

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 29 日現在

機関番号：16102

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500679

研究課題名(和文) 系統的な身体イメージの変化を引き起こす感覚入力の分析

研究課題名(英文) Analysis of sensory inputs following systematic changes in body image

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：身体イメージを構成している筋感覚と視覚を操作し、それらの感覚が身体イメージに与える働きを検討した。1) 手首と肘が逆方向に固定され、カフ圧を加えると筋感覚が消失し、手首と肘の知覚は別々に逆方向へ変化した。2) 足首と膝を伸展位または屈曲位に固定し、カフ圧を加えると、その関節が逆方向に動くように知覚されたが、脚を見ると、知覚された姿勢は元の位置に戻った。3) カフ圧により上肢の位置知覚が変化すると、手に持った物も共に知覚変化した。4) 実際の腕の位置と異なる視覚情報を与えると、腕の位置は視覚に引きずられて知覚された。5) さらに、そのカフ圧を加えると、手首の位置はいつそう視覚に影響された。

研究成果の概要(英文)：Our studies use an ischemic block of a limb and a virtual environment. First, if the wrist is extended while the elbow is flexed during the block of the upper arm, the perceived postures at the two joints move towards the opposite direction and vice versa as somatosensory inputs are declining. Second, if the foot and leg are extended during the block of the thigh, the joints at the ankle and knee are perceived as flexed and vice versa. Third, at the end of the block, when subjects look at their foot, its perceived position reverts to that indicated by them earlier. Fourth, while the perceived position of the wrist and elbow moves towards flexion from 10 to 40 min after the block, the stick fixed to the hand is also perceived as having moved towards flexion from 10 to 20 min after the block. Fifth, while the perceived arm position more closely approaches the visually displayed arm position, the visually displayed arm position is perceived as approaching the position of the actual arm.

研究分野：運動学

キーワード：固有感覚 身体イメージ 幻肢 視覚 仮想環境

1. 研究開始当初の背景

脳は運動を企画するために身体イメージを必要としている。我々の先行研究では手指、手首、肘が伸展して固定されている時、上腕部にカフ圧を加えて筋と皮膚の感覚(体性感覚)を消失させると、屈曲方向へ知覚変化した。逆に、手指らが屈曲して固定されてカフ圧を加えると、手指らは伸展方向へ知覚変化した。極端な姿勢の時、一方の中枢への入力が高く、他方の入力が低いので、これらの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。

このような先行研究の結果を踏まえ、以下の5つの研究を計画した。1)二関節筋がまたがる手首と肘が逆方向に固定され、体性感覚が消失すると、関節の位置感覚はどのように変化するか。2)先行研究の実験方法を下肢に適応した。さらに知覚変化した下肢を見ると、その知覚はどう変化するか。3)先行研究の方法で上肢の位置知覚が変化する時、手に物を持っているとどう知覚されるか。4)実際の腕の位置と異なる視覚情報を与えると、腕の位置知覚はどう変化するか。5)実際の手首の位置と異なる視覚情報を与え、その固有感覚を消失させると、手首の位置感覚はどう変化するか。

2. 研究の目的

研究1 身体イメージに与える二関節筋の影響(論文):手首と肘を逆方向に固定してカフ圧を加えると、手首と肘をまたぐ二関節筋の相互作用によって知覚変化が起きないと予測した。そこで、手首を屈曲位に固定したのと同時に肘を伸展位に固定した時(図3A左側)、またはその逆の時(図3A右側)にカフ圧を加えると何が起こるかを検討した。

研究2 下肢の身体イメージに与える視覚の影響(論文):足首と膝を伸展位または屈曲位に固定し、大腿部にカフ圧を加え、上肢の結果を下肢に拡張できるか検討した。さらに、40分間カフ圧を加えた後に知覚変化した下肢をみると、知覚変化はどうなるか検討した。

研究3 身体イメージへの物の参入(論文):本研究は上腕部にカフ圧を加えて実験的幻肢を作り、手と物の知覚的相互作用を検討した。上腕部にカフ圧を加えて手を麻痺させると、手指、手首、肘の位置知覚は実際の関節が伸展位の時に屈曲方向へ変化するが、実際の関節が屈曲位の時に伸展方向へ変化する。したがって、本研究は手首と肘を伸展させた時、手にスティックを固定し、上腕部にカフ圧を加えて手を麻痺させた。その時、手首と肘が屈曲するように

知覚され、スティックも手と共に動くように知覚されること(hand-object illusion)を証明した。この研究はまたこの錯覚が運動感覚とハプティックスの統合に依存していることを示した。

研究4 身体イメージにおける視覚と固有感覚の相互作用(論文):日常生活ではヒトは四肢を見た位置と同じ位置にその四肢を感じるが、このような位置感覚はプリズムや鏡を通して見た時に矛盾を生じる。本研究の第一の目的は偽の腕の視覚的位置(視覚的評価)に一致するように実際の腕からの筋感覚(固有感覚的評価)が適応することを証明する。第二の目的は実際の腕の筋感覚に一致するように偽の腕の視覚的位置が適応することを証明する。

研究5 身体イメージに与える固有感覚の脱落の影響(未発表):先行研究ではディスプレイ上と実際の腕の位置の差が大きくなるにつれて、知覚される腕の位置はディスプレイ上の腕に近づいた。さらに、ディスプレイ上と実際の腕の位置の差が90degの時、ディスプレイ上の腕の位置が実際の腕の位置に時間経過に伴ってゆっくりと接近するように知覚された。そこで本研究ではディスプレイ上に視覚情報を提示した上に、カフ圧により固有感覚を脱落させると、手首の位置感覚にどのような影響があるかを検討した。

3. 研究の方法

研究1:10名の健康な男子大学生は閉眼で上記の姿勢で固定され(図3A)、右上腕部にカフ圧を40分間加え、ゴニオメータをつけた左腕で5分毎に右腕の知覚される姿勢を示した。同時に5分毎の皮膚感覚の検査も行った。被験者が閉眼でvon Frey testによる触覚の閾値テストと木綿のカーゼによる触覚検査を拇指、手首、肘で行い、指の摘みによる痛覚検査は拇指と肘で行った。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。

研究2:10名の健康な閉眼の男子大学生は上記の姿勢で固定され、右大腿部にカフ圧を40分間加え、ゴニオメータをつけた左脚で5分毎に知覚された右脚の姿勢を示した。同時に5分毎の皮膚感覚の検査も行った。さらに40分間のカフ圧後、被験者が右脚を見た後に知覚された右脚の姿勢を左脚で示した。

研究3:被験者は10名の健康な大学生男子である。被験者は閉眼で仰臥し、ポリ塩化ビニール製のスティック(長さ:50cm,重さ:150g)を三角巾で右手に固定された(図4A)。また右手はマジックテープによって固定された。実験は統制実験と主実験からな

り、両実験共に触覚の感覚検査、関節角度の知覚検査、スティックの知覚検査が行われた。スティックの知覚検査は5分毎に行われ、被験者がスティックを手で持っていると感じるかどうかを口頭で報告した。手首と肘の関節角度は赤外線トラッキングシステムを用いて測定した。

研究4：ヘッド・マウント・ディスプレイ（Sony）を付けた10名の男子大学生は伸展した右腕を撮影するために、右肩峰上にカメラを固定された（図1A）。被験者の右腕が体幹から水平に前方へ伸展しているようにディスプレイ上に30分間提示され（図1Bの黒枠）、実際の右腕が外転方向に0, 30, 60 degになるように固定された。被験者は3分毎に知覚した右腕の位置を左腕で示した。さらに、ディスプレイ上の腕の位置を左腕で示した。

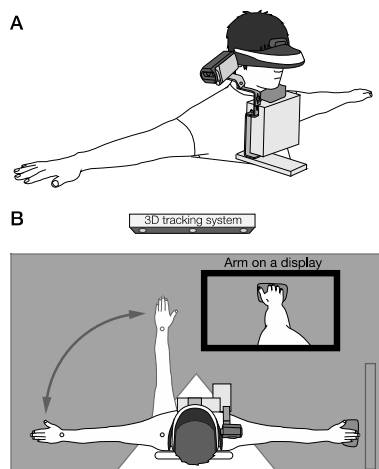


図1：研究4の実験設定

研究5：被験者は図2Aのような体勢で台の上に前腕を伸ばし、実際の手首は中間位を保持した（図2B）。視覚情報はヘッドマウントディスプレイによって屈曲した手首が30分間提示された（視覚条件）。ディスプレイ上の視覚情報の上に、右上腕部にカフ圧を30分間かけ、手首の固有感覚を消失させた（視覚+止血条件）。被験者は3分毎に知覚した右手首の位置を左手首で示した。さらに、ディスプレイ上の手首の位置を左手首で示した（図2Bの黒枠）。5分毎の皮膚感覚の検査も行った。

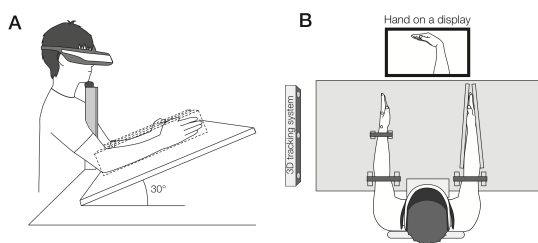


図2：研究5の実験設定

4. 研究成果

研究1：手首を屈曲位に固定して肘を伸展位に固定した時、体性感覚の麻痺に伴って、手首は伸展方向へ、肘は屈曲方向へ動くように知覚された（図3左側）。逆に、手首を伸展位に固定して肘を屈曲位に固定した時、感覚麻痺に伴って、手首は屈曲方向へ、肘は伸展方向へ動くように知覚された（図3右側）。予測に反して、手首と肘をまたぐ二関節筋の相互作用の影響はなく、手首と肘の知覚は独立して逆方向へ変化した。従来、皮質の身体地図の再組織化は痛覚（小径無髄線維）の消失によると言われているが、本研究の結果は筋と皮膚からの体性感覚入力（大径有髄線維）の消失が短期的な皮質の再編を生じ、前腕の姿勢の知覚変化をもたらしたと考えられる。

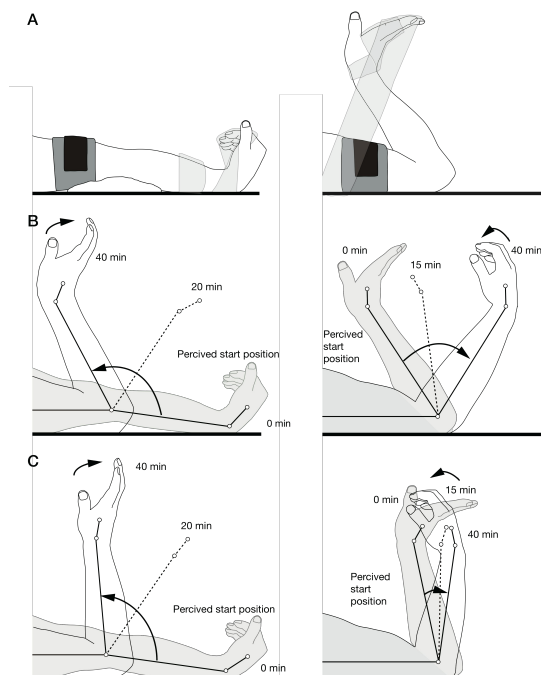


図3：研究1の実験設定(A, 左側：手首屈曲, 肘伸展, 右側：手首伸展, 肘屈曲), 最も知覚変化した被験者のデータ(B), 知覚変化の平均値(C)

研究2：足首と膝を伸展位または屈曲位に固定すると、体性感覚の麻痺に伴い、その関節が逆方向に動くように知覚された。40分間のカフ圧後、被験者が右脚を見た後に知覚された姿勢はカフ圧後25分までの姿勢に戻った。本研究の結果は体性感覚入力の消失が短期的な皮質の再編を生じ、下肢の姿勢の知覚変化をもたらした。さらに、四肢の姿勢は体性感覚より視覚によって優位にコード化されていた。視覚と体性感覚の両方に反応する頭頂皮質と運動前皮質の神経細胞は体の近くの空間をコード化しており、本研究の結果はこの神経細胞の働きを示唆するものである。

研究3：分析の結果（図 4B），手首と肘はカフの加圧開始後 10～40 分の間屈曲方向へ動くように知覚され，手に固定されたスティックはカフの加圧開始から 10～20 分の間屈曲方向へ動くように知覚された。手の触覚が失われ始めてから完全に消失するまでの間に，手の中のスティックは知覚されなくなった。したがって，手首と肘の知覚変化の開始と手の触覚の消失の間に，スティックと共に，手と前腕は屈曲方向へ動くように知覚された（hand-object illusion）。

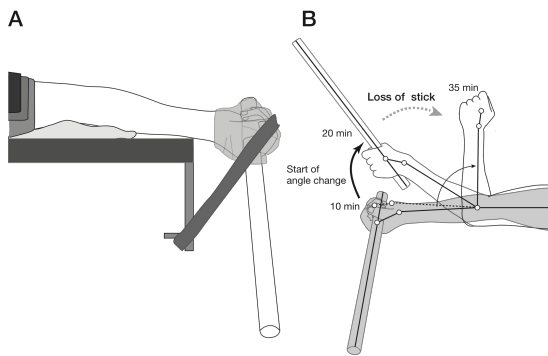


図 4：研究3の実験設定(A)と知覚変化の平均値(B, 灰色の腕とスティック：実際の腕とスティックの位置, 白い腕とスティック：知覚された腕とスティックの位置)

研究4：ディスプレイ上と実際の腕の位置の差が大きくなるにつれて，知覚される腕の位置はディスプレイ上の腕に近づいた（図 5A,B,C の下図, D,E,F の白丸）。その差が 90 deg の時（図 5A の下図, D の白丸），知覚される腕の位置は 15 分までディスプレイ上の腕の位置へ徐々に接近し，その後，ディスプレイ上と実際の位置の間の値で安定した。驚いたことに，ディスプレイ上と実際の腕の位置の差が 90 deg の時，ディスプレイ上の腕の位置が実際の腕の位置に時間経過に伴ってゆっくりと接近するように知覚された（図 5A の上図, D の黒丸）。これらの結果は視覚に対する筋感覚の可塑性と筋感覚に対する視覚の可塑性を示した。

研究5：視覚条件では手首の位置はディスプレイ上の手首の位置に近づくように知覚された。さらに，視覚+止血条件は視覚条件よりディスプレイ上の手首の位置にいつそう近づいて知覚された。したがって，歪んだ手首の視覚情報は固有感覚の消失に伴い，いつそう影響力をもたらした。しかし，両条件共に，ディスプレイ上の手首の知覚は優位に変化せず，固有感覚の視覚への適応はみられなかった。

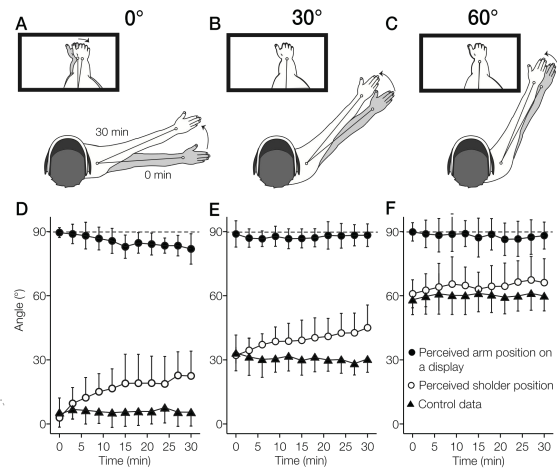


図 5：研究4の実験設定とその結果。A,B,C の上図：灰色の腕はディスプレイ上に提示された腕の位置であるが，白い腕は知覚された腕の位置である。下図：灰色の腕は実際の腕の位置であるが，白い腕は知覚された腕の位置である。D,E,F：白丸は知覚させた腕の位置，黒丸はディスプレイ上で知覚させた腕の位置，黒三角は閉眼で知覚された腕の位置（統制実験）である。

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)

Inui N, Masumoto J (2015) Visual and proprioceptive adaptation of arm position in a virtual environment, *Journal of Motor Behavior*, Online, 査読有.

Inui N, Masumoto J (2015) Perceptual changes of interaction between hand and object in an experimental phantom hand, *Journal of Motor Behavior*, 47, 2, 81-88, 査読有.

乾 信之, 升本 絢也 (2014) 仮想環境の腕の位置感覚に与える視覚と固有感覚の可塑性, 鳴門教育大学研究紀要 29, 360-367, 査読無.

Inui N, Masumoto J (2014) Systematic changes in body image following ischemic nerve block, *Comprehensive Psychology*, 3, 11, 1-9, 査読有.

Inui N, Masumoto J (2013) Effects of visual information on perceived posture of an experimental phantom foot, *Experimental Brain Research*, 226,

487-494, 査読有.

Inui N, Masumoto J, Beppu T, Shiokawa Y, Akitsu H (2012) Loss of large-diameter nerve sensory input changes perceived posture, *Experimental Brain Research*, 221, 369-375, 査読有.

[学会発表](計9件)

乾 信之, 仮想環境の腕の位置感覚に与える視覚と固有感覚の可塑性, 第69回日本体力医学会大会, 2014年9月19日, 長崎大学(長崎県・長崎市).

乾 信之, 仮想環境における上腕虚血時の手首の位置感覚に与える視覚と固有感覚の適応, 第37回日本神経科学大会, 2014年9月13日, パシフィコ横浜(神奈川県・横浜市).

Inui N, Visual and proprioceptive adaptation of wrist position in a virtual environment, Asia-South Pacific Association of Sport Psychology 7th International Congress, 2014年8月10日, 国立オリンピック記念青少年総合センター(東京都・渋谷区).

乾 信之, 仮想環境の腕の位置感覚に与える視覚と固有感覚の適応, 日本スポーツ心理学会第40回大会, 2013年11月3日, 日本体育大学(東京都・世田谷区).

乾 信之, 実験的幻肢の位置感覚に与える視覚の影響, 第68回日本体力医学会大会, 2013年9月23日, 学術総合センター(東京都・千代田区).

乾 信之, 体性感覚入力の消失に伴って棒をもった実験的幻肢は動く, 第36回日本神経科学大会, 2013年6月21日, 国立京都国際会館(京都府・京都市).

乾 信之, 大径有髄線維に感覚入力の消失は身体イメージを変える, 日本スポーツ心理学会第39回大会, 2012年11月24日, 金沢星陵大学(石川県・金沢市).

8 乾 信之, 大径有髄線維からの感覚入力の消失は姿勢の知覚を変える, 第35回日本神経科学大会, 2012年9月20日, 名古屋国際会議場(愛知県・名古屋市).

9 乾 信之, 大径有髄線維に感覚入力の消失に伴う姿勢変化の知覚変化に与える二関節筋の影響, 第67回日本体力医学会大会, 2012年9月14日, 岐阜都ホテル(岐阜県・岐阜市).

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