイミングで膀胱内壁へのBOT投与を行った。投与には経尿道膀胱内視鏡装置を用い、膀胱壁を観察しながら粘膜層を狙って20か所程度に注射した。BOTについては、100単位を5mlの生理食塩水で溶解したものを、1部位あたり10単位、計200単位施注した。

治療前後には、排尿日誌による自覚的排尿状態の記録、尿水力学的検査装置による膀胱内圧と尿道内圧測定を行った。

## 4. 研究成果

### I) 上下肢麻痺に対する治療

#### A) 上肢麻痺に対するESとBOT治療

発症から1年以上経過した痙性片麻痺患者15名を、BOT単独治療群とESとの併用群の2群に分け(平均年齢:併用群52.2歳、単独

群 49.5 歳)、治療効果の比較検討を行った。MFS 平均値は、単独治療群で初回注射時 26.3%、注射後最大時 33.0%、終了時 31.2%、併用治療群で ES 開始前 37.5%、初回注射時 42.6%、注射後最大時 52.5%、終了時 50.1%となり、併用治療群では ES 開始前に比して経時的に有意に増加したが、単独治療群では有意な変化はみられなかった。TS はいずれの群でも、肘、手、手指の各関節とも注射毎に 1-2 か月で有意に減少したが、3 回の注射時のスコアは併用群で経時的に有意な減少がみられたものの、単独群では各回の間に差がなかった。肘と手関節の最大伸展角度は、併用群で注射後に増加したが、3 回の注射時の比較では差がなかった。

すなわち併用治療の場合、ES 単独でも麻痺側上肢機能には一定の改善がみられたが、BOT 投与後はさらに改善を示し、TS で示す痙縮の程度も段階的に減少した。動作解析でも肘関節と手関節の随意伸展角度に改善がみられた。一方 BOT の単独治療では、麻痺側上肢機能と最大伸展角度に変化がなく、痙縮は注射後 1-2 か月は減少するが 3 か月目にはほぼ注射前に戻っていた。ES と BOT の併用治療は、慢性期であっても麻痺上肢に一定の機能改善をもたらすことが明らかとなった。痙縮はボツリヌス単独治療でも軽減するが、長期間における麻痺上肢の機能回復と痙縮の軽減は、併用療法の場合にのみ得られる。

#### B) 下肢麻痺への ES と歩行訓練、BOT 治療

##### (1) 痙性麻痺患者に対する治療

痙性対麻痺 5 例、脳卒中後片麻痺 7 例の計 12 例に、ES を行い、うち 2 例には BOT の併用投与を行った。

1 回の ES により、刺激後の歩容は立脚期における麻痺側大腿直筋の活動量が減少し、麻痺側膝関節最大屈曲の増加を示した。これは、筋緊張低下の見られた麻痺筋とは異なり、ES が麻痺側下肢の関節運動に直接的な影響を及ぼした結果と考えられた。継続的な電気刺激の後には、関節運動範囲の増加は見られなかったが、歩行速度などの増加が見られた。これは、ES の継続が歩行の効率化をもたらしたことを示唆すると考えられた。

BOT の併用投与を行った 2 例では、自覚的な立ち上がりやすさが得られたが、歩容と筋電図には顕著な変化がみられず、歩行改善を目的とした BOT 治療では、投与方法等の再検討が必要と思われた。

##### (2) 痙性麻痺患者と筋緊張低下のある患者に対する治療・訓練

麻痺側下肢の筋緊張低下を示す脳卒中片麻痺患者 7 名を対象として、ES をしながらの歩行前後における 10m 歩行時の動作解析と表面筋電図を測定した。重心移動速度と非麻痺側膝関節角度変化、麻痺側の振り出し幅は刺激後に全例で有意に増加し、非麻痺側の立脚

時間は刺激後に全例で有意に減少した。歩行中の麻痺側・非麻痺側の筋電積分値は、麻痺側大腿四頭筋で刺激後に増加した。筋緊張低下のみられる片麻痺患者では、歩行中の麻痺側大腿四頭筋に対する持続的な ES が、膝伸展強化による立脚期の支持力向上を通じて、速やかな歩行機能の向上をもたらす可能性がある。

一方、独歩で 5m 以上の歩行が可能な脳卒中後の痙性片麻痺患者 12 名を対象として、麻痺側大腿直筋への ES を行い、3 次元歩行解析と下肢筋電図計測を行った。安静座位 5 分間の後、ES なしで歩行 5 分間、その後再び安静座位をとる「ES なし歩行」、安静座位での ES のみを 15 分間行う「安静 ES」、安静座位での ES 5 分間の後、ES しながらの歩行 5 分間を実施し、再び安静座位にて ES を 5 分間行う「歩行 ES」の 3 種類の介入を行った。ES なし歩行では、麻痺側膝関節最小屈曲角度の有意な増加、単脚支持期における非麻痺側大腿直筋の筋活動が介入後に有意に増加した。これは、麻痺側膝関節伸展が不十分なことをあらし、代償的に非麻痺側大腿直筋が活動したことが示唆された。安静 ES では、全ての歩行パラメータと下肢の筋活動に有意差はなかった。歩行 ES では、麻痺側膝関節最小屈曲角度は変化しなかったが、重心移動速度の有意な増加と重心 Z 方向最大変位の有意な減少が見られた。また、非麻痺側大腿直筋の遊脚期で、介入後に有意ではないものの増加する傾向を示した。ES なし歩行に比べて、麻痺側膝関節の支持性が向上した結果、振り出し時の非麻痺側大腿直筋の活動が増加し、非麻痺側下肢の振り出し増加による歩幅の増加とこれによる歩行の安定が示唆された。

ES が麻痺筋に与える影響は、筋緊張亢進の有無で異なる可能性があり、歩容改善を目的とした ES では、筋緊張の程度を考慮すべきであると考えられた。

#### C) 筋電駆動型電気刺激装置を用いた訓練手法の開発

LEMDES を、近位筋力の低下が著しく肩関節の運動時痛を有する脳卒中片麻痺 2 例の肩周囲筋に適用し、2 週間の訓練を実施したところ、いずれの例でも上肢機能の速やかな改善と肩関節痛の著明な軽減が得られた。通常のリハビリ訓練では、上肢機能にほとんど変化がなかったことから、短期間での機能改善の背景には、疼痛軽減の他に、刺激による筋機能促進があると考えられた。

さらに LEMDES を用いた歩行訓練を、独歩可能だが麻痺側足部の内反が顕著な 1 例と、同じく麻痺側足部の随意背屈が困難な 1 例に使用し、歩容に与える変化を検討した。前者では、麻痺側前脛骨筋からの筋電図導出による同筋への刺激によって、歩行中の著明な内反抑制が得られた。また後者では、健常側下

腿三頭筋から筋電図を導出し、これをトリガーとして麻痺側前脛骨筋に刺激を行ったところ、歩行中の尖足が消失した。

筋電図をトリガーとして ES を行う方式での訓練は、通常のリハビリ訓練のみでは機能改善が困難な患者の、上肢機能、歩行機能を改善する可能性がある。

D) ES とミラーセラピーの組み合わせ治療に関する検討

健常者 13 名で、一側手関節の持続的な背屈運動を行わせながら、対側前腕の伸展筋 (Ext) と屈曲筋 (Flex)、第一背側骨間筋 (FDI) から MEP を記録した。運動時に視覚入力を行った場合には、これを遮った場合に比べて Ext と FDI の MEP が増加し、視覚情報入力が一次運動野の賦活と運動イメージの形成に重要であることが示唆された。Ext については LEMDES による末梢 ES のみでも MEP は増加し、ES による固有感覚情報入力も、視覚と同様に一次運動野の賦活をもたらすものと考えられた。さらに LEMDES による刺激に視覚情報を組み合わせると MEP の増大はみられなくなったが、鏡像によって視覚情報を逆転させることで、再度 MEP は増大した。

視覚入力と固有感覚入力はいずれも大脳運動野の賦活に重要と言えるが、視覚の入力様式の差異は運動イメージの形成や運動野賦活に異なった影響を与えることが示唆された。特に、一側上肢の運動と対称的な形で対側に誘発された電気的な運動は、健常者にとっては視覚的に不自然であった可能性があり、鏡像が不自然な運動イメージを自然なものに矯正したことで、ES の促通効果が強まったと考えられた。

II) 中枢性疼痛・異常感覚に対する治療

BOT の単独治療による、異常感覚・疼痛の改善効果を検証するために、脳卒中発症後 6 か月以上が経過した後も、麻痺側上肢に高度のしびれや疼痛が残存する片麻痺患者 3 名について、麻痺上肢前腕に BOT を施注し、非施注部位 (非麻痺側前腕) と比較した。BOT の皮下投与 3 週間後に、末梢感覚神経機能を知覚神経自動検査システムによって検討したところ、感覚機能のスコアに改善がみられた。異常感覚・疼痛の改善は十分ではないものの、知覚神経自動検査システムによる感覚閾値は施注部位で正常化する傾向がみられた。

III) 神経因性膀胱に対する治療

多発性硬化症による神経因性膀胱患者 1 名と、外傷性脊髄損傷による神経因性膀胱患者 1 名に対して、まず仙骨部への ES を 3 か月以上施行し、その後 ES を中止して内視鏡下に膀胱粘膜および筋層へ BOT 200 単位を施注した。さらにその 3 か月後に再度 BOT 200 単位を施注し、同時に仙骨部への ES を再開した。

いずれの症例でも ES 単独の治療期間では、無抑制収縮による頻尿と尿失禁は消失には

至らなかったが、BOT 施注後には無抑制収縮、尿失禁いずれも消失する期間がみられた。また尿水力学的検査では膀胱容量の拡大を認めた。BOT と ES との併用でも無抑制収縮と尿失禁は消失し、膀胱容量も拡大したが、尿失禁を防止できる期間は BOT 単独治療時よりも併用時の方が長く、併用療法の方が有用性は高いと考えられた。

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 11 件)

1. Kazunori Seki, Motohiko Sato, Yasunobu Handa: Increase of muscle activities in hemiplegic lower extremity during driving a cycling wheelchair. *Tohoku J. Exp. Med.* 219: 129-138, 2009. (査読有)

2. Matsushita M, Nakasato N, Nakagawa H, Kanno A, Kaiho Y, Kawamorita N, Arai Y: Evoked magnetic fields as a tool to optimize therapeutic electrical stimulation of the sacral surface. *J Clin. Neurosci.* 16: 1330-1333, 2009. (査読有)

3. 鈴木佳代子, 関 和則, 半田康延: 治療的電気刺激による痙性麻痺者の歩容改善. *生体医工学* 47: 172-175, 2009. (査読有)

4. 中川晴夫, 海法康裕, 松下真史, 川守田直樹, 山下慎一, 荒井陽一: 難治性夜尿症に対する仙骨表面治療的電気刺激. *夜尿症研究*, 14: 71-75, 2009. (査読有)

5. Takemoto J, Nakagawa H, Arai Y et al.. Potentiation of potassium currents by beta-adrenoceptor agonists in human urinary bladder smooth muscle cells: a possible electrical mechanism of relaxation. *Pharmacology*, 81: 251-258, 2008. (査読有)

6. K. Seki, R. Futami, K. Sengoku, Y. Handa: Application of local EMG-Driven Electrical Stimulation to paretic shoulder muscle of the proximal dominant hemiplegics. *Biomed. Tech. (Suppl1)*, 53, 60-62, 2008. (査読有)

7. Chie Hirayama, Kazunori Seki, Haruo Nakagawa, Takahide Ogura, Yosuke Sasaki, Yasunobu Handa: Sacral surface electrical stimulation can control the contraction of prostatic smooth muscle. *Biomed. Tech. (Suppl1)*, 53: 69-70, 2008. (査読有)

8. Matsushita M, Nakagawa H, Arai Y et al.: Primary somatosensory evoked magnetic fields elicited by sacral surface electrical stimulation. *Neuroscience Letter*, 431: 77-80, 2007. (査読有)

他 3 件

[学会発表] (計 24 件)

1. Yuji Inagaki, Kazunori Seki, Takahide Ogura,

Takaaki Sekiya, Yasunobu Handa: Change of motor cortical excitability after EMG triggered FES combined with mirror therapy in healthy subjects. 14th Annual Conference of IFESS, 2009/17/Sep, Seoul.

2. Maiko TAKAHASHI, Kazunori SEKI, Takaaki SEKIYA, Atsuko FUJITA: Comparison of the effects of electrical stimulation and wearing a supporter on gait in the patients with knee osteoarthritis. 14th Annual Conference of IFESS, 2009/16/Sep, Seoul.

3. Nakagawa H, Kaiho Y, Namiki S, Ishidoya S, Saito S and Arai Y: Impact of Sacral surface therapeutic electrical stimulation on early recovery of urinary continence after radical retropubic prostatectomy. 9<sup>th</sup> World Congress of the International Neuromodulation Society, 2009/15/Sep, Seoul.

4. 稲垣 侑士, 関 和則, 半田 康延: 筋電駆動型電気刺激装置を用いた電氣的な運動と鏡像からの視覚入力が運動野興奮性に与える影響. 第 11 回日本電気生理運動学会、2009 年 11 月 7 日、京都.

5. K. Seki, R. Futami, K. Sengoku, Y. Handa: Application of local EMG-Driven Electrical Stimulation to paretic shoulder muscle of the proximal dominant hemiplegics. 13th Annual Conference of IFESS, 2008/24/Sep, Freiburg,

6. C. Hirayama, K. Seki, H. Nakagawa, T. Ogura, Y. Handa: Sacral Surface electrical stimulation can control the contraction of prostatic smooth muscle. 13th Annual Conference of IFESS, 2008/23/Sep, Freiburg.

7. K. Suzuki, K. Seki, Y. Handa: Gait analysis before and after electrical stimulation for the spastic paraplegic patients and hemiparetic stroke patients. XVIIth Congress of ISEK, 2008/21/June, Niagara falls.

8. Seki K, Mitsuhashi K, Suzuki K, Handa Y: Combination therapy of Botulinum toxin type A with therapeutic electrical stimulation for chronic spastic upper limb paralysis. 12th Annual Conference of IFESS, 2007/12/Nov, Philadelphia.

9. Mabumi Matsushita, Haruo Nakagawa, Yoichi Arai et.al.: Primary somatosensory evoked magnetic fields elicited by sacral surface electrical stimulation. Int. Society for the Advancement of Clinical Magneto-encephalography, 2007/27/Aug, Matsushima.

10. 関 和則、二見亮弘、半田康延: 局所筋電駆動型電気刺激装置を用いた回復期片麻痺症例に対する歩行中の足関節制御. 第 14 回日本FES研究会学術講演会、2007 年 12 月 2 日、岡山.

11. 関 和則、半田康延: 慢性期形成片麻痺上肢に対するボツリヌストキシンと治療的電気刺激の組み合わせ治療. 第 44 回日本リ

ハビリテーション医学会学術集会、2007 年 6 月 8 日、神戸.

12. Seki K, Xu R, Suzuki K and Handa Y: Use of continuous electrical stimulation as FET for gait exercise. 11th Annual Conference of IFESS, 2006/13/Sep, Zao.

他 12 件

〔図書〕 (計 1 件)

1. 中川晴夫: 男性腹圧性尿失禁に対する新しい治療法 in Highlight AUA. RichHill Medical Inc. pp22-23、2008.

〔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

6. 研究組織

(1) 研究代表者

関 和則 (SEKI KAZUNORI)

東北大学・大学院医学系研究科・准教授

研究者番号: 20206618

(2) 研究分担者

( )

研究者番号:

(3) 連携研究者

半田 康延 (HANDA YASUNOBU)

東北大学・大学院医学系研究科・名誉教授

研究者番号: 00111790

荒井 陽一 (ARAI YOICHI)

東北大学・大学院医学系研究科・教授

研究者番号: 50193058

中川 晴夫 (NAKAGAWA HARUO)

東北大学・大学院医学系研究科・講師

研究者番号: 80333574

小倉 隆英 (OGURA TAKAHIDE)

東北大学・大学院医学系研究科・助教

研究者番号: 10312688