

氏名	浅尾章彦		
学位の種類	博士（保健学）		
学位記番号	甲第48号		
学位授与の日付	2019年3月13日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
学位論文題目	<b>Effects of transcutaneous electrical nerve stimulation and visuotactile synchrony on the embodiment of an artificial hand</b> <b>偽手の身体化に対する経皮的神経電気刺激と視覚触覚同期性の影響</b>		
論文審査員	主査	新潟医療福祉大学	准教授 澁谷 顕一
	副査	新潟医療福祉大学	教授 椿 淳裕
	副査	新潟医療福祉大学	教授 能登 真一

## 論文内容の要旨

ラバーハンド錯覚は身体の錯覚を生じさせる実験的な手法である。ラバーハンド錯覚は、被験者の手の隣に偽手を並べ、本物の手のみを衝立などで視覚的に遮断した状態で、実験者が本物の手と偽手に対して筆などで撫でる触覚刺激を与えることで、偽手が自分の手であるように錯覚する現象である。自分の身体が自分に帰属しているという意識経験は身体保持感と定義されており、ラバーハンド錯覚は、偽手が身体化するという身体保持感の錯覚であると解釈されている。このラバーハンド錯覚は、切断後の幻肢や脳卒中後の身体失認などの身体保持感の異常を呈する疾患の病態解明や新たなリハビリテーション方法の開発に応用できる可能性があることが注目されている。このラバーハンド錯覚の惹起においては、被験者に与える視覚刺激と触覚刺激の時間的同期性が重要であることが明らかになっている。

経皮的神経電気刺激は、疼痛の改善などを主な目的としてリハビリテーション場面で用いられている。経皮的神経電気刺激は、触覚に関連する興奮を伝える大径で閾値の低い皮膚表在の神経線維を刺激することで、脊髄にて痛みに関する興奮を抑制すると考えられている。ラバーハンド錯覚に経皮的神経電気刺激を併用すると、ラバーハンド錯覚のみと比較して大きな錯覚が惹起されることが報告されているが、ラバーハンド錯覚に経皮的神経電気刺激を併用した際に、視覚刺激と触覚刺激の時間的同期性が、錯覚の惹起に及ぼす影響については明らかではなかった。本研究では、ラバーハンド錯覚に経皮的神経電気刺激を併用した際の経皮的神経電気刺激および視覚触覚同期性の影響を明らかにすることを目的とした。

本研究は、経皮的神経電気刺激のあり・なしと、視覚触覚刺激の同期・非同期の2要因からなる被験者内比較反復測定を行った。実験条件は、経皮的神経電気刺激あり・視覚触覚の同期刺激、経皮的神経電気刺激なし・視覚触覚の同期刺激、経皮的神経電気刺激あり・視覚触覚の非同期刺激、経皮的神経電気刺激なし・視覚触覚の非同期刺激の4条件とし、ランダムな順番で各被験者に実施した。経皮的神経電気刺激は、刺激電極を前腕背側の橈骨神経の走行に沿って貼付し、刺激強度は疼痛を感じ

ないが電氣的な痺れを感じる強度とした。経皮的神経電気刺激の刺激周波数は100Hz、パルス幅は80  $\mu$ V、刺激パターンは一定のパルスパターンを用いた。経皮的神経電気刺激なし条件では、刺激あり条件と同様に刺激電極を前腕に貼付したが通電は行わなかった。視覚触覚刺激は、手背の橈骨神経支配領域に対して、実験者が筆を用いて呈示した。同期刺激条件では偽手と本物の手を時間的に同期して撫でる刺激を、非同期刺激条件では偽手と本物の手を時間的に非同期に撫でる刺激を与えた。錯覚の評価として、被験者はアンケートと固有感覚ドリフト（運動反応と知覚反応）を行った。アンケートでは、被験者は偽手の身体化に関する主観的な経験について11段階のリッカート尺度を用いて回答した。固有感覚ドリフトの運動反応では、被験者は錯覚惹起後に閉眼状態で自分の右示指への到達運動を行い、実際の右示指の位置に対する偏位を計測した。固有感覚ドリフトの知覚反応では、被験者は錯覚惹起後に自分の手と偽手を木製の枠で視覚的に遮断した状態で、被験者は自分の右示指の直上の位置を回答することで実際の右示指の位置からの偏位を計測した。

二元配置反復測定分散分析の結果、錯覚に関連するアンケート項目および固有感覚ドリフトの知覚反応において、経皮的神経電気刺激と視覚触覚同期性の主効果を認め、交互作用は認めなかった。一方、固有感覚ドリフトの運動反応においては、経皮的神経電気刺激および視覚触覚同期性の主効果および交互作用は認めなかった。

アンケートは偽手への身体保持感などの身体に関する主観的な経験を、固有感覚ドリフトの運動判断は主に固有感覚に起因する手の身体図式を、固有感覚ドリフトの知覚判断は主に視覚に起因する手の身体像を評価していると考えられている。そのため、本研究結果は、ラバーハンド錯覚に経皮的神経電気刺激を併用した際に、経皮的神経電気刺激と視覚触覚刺激の同期性は、錯覚に関する主観的な経験や手の身体像に影響を及ぼすが、これらの要因は異なる機序で錯覚の惹起に影響を及ぼすと考えられる。本研究は、健常被験者を対象とした実験研究であるが、視覚触覚刺激の時間的同期性および経皮的神経電気刺激による体性感覚入力が身体の知覚や認知を操作することが可能であり、これらの要因が別々に作用する可能性があることを示している。そのため、本研究結果は、身体保持感の異常を呈する疾患の新たなリハビリテーション方法の開発に応用できる可能性を示唆するものである。

キーワード：ラバーハンド錯覚、経皮的神経電気刺激、視覚触覚同期性、身体保持感

## 論文審査結果の要旨

本論文はラバーハンド錯覚に経皮的神経電気刺激を併用した際の経皮的神経電気刺激及び視覚触覚同期性の影響を明らかにすることを目的とした研究である。ラバーハンド錯覚は身体の錯覚を生じさせる実験的な手法である。ラバーハンド錯覚は、被験者の手の隣に偽手を並べ、本物の手のみを衝立などで視覚的に遮断した状態で、実験者が本物の手と偽手に対して筆などで撫でる触覚刺激を与えることで、偽手が自分の手のように錯覚する現象である。ラバーハンド錯覚の惹起においては、被験者に与える視覚刺激と触覚刺激の時間的同期性が重要であることが明らかになっている。経皮的神経電気刺激は、触覚などに関する興奮を伝える大径で閾値の低い皮膚表在の神経線維を刺激することで、脊髄にて痛みに関する興奮を抑制すると考えられている。ラバーハンド錯覚に経皮的神経電気刺激を併用すると、ラバーハンド錯覚のみと比較して大きな錯覚が惹起されることが報告されているが、ラ

バーハンド錯覚に経皮的神経電気刺激を併用した際に、視覚刺激と触覚刺激の時間的同期性が、錯覚の惹起に及ぼす影響については明らかではなかった。

本研究では、経皮的神経電気刺激のあり・なしと、視覚触覚刺激の同期・非同期の2要因からなる被験者内比較反復測定を行った。実験条件は、経皮的神経電気刺激あり・視覚触覚の同期刺激、経皮的神経電気刺激なし・視覚触覚の同期刺激、経皮的神経電気刺激あり・視覚触覚の非同期刺激、経皮的神経電気刺激なし・視覚触覚の非同期刺激の4条件とした。錯覚の評価として被験者はアンケートと固有感覚ドリフト（運動反応と知覚反応）を行った。アンケートでは、被験者は偽手の身体化に関する主観的な経験について11段階のリッカート尺度を用いて回答した。固有感覚ドリフトの運動反応では、錯覚惹起後に被験者は閉眼状態で自分の右示指への到達運動を行い、実際の右示指の位置に対する偏位を計測した。固有感覚ドリフトの知覚反応では、錯覚惹起後に被験者の手と偽手を木製の枠で視覚的に遮断した状態で、被験者は自分の右示指の直上の位置を回答することで実際の右示指の位置からの偏位を計測した。

二元配置反復測定分散分析の結果、錯覚に関連するアンケート項目および固有感覚ドリフトの知覚反応において、経皮的神経電気刺激と視覚触覚同期性の主効果を認め、交互作用は認めなかった。一方、固有感覚ドリフトの運動反応においては、経皮的神経電気刺激および視覚触覚同期性の主効果および交互作用は認めなかった。

アンケートは偽手への身体保持感などの身体に関する主観的な経験を、固有感覚ドリフトの運動判断は主に固有感覚に起因する手の身体図式を、固有感覚ドリフトの知覚判断は主に視覚に起因する手の身体像を評価していると考えられている。そのため、本研究結果より、ラバーハンド錯覚に経皮的神経電気刺激を併用した際に、経皮的神経電気刺激と視覚触覚刺激の同期性は、錯覚に関する主観的な経験や手の身体像に影響を及ぼすが、これらの要因は異なる機序で錯覚の惹起に影響を及ぼすと考えられる。本研究は、健常被験者を対象とした実験研究であるが、視覚触覚刺激の時間的同期性および経皮的神経電気刺激による感覚刺激が身体の知覚や認知を操作することが可能であることを示したものであり、独創性も非常に高い。また、本研究の結果から、これらの要因が別々に作用する可能性があることを示唆している。

博士論文審査会において主査及び副査からは全体として特段の問題は見当たらないとの意見が出された。目的・方法・結果・考察ともに問題なかった。主査及び副査からは、結果の解釈と今後の課題に関する意見が述べられた。指摘内容は大別すると以下の4点であった。①身体図式、身体像、身体保持感を作り上げている脳部位・計測パラメータとの関係についてより詳細な研究が今後求められるであろうという点、②電氣的刺激と触覚刺激がラバーハンド錯覚を引き起こす詳細な機序について神経科学的手法を用いて明らかにすることでより研究が深まるという点、③右手だけでなく左手での同様な検証を行うことによって脳の局在性にまで言及することができ、研究の意義がさらに高まるであろうという点、④ラバーハンド錯覚を起こす脳内メカニズムを明らかにするための神経科学的手法についての示唆など、今後の研究を展開していくにあたっての意見が述べられた。これらの指摘を元に、今後の本研究がさらに深まり、身体保持感の異常を呈する疾患に対する新しいリハビリテーション方法の開発が可能になることを示す非常に独創性の高い研究であると考えられる。その意味で、医療福祉学の観点からも、非常に価値の高い研究であると考えられる。

以上のことから、審査委員会は本論文を博士論文に相応しいと認める。