

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 5 日現在

機関番号：16102

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21500544

研究課題名（和文）カフ圧による上肢または下肢虚血時の身体図式の知覚変化

研究課題名（英文）Perceptual changes in the body schema during ischemic anesthesia of the upper or lower extremity

研究代表者

乾 信之（INUI NOBUYUKI）

鳴門教育大学・大学院学校教育研究科・教授

研究者番号：30144009

研究成果の概要（和文）：正確な運動を計画し、遂行するために、我々は四肢の位置情報が必要である。もし事故または局所麻酔によって、四肢からの感覚入力なくなると、幻肢が生じる。本研究は幻肢のメカニズムの研究を通して身体イメージの系統的な変化を把握するために、上腕部と大腿部にカフ圧を加え、手と足を実験的な幻肢にした。驚いたことに、手指、手首、肘、足首、膝を止血前と止血中に伸ばして固定すると、それらは止血終了時点で曲がって知覚された。対照的に、それらを止血前と止血中に曲げて固定すると、止血終了時点で伸びて知覚された。したがって、幻肢の最終的な姿勢は感覚入力遮断される直前の姿勢に依存していた。

研究成果の概要（英文）：Even when the hand is stationary we know its position. This information is needed by the brain to plan movements. If the sensory input from a limb is removed through an accident, or an experiment with local anesthesia, then a 'phantom' limb commonly develops. We used ischemic anesthesia of one arm or thigh to study the mechanisms which define the phantom limb. Surprisingly, if the fingers, wrist, elbow, ankle, or knee are extended before and during anesthesia, the perceived phantom becomes flexed at the fingers, wrist, elbow, ankle, or knee, but if they are flexed before and during anesthesia, the final phantom is extended. The final perceived posture may depend on the initial and evolving sensory input during the block. But when the hand was held in the mid-position before and during the anesthesia, the position of the wrist was perceived to be in the same position. Hence, the fully flexed or extended position of a limb was essential for systematic changes in the perceived posture of the limb during the anesthesia. Because the start of these changes occurred as somatosensory inputs were declining, the changes depended on the fading inputs from strongly stretched muscle and skin during the anesthesia.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2011年度	100,000	30,000	130,000
年度			
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学・身体教育学

キーワード：身体図式、関節角度、末梢神経、触覚、運動制御

1. 研究開始当初の背景

自分自身の四肢を知覚して動かすためには脳の身体イメージが必要であり、この身体イメージは感覚入力によって絶えず更新されている (Maravita, 2006; Schwoebel and Coslett, 2005)。このような表象は意識経験の根底に存在し (James, 1892)、多くの知覚-運動過程においてダイナミックな変化をもたらしている (Iriki et al., 1996; Kito et al., 2006)。従来、四肢の位置の錯覚は実際の感覚刺激の変化と幻肢の形成に基づいている。例えば、腱に振動を与えると、筋紡錘の求心性発射が増加し、実際の関節位置が動いたように知覚される (Goodwin et al., 1972)。この錯覚は実際の感覚入力の変化に基づいている。一方、幻肢はもともと事故で四肢を失ったヒトによって知覚されるものであるが (Ramachandran and Hirstein, 1998)、幻肢とはある身体部位からの感覚入力がない時に知覚されるその身体部位を意味すると解釈し (Gandevia et al., 2006)、局所麻酔 (Melzack and Bromage, 1973; Gandevia and Phegan, 1999; Paqueron et al., 2003) と止血 (Gross and Melzack, 1978; Gandevia et al., 2006; Walsh et al., 2010) によって実験的に幻肢を作ることできる。そして、幻肢はよく習慣的な姿勢をとったり、自発的に姿勢変換することが知られている (Ramachandran and Hirstein, 1998)。しかしながら、幻肢という術語を定義することはむずかしく、神経科学とその関連分野において曖昧に用いられている。さらに、幻肢を形成する中枢のメカニズムは十分に理解されていない。

2. 研究の目的

(1) 止血前と止血中の手の姿勢がその幻肢の姿勢に系統的に影響するかどうかを検

討するために、手指と手首を十分に伸展または屈曲して固定し、止血の進行に伴う姿勢変化を追跡した。(2) 止血前と止血中の足の姿勢がその幻肢の姿勢変化に系統的に影響するかどうかを検討するために、足首と膝を十分に伸展または屈曲して固定し、止血の進行に伴う姿勢変化を追跡した。(3) 止血の進行につれて、手の大きさが増大して知覚されるかどうかを検討した。(4) 手指、手首、肘、足首、膝を十分に伸展または屈曲して固定すると、止血の進行に伴って各関節は逆方向に動くように知覚されたので、手首を中間位に固定すると、どのようにその知覚変化が生じるかを検討した。

3. 研究の方法

(1) 被験者

各実験に参加した被験者は 10 名の健康な大学生男子である (年齢 20-25 歳)。すべての被験者から実験に関する同意書を得た。また、この研究は鳴門教育大学の臨床研究倫理委員会から承認を得た。

(2) 手続き

研究 1: 実験開始前 10 分間と実験中の手指と手首が屈曲位または伸展位に固定され、屈曲位と伸展位の実験は別々の日に行った。実験中、被験者の右上腕部にカフ圧 (250 mmHg, ATS 750, Zimmer, Dover, OH, USA) を加え、肘の触覚と痛覚がなくなるまで圧を加えた (約 40 分間)。この時点で被験者の運動は消失している。被験者が閉眼の状態、von Frey test による触覚の閾値テスト、木綿のカーゼによる触覚検査は拇指、手首、肘で行われ、指の摘みによる痛覚検査は拇指と肘で行われた。次に、被験者は開眼し、右の手と前腕を紙箱で隠されたまま、関節が動く手の木製モデルを用い、指

と手首の関節角度の知覚変化を再生した。その後、手のモデルの写真撮影を行い、食指の遠位と近位の指節間関節、中手指節関節、手首の関節角度を計測した。次に幻肢の姿勢変化が感覚入力遮断の直前の姿勢に依存しているかどうかを検討するために、実験開始前 10 分間は手指と手首を屈曲位に固定したが、実験開始直前に伸展位に変換して実験を行った。触覚検査、痛覚検査、知覚の再生は 5 分の周期で行った。

研究 2: 研究 1 と同様な実験を下肢で行い、右大腿部にカフ圧を加え、ゴニオメータ (DKH, 東京) を付けた左足で右の足首と膝の知覚変化を示した。感覚検査は足の親指、足首、膝で研究 1 と同様な方法で行われた。

研究 3: 右上腕部に 40 分間のカフ圧を加え、その間の手の大きさを評価するために、大きさの異なる (80-180%) 手のテンプレートの中から、手の大きさの知覚に一致したものを選択させた。被験者は閉眼の状態、拇指、手首、肘での温覚、冷覚、痛覚、触覚の検査が行われた後、開眼して右の手と前腕を紙箱で隠されたまま、手の大きさの知覚に一致したテンプレートを選択した。その際、5 枚のテンプレートの用紙から 3 枚がランダムに提示され、被験者は 3 回の選択を行った。

研究 4: 研究 1 と同様な実験を手首と肘で行い、右上腕部にカフ圧を加え、ゴニオメータを付けた左腕で右の手首と肘の知覚変化を示した。次に実験開始前と実験中の肘は十分な伸展位に固定されたが、手首は中間位に固定された。感覚検査は研究 1 と同様な方法で行われた。

4. 研究成果

研究 1: 皮膚と固有感覚の受容器に関係する大径有髄線維の麻痺に対応して (図 1), 手指と手首の関節の知覚が徐々に変化し、伸展位に固定した時の関節の知覚は屈曲位の方へ変化し、屈曲位に固定した時のそれは伸展位の方へ変化した (図 2, 3)。この結果は幻肢の形成に次のような新たな知見を加えた。第一に、幻肢の最終的な姿勢は感覚入力遮断される直前の姿勢に依存した。第二に、解剖学的に正常な姿勢の幻肢を知覚した。第三に、幻肢の知覚変化は現実の姿勢から幻肢の姿勢へ連続的に変化した。

研究 2: 実験 1 と同様に、大径有髄線維の麻痺に対応して、足首と膝の関節の知覚が徐々に変化し、伸展位に固定した時の関節の知覚は屈曲位の方へ変化し、屈曲位に固定した時のそれは伸展位の方へ変化した (図 4)。

研究 3: カフ圧後、知覚された手の大きさは徐々に増大し、カフ圧 35 分後までに 34% の増加率に達した (図 5)。大径神経線維に対応する触覚の von Frey 閾値は拇指でカフ圧 10 分後から増加し始め、小径神経線維に対応する冷覚はカフ圧 15 分後から低下し始め、実験終了まで低下し続けた。従来、身体部位の大きさの知覚は小径神経線維の麻痺の程度に対応するといわれていたが、大径神経線維の麻痺も加わっていることが判明した。

研究 4: 大径有髄線維の麻痺に対応して、手首と肘の関節の知覚はカフ圧後 5 分と 10 分から変化し始め、伸展位に固定した関節の知覚は屈曲位の方へ変化し (図 6A), 屈曲位に固定した時は伸展位へ変化した (図 6B)。したがって、腕からの体性感覚入力部分的にしか遮断されない時でも、肘関節変位の知覚が系統的に変化した。実験前からカフ圧後

の各時点の知覚変化量を算出して分析した結果、その知覚変化は肘よりも手首の方が大きく、末梢神経の麻痺の程度を反映していた。さらに、屈曲位の開始よりも伸展位の開始の方が大きな知覚変化を示し、研究1の手指の結果と同様であり、固有受容器の方向に対する感受性を示唆した。

次に実験開始前と実験中の肘は十分な伸展位に固定されたが、手首は中間位に固定された時、肘は伸展位から屈曲位へ動くように知覚されたが、手首の知覚は変化しなかった(図 6C)。手首が中間位に固定された時、屈筋と伸筋からの求心入力に平衡状態にあり、入力が減少してもその平衡を保持している。対照的に、極端な姿勢の時、一方の入力が高く、他方の入力が低いので、求心入力の減少に伴って、高い入力の方が主として変化する。結果として、極端姿勢をとった場合、高い入力の減少によって反対方向に姿勢が知覚されると考えられる。従来、四肢のないヒトに生じる幻肢は小径無髄神経からの入力の消失により、大脳感覚運動皮質の再組織化が起こると考えられている。しかし、本研究は大径有髄線維からの入力の消失により、短期的な皮質の再組織化が起こり、関節の知覚変化を生じたと考えられる。

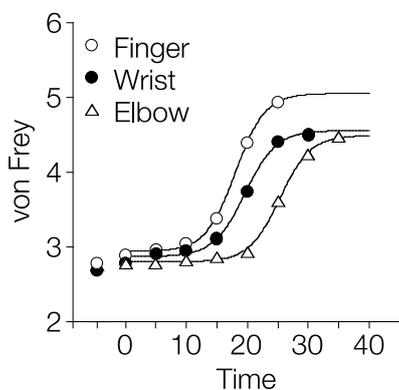


図 1: von Frey テストの閾値変化。3 部位の閾値変化はS 字状曲線に適合した。指, 手首, 肘の順番に閾値が高まった。

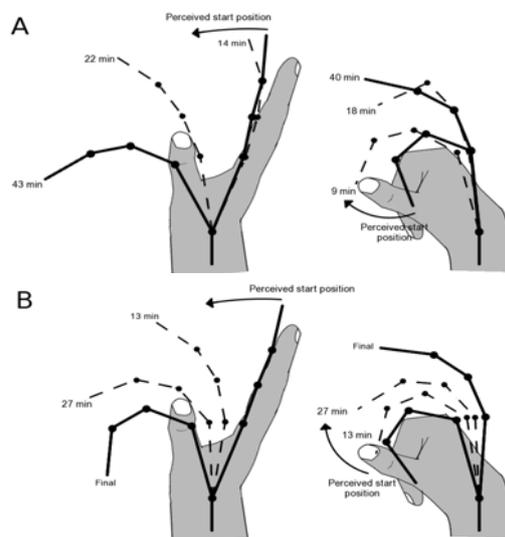


図 2: 止血の進行に伴う手の姿勢の知覚変化。手の絵は実際の手の姿勢を示し、実線と破線は知覚変化を示す。矢印は知覚変化の方向を示す。A:最も知覚変化した被験者の結果。左側は伸展位から屈曲位への知覚変化を示し、右側は屈曲位から伸展位への知覚変化を示す。B:10名の被験者の平均値。

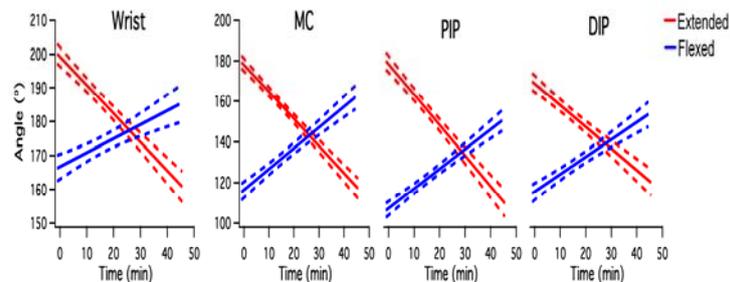


図 3：止血の進行に伴う手の姿勢の知覚変化の単回帰直線（MC：中手指節関節，PIP：近位の指節間関節，DIP：遠位の指節間関節）。実線は 10 名の被験者からの平均値を示すが、破線は 95%の信頼区間を示す。

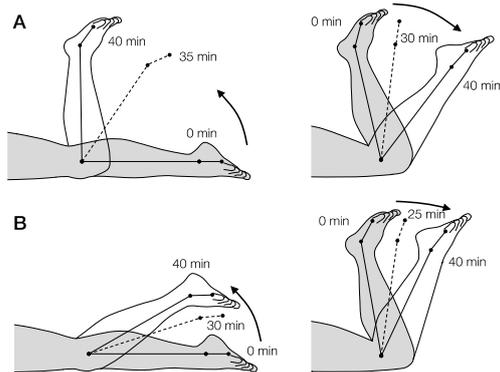


図 4：止血の進行に伴う足の姿勢の知覚変化。影の足は実際の脚の姿勢を示し、白の足は知覚変化を示す。A：最も知覚変化した被験者の結果。左側は伸展位から屈曲位への知覚変化を示し、右側は屈曲位から伸展位への知覚変化を示す。B：10 名の被験者の平均値。

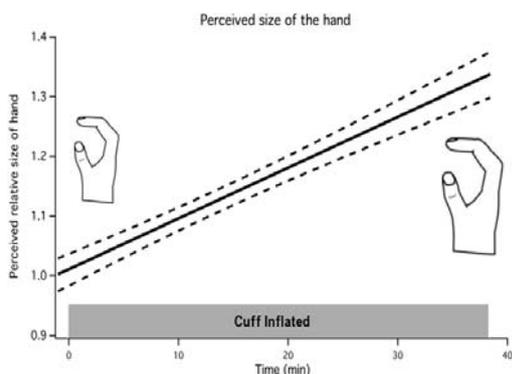


図 5：止血に伴う手の大きさの知覚変化の単回帰直線。実線は 10 名の被験者からの平均値を示す。破線は 95%の信頼区間を示す。

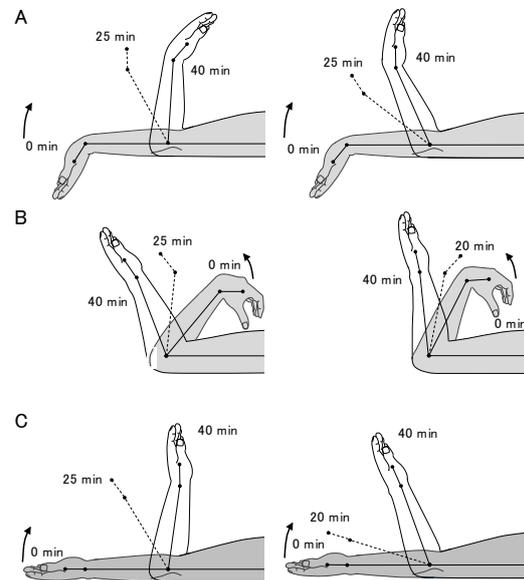


図 6：止血の進行に伴う手と腕の姿勢の知覚変化。影の腕は実際の腕の姿勢を示し、白の腕は知覚変化を示す。実線と破線も知覚変化を示す。矢印は知覚変化の方向を示す。A：伸展位から屈曲位への知覚変化。左側は最も知覚変化した被験者の結果を示し、右側は 10 名の平均値を示す。B：屈曲位から伸展位への知覚変化。C：伸展位の肘と中間位の手首の知覚変化。

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 Inui N, Masumoto J, Ueda Y, Ide K (2012) Systematic changes in the perceived posture of the wrist and elbow during formation of a phantom hand and arm, *Experimental Brain Research*, 218, 487-494, 査読有.

②乾 信之, 升本絢也, 上田裕貴, 別府堯明 (2012) カフ圧による上肢虚血時の肘と手首の姿勢の知覚変化, *鳴門教育大学研究紀要*, 27, 330-337, 査読無.

③Inui N, Walsh LD, Taylor JN, Gandevia SC (2011) Dynamic changes in the perceived posture of the hand during ischaemic anaesthesia of the arm, *Journal of Physiology*, 589, 5775-5784, 査読有.

④Inui N (2011) Acute change of the human body image produced by the pressure-cuff ischemia of the upper arm, *Journal of Physiological Sciences*, 61, S132, 査読有.

⑤乾 信之 (2011) カフ圧による上肢虚血時の手の大きさの急激な知覚変化, *鳴門教育大学研究紀要*, 26, 305-311, 査読無.
<http://www.naruto-u.ac.jp/repository/metadata/366>

⑥乾 信之, 升本絢也 (2010) カフ圧による上肢虚血時の身体イメージの急激な変化, *鳴門教育大学研究紀要*, 25, 338-346, 査読無.
<http://www.naruto-u.ac.jp/repository/metadata/342>

[学会発表] (計 7 件)

①乾 信之, カフ圧による上肢虚血時の肘と手首の系統的知覚変化, 第38回日本スポーツ心理学会, 2011年10月9日, 日本大学 (東京都).

②乾 信之, カフ圧による上肢虚血時の幻肢の関節角度変化, 第34回日本神経科学大会, 2011年9月16日, パシフィコ横浜 (横浜市).

③乾 信之, カフ圧による上肢虚血時の肘と手首の姿勢の知覚変化, 第19回日本運動生理学会, 2011年8月25日, 徳島大学 (徳島市).

④ Inui N, Factors affecting body representation of the hand, The 2011 meeting of the Experimental Psychology Society, January 5, 2011, University College London (London, UK).

⑤乾 信之, カフ圧による上肢虚血時の手の大きさの急激な知覚変化, 日本スポーツ心

理学会第37回大会, 2010年11月20日, 福山大学 (福山市).

⑥乾 信之, カフ圧による上肢虚血時の身体イメージの急激な変化, 第36回日本スポーツ心理学会, 2009年11月21日, 首都大学東京 (東京都).

⑦乾 信之, カフ圧による上肢虚血時の手の大きさの知覚変化, 第64回日本体力医学会大会, 2009年9月19日, 朱鷺メッセ新潟コンベンションセンター (新潟市).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

乾 信之 (INUI NOBUYUKI)

鳴門教育大学・大学院学校教育研究科・教授
研究者番号: 30144009

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: