

審査の結果の要旨

氏 名 吉田 直樹

本論文は、上肢の運動をいくつかの階層に分けて考え、その階層間の変換に伴う運動制御の問題のうちリハビリテーション（以下、「リハビリ」）に重要ないくつかの部分について、主に工学的な手法を用いて問題を解決あるいは新知見を獲得した研究について述べたものである。

リハビリの方法は現在でも経験的に積み重ねられてきたものが主流であり、近年は科学的な見地からの見直しが必要とされている。一方でバイオメカニクスやロボティクスなどの工学分野では、科学的な立場からの運動とその制御の研究が進んでいる。ここでは運動制御の観点から上肢運動とその障害を整理し、リハビリに重要な問題のうち工学的手法を用いることで解決可能な部分を選択し、その部分の解決を図ることが試みられている。

運動要素の分類としては「部位」や「器官」による分類がよく用いられるが、本論文では、上肢運動の要素を神経系・筋張力・関節トルク・関節角度・手先位置などに分類し、それらを「階層」と捉えている。通常のリハビリにおいて単一階層内の評価や訓練の方法はある程度確立されているのに対し、階層間の変換の部分に未解決の問題や情報の不足が多いことが述べられている。階層間変換の問題のうち、現状のロボット工学などの分野における解析・設計理論を直接応用できない課題、かつ、ヒトあるいはリハビリ対象者個人の固有の問題として解決すべき課題である、4つ異なるタイプの変換に関するサブテーマの研究について述べている。

本論文は7章で構成されている。

第1章では、本研究の背景と目的について述べている。

第2章では、本論文で用いる上肢運動の階層化について説明し、それに基づいて上肢リハビリに関係する問題を整理している。階層構造モデルの説明につづき、各階層における障害の評価および訓練の方法を紹介し、各階層間の変換に関してリハビリにおいて重要な問題となっている部分を指摘している。

第3章では、「筋張力と関節角度の変換」の観点から、機能的電気刺激による肘関節角度制御の研究について述べている。人工ニューラルネットワークを用いて対象上肢の逆ダイナミクスモデルを構成する制御方法を考案し、実験した。コンピュータシミュレーションで健全な腕と異常反射のある腕の制御が共に可能であることを示し、続いて、被験者（健全者と障害者）の肘関節運動制御の実験結果から、この方法によって機能的電気刺激の問題の一部が解決可能であり、臨床応用の可能性があることを示している。

第4章では、「筋張力と関節トルク間の変換」の観点から、肩関節に関与する多数の筋の作用（トルクベクトル方向）を筋電図と手先力の計測に基づいて推定した研究について述べている。新たに

考案した数理モデルに基づくトルクベクトル推定の方法を用いて、4名の被験者のそれぞれ11部位の肩周囲筋のトルクベクトル方向を様々な肢位において精度良く推定できること、およびその結果が示されている。

第5章では、「関節角度と手先位置間の変換」の観点から、手先位置と上肢肢位範囲の関係を調べた研究について述べている。この関係を数値的に求めるために、冗長自由度の概念を基に、任意の1つの手先位置に対して対応する肢位範囲を計算する方法を考案して、手先の到達可能範囲全体からサンプリングした224の手先位置それぞれに対する肢位範囲を求めている。さらに全手先位置に関する全関節の可制御性に関する全体的な特性を調べている。

第6章では、「階層間変換における要素間の協調」という観点から、多指を同時に操作して短い力パルスが発生させる際の各指間の協調性の時間的変化について調べた研究について述べている。音刺激に素早く反応する条件と自己ペース条件の2条件で、各指間の協調性の変化を比較している。若年者群の実験結果から、自己ペースの場合には力パルスの発生に先立って協調性に変化が起こる現象を示し、健常老年者群の実験結果との比較から、一般的なパフォーマンス指標には群間に有意差が無いにもかかわらず、予測的な協調性変化には違いがあることを示している。

第7章では、本論文の結論、本研究の成果の応用の可能性、今後の課題について述べている。

以上のように、本論文では、上肢運動を階層間変換の観点から見ることでリハビリにおける問題を整理することができ、階層間変換に関わるいくつかの具体的な課題が解決できたことが示されている。ここで取り上げられた階層間変換の問題はそれぞれ具体的なリハビリ上の課題に結びつけられている点、開発した計測・解析・推定などの方法は侵害的な部分を含まず、全て個別の対象者に関して応用可能な点から、本研究の結果は上肢リハビリに有用な新たな手段と情報をもたらしたものである。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。