幻肢痛治療の小経験

——幻肢運動を獲得することが奏功した症例, 幻肢を消すことが奏功した症例——

Two Cases of Successful Phantom Limb Pain Treatment: Acquisition of Phantom Limb Movement and Phantom Limb Removal

問田 純一¹⁾ 内藤 卓也^{1,2)} 平賀 勇貴¹⁾ 平川 善之¹⁾

JUNICHI TOITA, RPT¹⁾, TAKUYA NAITO, RPT^{1,2)}, YUKI HIRAGA, OTR¹⁾, YOSHIYUKI HIRAKAWA, RPT, PhD¹⁾

¹⁾ Department of Rehabilitation, Fukuoka Rehabilitation Hospital: 7-770 Nokata, Nishi-ku, Fukuoka-shi, Fukuoka 819-8551, Japan TEL +81 92-812-1555 E-mail: tony1004vs4001xxx@yahoo.co.jp

²⁾ Physical Therapy Section, Health Sciences Program, Health and Welfare Sciences Course, Graduate School of International University of Health and Welfare

Rigakuryoho Kagaku 32(4): 589-594, 2017. Submitted Jan. 26, 2017. Accepted Mar. 11, 2017.

ABSTRACT: [Purpose] Phantom limb pain varies with pain characteristics. We report here, the results obtained after various interventions applied in accordance with phantom limb pain characteristics. [Subjects and Methods] Patient A presented with deep pain resulting from a below-knee amputation, and patient B presented with superficial pain resulting from an above-elbow amputation. For patient A, the plan was to control the phantom limb pain using mirror therapy and voluntary movement intervention. For patient B, the plan was to eliminate the phantom limb itself by administering a sensory discrimination task to the stump. [Results] Patient A acquired voluntary phantom limb movement, accompanied by elimination of the phantom limb pain. Patient B had improved stump sensory function, which induced a change in the type of phantom limb, eliminating the phantom limb pain. [Conclusion] In the present cases, good results were obtained from different interventions applied in accordance with the phantom limb pain characteristics.

Key words: phantom limb pain, mirror therapy, sensory discrimination task

要旨:〔目的〕幻肢痛はその性質により病態が異なることが示唆されている。今回、異なる幻肢痛を呈した2症例に対して、幻肢痛の性質に応じて異なる介入を行った結果を報告する。〔対象と方法〕対象は下腿切断により自己受容感覚に関連する幻肢痛を呈した症例Aと上腕切断により皮膚受容感覚に関連する幻肢痛を呈した症例Bである。症例AにはMirror Therapyと幻肢の随意運動介入にて幻肢痛のコントロールを図り、症例Bには断端への感覚識別課題にて幻肢そのものの消失を図った。〔結果〕症例Aは幻肢の随意運動の獲得に伴い幻肢痛は消失した。症例Bは断端の感覚機能の改善に伴い幻肢の型が変化し、幻肢痛は消失した。〔結語〕今回の症例においては、幻肢痛の性質に応じて異なる介入を実施したことで、良好な結果が得られたと考える。

キーワード: 幻肢痛, Mirror Therapy, 感覚識別課題

¹⁾ 福岡リハビリテーション病院 リハビリテーション部: 福岡県福岡市西区野方7-770 (〒819-8551) TEL 092-812-1555

²⁾ 国際医療福祉大学大学院 保健医療学研究科 保健医療学専攻 理学療法分野

I. はじめに

幻肢痛は四肢切断後に生じる難治性疼痛であり、神経障害性疼痛に分類される。その発生機序として末梢神経系・中枢神経系における機能的・構造的変化の関与が考えられており、特に脊髄より上位のレベルにおける機能再構築が中心的役割を担うとされる¹⁾。機能再構築とは切断側と対側の一次体性感覚野（以下、S1）・一次運動野の体部位再現において切断部位に相当する領域が縮小し、その部位に隣接部位の体部位再現領域が侵入する現象であり^{2,3)}、この不適切な機能再構築が少ない程幻肢痛は少なく、幻肢の随意運動能力が高くなる³⁾。また、切断部位の運動を行おうとしても運動の結果がfeedbackされないことによる、運動の意図と感覚feedbackの不一致も幻肢痛の原因と考えられている¹⁾。

皮質の機能再構築、運動の意図と感覚feedbackの不一致に介入する手段の中で、簡便に実施できる方法として運動イメージ介入やMirror Therapy（以下、MT）により、幻肢の随意運動を獲得する方法があり^{2,4-6)}、本邦の理学療法診療ガイドラインにおいても幻肢運動介入は推奨されている⁷⁾。しかし、運動イメージ介入やMTにより幻肢痛が増悪するケースも報告されており^{5,6)}、最近のsystematic reviewでは幻肢痛に対する運動イメージ介入やMTは鎮痛効果を認めなかったと報告されている⁸⁾。以上より、これらの治療は幻肢痛に対する効果が十分に証明されておらず、適用を十分に吟味して実施する必要があると考える。

大塚の分類⁹⁾のように幻肢の大きさや形が変化し、徐々に断端に近づき、しばしば断端の中に消えていく現象はTelescoping現象として知られている。MTはTelescoping現象が生じて短くなった幻肢には効果を認めず、Telescoping現象を認めない実大型の幻肢には鎮痛効果を認めることが報告されている¹⁰⁾。また、MTに関してSumitaniら¹¹⁾は「押し潰されるような」、「捻じれるような」といった自己受容感覚に関連する幻肢痛（deep pain）に対しては効果を認めたが、「電撃が走るような」、「ビリビリする」といった皮膚受容感覚に関連する幻肢痛（superficial pain）には効果を認めなかったことを報告した。この結果からdeep painとsuperficial painは病態が異なり、deep painは運動の意図と感覚feedbackの不一致に由来するためMTが効果を示したと考察されている¹¹⁾。以上よりMTは実大型の幻肢を有し、かつdeep painを呈する症例が適応になると考える。

一方で、切断前の痛み経験と同様の痛みを訴える幻肢痛の多くはsuperficial painであり、superficial painは痛みの記憶に由来する可能性が示唆されている¹²⁾。切断前の長期的な痛み経験は痛み記憶を強化し、痛み経路の過興奮を引き起こし、S1の興奮性を高め、切断後の不適切な機能再構築を引き起こす¹³⁾。さらに、S1におい

て切断部位に侵入した隣接部位の活動は痛みをコード化するニューロンを活動させ幻肢痛を作り出すと考えられている¹³⁾。また、Telescoping現象もS1の機能再構築と関連する¹⁾。Katz¹²⁾は実大型の幻肢を有する症例は幻肢痛を伴っており、Telescoping現象により幻肢が短くなった断端嵌入型の幻肢を有する症例は幻肢痛を認めず、断端の2点識別覚の閾値が下がっていることから、断端の感覚機能を改善することによりTelescoping現象を促し、幻肢を消失させることで幻肢痛を改善できる可能性を述べている。この仮説を裏付けるように、大住ら¹⁴⁾は2症例による報告ではあるが、superficial painに対してS1の適切な機能再構築を図ることを目的とした断端への触圧覚識別課題にて幻肢が消失し、これに伴い幻肢痛も消失したことを報告した。また、Florら¹⁵⁾は断端に対して電気刺激の周波数と刺激部位を識別する課題により、S1の体部位再現の適切な機能再構築が生じ、幻肢痛が軽減したことを報告している。

以上のことから幻肢痛はdeep painとsuperficial painに分けて異なる対応を取る必要性が考えられるが、過去の報告から切断直後はsuperficial painの訴えが多く、切断後半年以内に痛みの性質が変化しdeep painの割合が増えてくることが明らかとなっている¹⁶⁾。一方で、実大型・遊離型の幻肢は義肢に投射することで、「血のかよった義肢」として幻肢をfeedback機構に利用でき、義肢の操作性が向上することから^{9,17)}、幻肢を消すことは義肢操作性の点では不利益になる場合もあるため、慎重な判断が求められる。どの治療法を選択するか、どのタイミングで治療介入するのかは苦慮するところである。

そこで今回、Sumitaniら¹¹⁾の分類により当初はsuperficial painと判断された下腿切断患者が、経過を追う中でdeep painへ性質が変化したため、運動の意図と感覚feedbackの不一致に介入を行い、superficial painを呈した上腕切断患者に対しては断端の感覚機能に介入を行った結果、幻肢痛の改善が得られたので以下に報告する。

II. 対象と方法

1. 対象

症例Aは50歳代の男性で、平成28年よりバージャー病により右足部の壊死が生じ、同年に他院にて右下腿切断術を施行し、継続加療目的で当院へ転院した。術後46日において幻肢痛は足首から爪先にかけて不規則に出現する発作性の「針で内側から刺すような痛み」をNumerical Rating Scale（以下、NRS）で6認めた。幻肢痛の出現頻度は日に20回であり、持続時間は約30～40秒程であった。この痛みはsuperficial painに分類され、その性質は術前と同様の痛みであり、幻肢痛が出現した時のみ実大型の幻肢を自覚した。断端に軽度の熱感と腫

脹を認め、断端痛は無く、断端周径は膝関節裂隙より遠位 10 cm のレベルにて 35.0 cm であった。膝関節可動域は自動運動にて伸展 -5° 、屈曲 145° であった。筋力は Manual Muscle Testing (以下、MMT) にて膝関節伸展 2、屈曲 4 であった。移動は車椅子見守りで、その他の日常生活動作は全て自立であった。前述のように deep pain かつ実大型の幻肢を有する症例は MT の適応となり^{10,11)}、MT により幻肢の随意運動が可能となれば義肢に投射することで義肢操作性が向上することから^{9,17)}、症例の同意のもと deep pain への性質変化が生じるか経過観察したところ、術後 61 日目より幻肢痛の訴えが「針で内側から刺すような痛み」から「押し潰されるような痛み」の deep pain に変化し、同時に幻肢の随意運動が可能となった。健側足関節にて幻肢運動の範囲を再現してもらったところ、背屈 5° から底屈 15° の範囲が随意運動可能であった。このことから MT の適応と判断し、術後 61 日目より MT と幻肢の随意運動介入を開始した。主治医の指示は非ステロイド抗炎症薬 (以下、NSAIDs) を 1 日に 2 回服用し、理学療法介入による鎮痛に合わせて減薬するようにとの指示であった。

症例 B は 50 歳代の男性で、平成 28 年にベルトコンベアに左上肢を挟まれて左前腕不全断裂となり、他院にて再接着術を行うも術後感染し、同年に左上腕切断術を施行した。術後 15 日目に継続加療目的で当院へ転院した。この時点で、断端密着型の幻肢を有しており、幻肢痛は左手背または手掌に常に存在する持続性の「痺れる痛み」を NRS で 3 認め、不規則に出現する発作性の「電気が走る痛み」を NRS で 6 認めた。この発作性の痛みの出現頻度は日に 10 回であり、持続時間は一瞬であったが、特に夜間に多く生じ、睡眠障害を呈していた。これら 2 つの幻肢痛は superficial pain に分類され、「痺れる痛み」は切断前と同様の痛みであった。また、断端が腫れぼったく感じると、発作性の痛みが出現する傾向にあった。断端に発赤、熱感、腫脹を認め、断端痛は運動時に NRS で 6 認めた。断端周径は腋窩より遠位 10 cm のレベルにて 30.5 cm であった。断端の 2 点識別覚は断端末から近位 5 cm のレベルにおいて断端前面で 40 mm、断端外側面で 85 mm であった。幻肢の随意運動は不可能であった。幻肢の運動イメージを評価する方法として両手協調運動課題 (Bimanual circle-line coordination task: 以下、BCT)¹⁸⁾ を実施した。これは健側上肢で直線を描き、幻肢で円を描く課題である。幻肢の随意運動が可能な症例は、幻肢の円運動による干渉作用で健側上肢の直線が楕円に近づく現象が生じる。この干渉作用を受けずに直線に近い程、幻肢痛が強くなる¹⁸⁾。測定は Osumi ら¹⁸⁾ の方法に順じて閉眼にて健側上肢で縦線のみを描く課題を 20 秒間実施し (片手課題)、次に閉眼にて健側上肢で縦線を、幻肢で円を描く課題を 20 秒間実施した (両手課題)。その結果、片手課題に比して両

手課題で直線が楕円に近づく干渉作用は認めなかったため、幻肢の運動イメージ想起能力は乏しいものと判断した (図 1a, b)。肩関節可動域は自動運動にて屈曲 80° 、外転 65° であった。筋力は MMT にて肩関節屈曲 2、外転 2 であった。日常生活動作は洗体のみ介助を要した。以上の評価より Telescoping 現象を認め、切断前と同様の superficial pain を呈し、断端の 2 点識別覚が低下しており、幻肢運動の表象が乏しいこと、さらに、切断側は非利き手のため精緻な義手の操作性は求められないことから、Katz¹²⁾ の仮説に基づき、S1 の適切な機能再構築を目的とした断端の感覚識別課題により Telescoping 現象を促し、幻肢を消すことで幻肢痛の改善を図ることが有益と考えた。症例 B は夜間不眠による精神的苦痛から早期の幻肢痛治療を望んだため、ベースラインは設けずに術後 16 日より幻肢痛への治療を開始した。主治医より断端痛に対して経皮吸収型鎮痛消炎剤、幻肢痛に対して坐薬が処方されていたが、症例の判断で坐薬は使用していなかった。

なお、本論文発表は当院の倫理委員会の承認を得て行った (承認番号: FRH2016-R-035)。また、対象者には本発表の目的・内容を十分に説明し同意を得た。

2. 方法

症例 A は術後 46 日から術後 60 日までをベースラインとし、断端管理、関節可動域練習、筋力増強運動を実施した。術後 61 日から術後 70 日までは前述の治療に加えて、MT と幻肢の随意運動介入を実施し、術後 71 日から術後 74 日まではこれらに加えて義足歩行練習を 1 日 20~30 分実施した。MT は、端座位にてあたかも健側下肢が切断側下肢の様に見えるように両下肢の間に

図 1 両手協調運動課題の結果

a: 術後 15 日 (片手課題), b: 術後 15 日 (両手課題),
c: 術後 46 日 (片手課題), d: 術後 46 日 (両手課題)。

鏡を設置し、鏡に映った健側下肢の視覚像を切断側下肢の様に思いながら足関節の底背屈運動、足趾の屈伸運動を自動で1日15分実施した。また、日常生活で幻肢痛が出現した際は幻肢足関節の底背屈運動、足趾の屈伸運動を行うことで幻肢痛をコントロールするように指導した。

症例Bの感覚識別課題は触圧覚の識別課題と接触部位の識別課題を術後16日より1日20～30分実施した。触圧覚の識別課題は座位にて患側肩関節の自動屈曲・伸展・内転・外転運動により断端で5つの固さの異なるクッションに接触し、硬度の違いを識別する課題とした(図2a)。接触部位の識別課題はMoseleyら¹⁹⁾の方法を参考に断端を6分割した絵を用いて、症例は仰臥位にて断端が見えない状態でセラピストが示指で断端に接触刺激を与え、どの部位を刺激しているか症例に判断を求める課題である。1か所の接触部位の識別から始めて、正答率の向上に合わせて2か所の接触部位の識別を行った(図2b)。なお、通常の断端管理、関節可動域練習、筋力増強運動も実施した。

III. 結 果

症例Aの幻肢痛、NSAIDsの1日の服薬回数の推移を表1に示す。MT開始後より発作性の痛みには改善を認め、その出現頻度も減っていった。MT開始初日から鏡に映った健肢の運動像をあたかも切断肢の運動のように感じる運動主体感が出現し、幻肢の随意運動範囲が拡大していった。そして、幻肢痛出現時には幻肢の随意運動により幻肢痛の改善が得られた。術後74日に幻肢痛は消失し、NSAIDsも服薬しなくなった。この時点で、痛みを伴わない実大型の幻肢を有しており、幻肢の運動範囲を健側足関節にて再現してもらったところ、背屈10°から底屈50°の運動が可能であった。介入前(術後46日)と介入後(術後74日)を比較すると断端周径は35.0 cmから34.5 cmと著変なかった。膝関節可動域は

自動運動にて伸展-5°から0°へ改善し、屈曲は145°のままであった。MMTは膝関節伸展2から4へ改善し、屈曲は4のままであった。移動は車椅子見守りから自立となり、訓練時のみ両松葉杖による義足歩行を行っていた。その他の日常生活動作は全て自立のままであった。

症例Bの幻肢、幻肢痛、2点識別覚の推移を表2に示す。術後21日には幻肢は痕跡型へと変化し、発作性の痛みはNRSで4へ改善し、出現頻度も減少した。術後28日には幻肢は断端嵌入型へ変化し、発作性の痛みはNRSで2へ改善し、2点識別覚は断端外側面で38 mmへと改善を認めた。術後35日に発作性の痛みはNRSで5へ増悪したが、これは過度な自主練習で断端痛が憎悪したことが影響したと思われる。2点識別覚は断端外側面で10 mmへと改善を認めた。術後46日に幻肢痛は消失し、断端嵌入型の幻肢は僅かな痺れを認めたが、1日の1/3は幻肢そのものが消失した状態となった。断端の2点識別覚は断端前面、外側面共に4 mmへと改善を認めた。介入前(術後15日)と介入後(術後46日)を比較すると断端痛はNRSで6から0に改善し、断端周径は30.5 cmから26.4 cmと改善した。BCTでは介入前と同様に干渉作用は認めなかった(図1c, d)。肩関節可動域は自動運動にて屈曲80°から110°へ、外転65°から90°へ改善を認め、MMTは肩関節屈曲2から4へ、外転2から4へ改善を認めた。日常生活動作は洗体のみ一部介助のままであった。

IV. 考 察

今回、deep painを呈した下腿切断患者に対して断端管理、運動療法、義足練習に加えて、MTと幻肢の随意運動介入により幻肢の随意運動を獲得したことで幻肢痛の改善が得られた。また、superficial painを呈した上腕切断患者に対して断端管理、運動療法に加えて断端の感覚識別課題にてTelescoping現象を促進させることで幻

図2 症例Bへの感覚識別課題

a: 触圧覚の識別課題, b: 接触部位の識別課題.

表 1 症例 A の幻肢痛, Non-Steroidal Anti-Inflammatory Drugs (NSAIDs) の服薬回数の推移

	ベースライン			Mirror Therapy (MT)		MT+ 義足練習	
	術後 46 日	術後 51 日	術後 56 日	術後 61 日	術後 66 日	術後 71 日	術後 74 日
幻肢痛の性質	superficial pain			deep pain		deep pain	
発作性の痛み (NRS)	6	5.5	6	4	2	1	0
出現頻度 (回/日)	20	18	19	13	5	1	0
NSAIDs 服薬回数	2	2	2	2	2	1	0

NRS : Numerical Rating Scale.

表 2 症例 B の幻肢, 幻肢痛, 2 点識別覚の推移

	術後 15 日	術後 21 日	術後 28 日	術後 35 日	術後 42 日	術後 46 日
大塚の分類	断端密着型	痕跡型	断端嵌入型	断端嵌入型	断端嵌入型	断端嵌入型
持続性の痛み (NRS)	3	2	2	3	1	0
発作性の痛み (NRS)	6	4	2	5	2	0
出現頻度 (回/日)	10	3	3	2	1	0
2 点識別覚 断端前面 (mm)	40	50	40	34	10	4
2 点識別覚 断端外側面 (mm)	85	71	38	10	2	4

略称は表 1 と同様.

肢痛の改善が得られた.

症例 A は, 当初は切断前と同様の superficial pain を訴えていたが, 経過と共に deep pain を訴えるようになった. 詳細なメカニズムは不明ではあるが, deep pain を呈していたことから, この時点においては運動の意図と感覚 feedback の不一致に由来するものである可能性が高いと考え, これを改善するために MT にて幻肢の随意運動の獲得を図った. ベースラインに比して MT 開始後は幻肢痛の強度, 出現頻度の改善を認めた (表 1). このことから運動療法や NSAIDs が鎮痛に関連した可能性は低いと考える. 術後 71 日より義足練習を開始したが, 義肢による幻肢痛の鎮痛効果は 1 日の義肢使用時間が 8 時間以上の症例に認めるため²⁰⁾, 症例 A において義足練習の 20~30 分のみの義足使用で鎮痛効果を発揮した可能性は低いと考える. 以上より自然治癒の可能性は否定できないが, MT と幻肢随意運動介入が鎮痛効果を示した可能性が高いと考える. 運動の意図と感覚 feedback の不一致が起きると運動主体感が低下し, 下頭頂小葉の活動増加が生じる²¹⁾. Foell ら¹⁰⁾ は幻肢痛に対する MT の鎮痛メカニズムに関して, S1 の不適切な機能再構築の改善と MT 中の下頭頂小葉の活動減少が鎮痛効果に関連することを明らかにし, 鏡に映った健肢の運動像があたかも切断肢の運動のように感じる運動主体感が生成されることで, 下頭頂小葉の活動減少が生じたと考察している. 本症例は MT 開始初日から鏡に映った健肢に運動主体感を感じていたことから, MT が中枢神経系に何らかの作用して幻肢痛の改善が得られた可能性が考えられる.

症例 B は断端に対する感覚識別課題により, Telescoping 現象を促すことで幻肢を消失させるように介入した. その結果, 断端の 2 点識別覚の改善に伴い, Telescoping 現象は促進し幻肢痛は消失した (表 2). 症例 B は断端が腫れぼったく感じるものが幻肢痛の誘発因子となっていた. 断端痛は幻肢痛に影響することが報告されている²²⁾. 介入後に断端痛が NRS で 6 から 0 へ改善したこと, 断端周径が 30.5 cm から 26.4 cm と腫脹の改善を認めたことから, 自然治癒に加えて断端管理, 運動療法による血液循環の改善, 経皮吸収型鎮痛消炎剤の使用により断端の炎症症状が改善したことも幻肢痛改善に関連したと考える. 過去の報告では上肢切断患者の 2 点識別覚閾値は 23.7 ± 19.8 mm であり²²⁾, 本症例の介入後の 2 点識別覚閾値は 4 mm とこれを大きく下回ることから, 感覚識別課題が断端の感覚機能に影響を与えた可能性が考えられる. Flor ら¹⁵⁾ は断端への感覚識別課題により S1 の不適切な機能再構築, 2 点識別覚と幻肢痛の改善が得られたことを報告し, 感覚識別能力と幻肢痛の改善, S1 の機能再構築は有意な相関関係にあることを明らかにした. このことから感覚識別課題による断端感覚機能の改善が中枢神経系に何らかの影響を与え, 幻肢痛の改善が得られた可能性も考えられる.

幻肢痛は deep pain と superficial pain で異なる病態を有していると考えられていることから, 今回は幻肢痛の性質変化の有無を観察し, 幻肢痛の性質, 幻肢の型, 幻肢の随意運動能力を詳細に評価して介入することで, 良好な結果が得られたと考える. 今回は脳画像解析を行っていないため, 症例の幻肢痛や鎮痛のメカニズムは筆者

の憶測の域に過ぎない。また、症例 A については幻肢の運動イメージ想起能力、MT 中の運動主体感の強度を評価できていないこと、症例 B についてはベースラインを設定していないこと、感覚識別課題の刺激強度や回数が正確に規定されていないことが反省点として挙げられる。

引用文献

- 1) Flor H, Nikolajsen L, Staehelin Jensen T: Phantom limb pain: A case of maladaptive CNS plasticity? *Nat Rev Neurosci*, 2006, 7: 873-881.
- 2) MacIver K, Lloyd DM, Kelly S, et al.: Phantom limb pain, cortical reorganization and the therapeutic effect of mental imagery. *Brain*, 2008, 131: 2181-2191.
- 3) Raffin E, Richard N, Giroux P, et al.: Primary motor cortex changes after amputation correlate with phantom limb pain and the ability to move the phantom limb. *Neuroimage*, 2016, 130: 134-144.
- 4) Brunelli S, Morone G, Iosa M, et al.: Efficacy of progressive muscle relaxation, mental imagery, and phantom exercise training on phantom limb: A randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil*, 2015, 96: 181-187.
- 5) Beaumont G, Mercier C, Michon PE, et al.: Decreasing phantom limb pain through observation of action and imagery: A case series. *Pain Med*, 2011, 12: 289-299.
- 6) Barbin J, Seetha V, Casillas JM, et al.: The effects of mirror therapy on pain and motor control of phantom limb in amputees: A systematic review. *Ann Phys Rehabil Med*, 2016, 59: 270-275.
- 7) 大峰三郎: 下肢切断—理学療法診療ガイドライン. 理学療法科学, 2015, 42: 296-304.
- 8) Thieme H, Morkisch N, Rietz C, et al.: The efficacy of movement representation techniques for treatment of limb pain—A systematic review and meta-analysis. *J Pain*, 2016, 17: 167-180.
- 9) 大塚哲也: 四肢切断者の幻肢と幻肢痛. PO アカデミージャーナル, 1996, 7: 161-177.
- 10) Foell J, Bekrater-Bodmann R, Diers M, et al.: Mirror therapy for phantom limb pain: Brain changes and the role of body representation. *Eur J Pain*, 2014, 18: 729-739.
- 11) Sumitani M, Miyauchi S, McCabe CS, et al.: Mirror visual feedback alleviates deafferentation pain, depending on qualitative aspects of the pain: A preliminary report. *Rheumatology (Oxford)*, 2008, 47: 1038-1043.
- 12) Katz J: Psychophysiological contributions to phantom limbs. *Can J Psychiatry*, 1992, 37: 282-298.
- 13) Flor H: Phantom-limb pain: Characteristics, causes, and treatment. *Lancet Neurol*, 2002, 1: 182-189.
- 14) 大住倫弘, 草場正彦, 植田耕造・他: 皮膚受容感覚に関連する幻肢痛に対しての触圧識別課題による早期介入. 理学療法科学, 2012, 27: 599-602.
- 15) Flor H, Denke C, Schaefer M, et al.: Effect of sensory discrimination training on cortical reorganisation and phantom limb pain. *Lancet*, 2001, 357: 1763-1764.
- 16) Jensen TS, Krebs B, Nielsen J, et al.: Phantom limb, phantom pain and stump pain in amputees during the first 6 months following limb amputation. *Pain*, 1983, 17: 243-256.
- 17) 塚本芳久: 作業用義手使用者における感覚の投射. リハビリテーション医学, 1997, 34: 425-427.
- 18) Osumi M, Sumitani M, Wake N, et al.: Structured movement representations of a phantom limb associated with phantom limb pain. *Neurosci Lett*, 2015, 605: 7-11.
- 19) Moseley GL, Zalucki NM, Wiech K: Tactile discrimination, but not tactile stimulation alone, reduces chronic limb pain. *Pain*, 2008, 137: 600-608.
- 20) Lotze M, Grodd W, Birbaumer N, et al.: Does use of a myoelectric prosthesis prevent cortical reorganization and phantom limb pain? *Nat Neurosci*, 1999, 2: 501-502.
- 21) Farrer C, Franck N, Georgieff N, et al.: Modulating the experience of agency: A positron emission tomography study. *Neuroimage*, 2003, 18: 324-333.
- 22) Grüsser SM, Winter C, Mühlhnickel W, et al.: The relationship of perceptual phenomena and cortical reorganization in upper extremity amputees. *Neuroscience*, 2001, 102: 263-272.