

Title	倒立二重振子の間欠制御モデルに基づくヒト静止立位姿勢の神経制御戦略の研究
Author(s)	鈴木, 康之
Citation	大阪大学, 2012, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/59089
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	鈴木康之
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 25237 号
学位授与年月日	平成24年3月22日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 基礎工学研究科機能創成専攻
学位論文名	倒立二重振子の間欠制御モデルに基づくヒト静止立位姿勢の神経制御戦略の研究
論文審査委員	(主査) 教授 野村 泰伸 (副査) 教授 大城 理 教授 田中 正夫

論文内容の要旨

過去長い間、ヒト静止立位姿勢の維持において、神経系による複雑な制御は大きな役割を果たしていないと考えられてきた(スティフネス制御仮説)。スティフネス制御仮説は、神経系は姿勢変化に対して持続的にフィードバック制御を行うと考える。しかしながら、スティフネス制御仮説に基づくヒト立位姿勢制御の数理モデルは、ヒト静止立位時の姿勢動揺として観測される柔軟な姿勢ダイナミクスを十分に再現できない。近年、神経系は姿勢の変化に対して間欠的に姿勢制御に介入するとする新たな仮説(間欠制御仮説)が提唱され、両仮説の妥当性が活発に議論されている。ヒト立位姿勢の制御仮説の妥当性を検証する多くの研究は、立位姿勢の倒立単振子モデルに基づいて行われてきた。しかし、最近の詳細な計測実験により、倒立単振子モデルはヒト立位姿勢の動態を十分に表現できないことが明らかにされた。そこで、本研究ではヒト静止立位姿勢を足および股関節を有する倒立二重振子でモデル化した。特に、柔軟な立位姿勢を実現するために、各関節の受動的粘弾性係数および能動的神経フィードバック制御のゲインは小さな値に設定した。生理学的に妥当な神経フィードバック伝達遅れ時間を考慮した持続的あるいは間欠的なフィードバック制御様式に基づくヒト立位姿勢制御の数理モデルを構築し、それぞれの様式で制御された倒立二重振子のダイナミクスを解析した。その結果、間欠制御の方が持続的制御よりもはるかに柔軟かつロバストに倒立二重振子の静止立位姿勢を安定化できることを明らかにした。これは、立位姿勢を安定化するために脳は間欠制御を用いていると考えるのが妥当であることを示唆している。さらに、間欠制御モデルでは、股関節の受動的弾性係数に依存して、定性的に異なる姿勢制御戦略が創発されることを示した。各戦略に対するモデルの姿勢ダイナミクスとヒト静止立位時の姿勢動揺の比較に基づき、立位姿勢維持に対する脳の神経制御戦略を考察した。

論文審査の結果の要旨

ヒト静止立位姿勢の神経制御の定説であるスティフネス制御仮説では、立位維持には複雑な制御は必要なく、神経系は単純な持続的フィードバック制御により姿勢を硬く安定化していると考えられてきた。しかし、スティフネス制御仮説は、静止立位時姿勢動揺として観測される柔軟なダイナミクスを十分に再現できない。近年、神経系は姿勢の変化に対して間欠的に制御に介入するとする間欠制御仮説が新たに提唱され、両仮説の妥当性が活発に議論されている。立位姿勢制御に関するこれまでの研究は、立位姿勢を倒立単振子でモデルすることで行われてきた。しかし、最近の詳細な計測によって、倒立単振子モデルはヒト立位姿勢の動態を十分に表現できないことが明らかにされた。本論文は、ヒト静止立位姿勢を足および股関節を有する倒立二重振子でモデル化し、その静止立位姿勢を柔軟に安定化する神経制御機構を理論的に明らかにしたものである。その際、各関節の受動的粘弾性係数および能動的神経フィードバ

ック制御のゲインを小さな値に設定し、生理学的に妥当な神経フィードバック伝達遅れ時間を考慮した上で、持続的および間欠的な制御様式に基づく姿勢制御の数値モデルを構築している。持続制御と間欠制御のそれぞれの制御様式によって制御された倒立二重振子のダイナミクスを詳細に解析することで、間欠制御が持続制御よりもはるかに柔軟に、かつフィードバック制御パラメータの変化に対してロバストに、倒立二重振子の立位姿勢を安定化できることを明らかにした。この結果は、脳による姿勢の安定化は持続制御よりもむしろ間欠制御によって達成されると考える方が妥当であることを示唆するものである。さらに、重要な身体パラメータの1つである股関節の受動的弾性係数に依存して、間欠制御モデルは定性的に異なる姿勢制御戦略を創発することを示すとともに、各戦略に対するモデル動態とヒトの姿勢動揺の比較に基づき、立位姿勢維持に対する脳の神経制御戦略を考察している。本論文の成果は、ヒトの運動の神経制御メカニズムの計算論的研究に新たな知見を与えるとともに、中枢神経疾患に起因する姿勢機能障害の定量的診断手法の開発に新しい方向性を示すものである。以上のことから、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。