

論文審査の結果の要旨

博士の専攻分野の名称	博士（保健学）	氏名	Le Trung Duc
学位授与の条件	学位規則第4条第①、2項該当		
論文題目 Involvement of the Rostromedial Prefrontal Cortex in Human-Robot Interaction: fNIRS Evidence From a Robot-Assisted Motor Task (人とロボットの相互作用における吻内側前頭前野の関与：ロボットアシスト運動課題時の近赤外分光法による立証)			
論文審査担当者			
主査	教授	桐本 光	印
審査委員	教授	藤田直人	
審査委員	教授	高橋 真	
<p>〔論文審査の結果の要旨〕</p> <p>近年，動きを補助する外骨格型ロボット（外骨格ロボ）を，脳卒中や脊髄損傷などの中枢神経系疾患の患者に適用したロボットリハビリテーションが注目されている。このようなロボットは，機能的な障害に対する回復を助け，運動能力向上のための集中的なリハビリテーション介入に有用である。外骨格ロボでは，装着者に貼付した電極から生体電気信号を検出し，装着者の動きの意図を読み取って状況に応じた動作課題の実行につながる動きの補助を提供する。装着者は，自身の動きとロボットの動きの相互作用を通じて体性感覚フィードバックを受け，運動実行の結果と照らし合わせ，その後の運動実行を洗練させていく。このような外骨格ロボ装着下での動きにかかわる脳内情報処理過程では，認知リソースをロボットの動きや動作状況など外部に向けるか，自身の意図や計画，思考など内部に向けるか，異なる神経経路へ振り分ける制御機構が必要であり，吻内側前頭前野が重要な高次脳領域のひとつとして指摘されている。しかしながら，外骨格ロボ装着時の動作制御に必要な神経機構については，未だ解明されていない。そこで本研究は，外骨格ロボを用いた運動課題遂行中の制御に関与する前頭－頭頂葉大脳皮質活動を解析し，人とロボットの相互作用における神経機構を明らかにすることを目的とした。</p> <p>研究参加者は，26名の健常者（男性13名，女性13名，平均22.1歳）で，外骨格ロボとして単関節タイプのHAL[®]（Hybrid Assistive Limb[®]：HAL-SJ）を肘関節に装着し，電極を上腕二頭筋と上腕三頭筋の皮膚表面に貼付した。研究参加者は，肘関節の屈曲伸展運動課題（関節角度40度から120度の屈曲伸展動作）を，なるべく一定の速さで実施した。3つの課題条件を設定し，負荷のない通常運動課題（NON），一定の抵抗を生じさせた運動課題（RES），RESと同じ抵抗下でHAL[®]による補助を与えた運動課題（ROB）を無作為に4試行ずつ合計12試行実施した。40秒間の安静の後に課題条件を音声にて呈示し，10秒後に（課題呈示から課題開始まで準備期間）開始音とともに20秒間の運動課題を実施した。課題の遂行能力として，どれくらい一定角度で課題が実施できたかを関節角度の標準偏差を指標に評価した。大脳皮質活動の評</p>			

価には、近赤外分光法を用い 42 個のチャンネルによって前頭一頭頂葉に位置する関心領域の酸素化ヘモグロビン変化を測定し、神経活動の指標とし解析した。照射プローブと検出プローブの距離が短いチャンネルを設置し、想定される皮膚血流由来の酸素化ヘモグロビン変化を除外し、大脳皮質由来の変化を解析した。

肘関節屈曲伸展の課題遂行能力では、**ROB** 条件で変動が大きいことが示され、**ROB** 条件での課題遂行は、困難な条件下での制御を必要とすることが示唆された。課題開始前における左背外側前頭前野の酸素化ヘモグロビンが、**NON** 条件と比較して **ROB** 条件で有意に上昇した結果は、準備段階において自身の意図や計画、思考など内部に注意を向けることに関わるとされる同領域が機能し **ROB** 課題に備えている可能性を示した。課題時における吻内側前頭前野の酸素化ヘモグロビンは、**NON** 条件および **RES** 条件と比較して、**ROB** 条件で有意に上昇することが明らかになった。これらのことから、より努力を要する課題である **ROB** 条件で特異的な吻内側前頭前野の酸素化ヘモグロビン上昇は、外骨格ロボの動きや動作状況など外部に注意を向けることに関わるとされる同領域を活性化し、感覚フィードバックを頼りに外部情報に基づく制御機構に認知リソースを割り当て、吻内側前頭前野からのトップダウンで制御していたことが示唆された。

以上の結果から、本論文は、ロボット装着下での課題遂行において、異なる大脳皮質領域が機能し、人とロボットの相互作用を制御するメカニズムを明らかにし、機能的回復の促進が期待されるロボットリハビリテーションの基盤となる神経機構の解明に貢献する貴重な基礎データを提供する研究として高く評価できる。

よって審査委員会委員全員は、本論文が著者に博士（保健学）の学位を授与するに十分な価値あるものと認めた。