The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

| | |
|---|---|
| Title | Neural Control with Active Monitoring during Standing Posture Revealed by Cortical Beta Band Activity |
| Author(s) | 中村, 晃大 |
| Citation | 大阪大学, 2022, 博士論文 |
| Version Type | |
| URL | https://hdl.handle.net/11094/88094 |
| rights | |
| Note | やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。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。 |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

様式３

# 論　文　内　容　の　要　旨

| 氏　名　（中　村　晃　大） | |
|---|---|
| 論文題名 | Neural Control with Active Monitoring during Standing Posture Revealed by Cortical Beta Band Activity<br>（皮質ベータ帯域活動に基づくヒト立位姿勢の神経制御に関する研究） |

論文内容の要旨

ヒト立位姿勢の維持・安定化は，日常生活の基盤を提供する重要な運動制御である．したがって，立位姿勢の神経制御メカニズムの解明は，神経科学・神経生理学分野の基礎研究としても，超高齢社会における健康寿命延伸方策の開発に資する研究としても，非常に重要な研究課題である．近年，大脳皮質や大脳基底核，小脳といった脊髄よりも上位の中枢神経系がヒト立位姿勢を安定化する制御に重要な役割を果たすことが示唆されている．しかし，立位中の脳活動に関する研究と姿勢制御のシステム工学的数理モデルの研究の間には大きな溝がある．本学位論文は，ヒト立位姿勢を安定化する神経制御に関する最新の知見と仮説に基づき，姿勢制御を実現する脳内メカニズムを反映した脳活動として脳波（運動関連電位）を計測・解析し，この溝を埋めることを目指した先駆的試みをまとめたものである．

第一部では，静止立位中の支持床面をインパルス状に後方移動させる微小摂動に対する立位姿勢応答（身体運動応答）とそれに伴う脳波・筋電図を計測・解析に関する研究成果をまとめた．はじめに，間欠制御モデルを用いて当該立位姿勢応答の動態シミュレーションを行った．間欠制御モデルは姿勢の状態依存的に足関節の能動的トルクを間欠的にスイッチオフ（停止）し，その間の受動的な姿勢回復運動を利用することで姿勢を安定化する制御仮説である．シミュレーション解析の結果，摂動に対する大きな初期応答が終了した後に数秒間に渡って生じる，ゆっくりとした姿勢回復応答に伴って発生する能動的トルクのオフ・オンの切替えにしたがって，このスイッチの切替えを適切に行うための姿勢状態のモニタリングが姿勢の安定化に重要な役割を果たすことを示した．こうして得られた制御仮説駆動型の知見に基づき，これまで注目されて来なかった摂動後数秒間という長い時間スケールに渡って発生するゆっくりとした姿勢回復応答に随伴する脳波を計測・解析した．得られた脳波応答を時間周波数解析することで，摂動から1秒後に現れ，その後約3秒にも渡って持続するβ帯域事象関連同期（β同期）が，頭頂感覚運動野付近（Cz電極周辺）に発生することを世界に先駆けて発見した．

第二部では，第一部で発見した摂動後の姿勢回復応答に随伴するβ同期が，摂動応答に対してのみならず，静止立位姿勢時の姿勢動揺の中でランダムに発生するマイクロフォールと呼ばれる微小転倒からの回復運動に対しても現れることを発見した成果をまとめた．

外的摂動の有無に関わらず，転倒状態から直立姿勢に向かって回復過程に随伴して頭頂感覚運動野付近でβ同期が現れたことは，このベータ同期が姿勢制御の脳内情報処理過程と深く関連することを意味する．最新の機能的神経解剖学の知見に基づいて解釈すると，本研究で発見したベータ同期は，能動的トルクのオフ・オンに関わる運動司令の遠心性コピーに基づいて生成される立位姿勢に関する予測的身体スキーマと求心性感覚フィードバック情報から生成させる実際の身体姿勢スキーマの比較に関わる頭頂野脳内情報処理が表出したものであり，それが間欠制御における姿勢の能動的モニタリングと関連している可能性が示唆される．

本研究の成果は，数理モデルに基づく姿勢制御のシステム工学的研究と脳活動計測に基づく神経生理学的な研究つなぐことで得られた．このような具体的な事例の積み重ねにより，理論と実験を両輪とした脳内情報処理メカニズム理解の深化が進展することが期待される．

様式７

# 論文審査の結果の要旨及び担当者

| 氏　名　（　中村晃大　） | | |
|---|---|---|
| 論文審査担当者 | （職） | 氏　名 |
| | 主査　教授 | 野村泰伸 |
| | 副査　教授 | 清野　健 |
| | 副査　教授 | 西川　敦 |

## 論文審査の結果の要旨

本論文は，ヒト直立姿勢安定化に関わる神経制御を反映した頭頂感覚運動野における脳波β帯域事象関連同期（β帯域同期）の新規同定に関する成果をまとめたものである．同定されたβ帯域同期は，インパルス的床面後方移動外乱に対する姿勢の一過性前方傾斜に引き続く姿勢回復過程終盤，および静止立位時の姿勢動揺（静止立位時重心動揺）に含まれる微小転倒に引き続く姿勢の微小回復過程に出現した．前者は，外乱オンセットから約1秒後に開始され，そこから約3秒間に渡って持続するβ帯域同期活動であった．後者は，微小転倒の転倒速度ピーク到達時刻から約0.5秒後に開始され，そこから約1.5秒間に渡って持続するβ帯域同期であった．このような長潜時で長時間に渡る事象関連脳波はこれまで全く注目されてこなかった．それにも関わらず，そのような事象関連脳波が発見できた背景には，ヒト立位姿勢の神経制御の新しい仮説である立位姿勢の「間欠制御モデル」による計算論的予測が重要な役割を果たした．間欠制御モデルは姿勢の状態依存的に足関節の能動的トルクを間欠的にスイッチオフし，スイッチオフ期間の受動的な姿勢回復運動を積極的に利用することで姿勢を安定化する制御仮説である．中村氏は，脳波計測実験に先立ち，立位姿勢の床面外乱に対する間欠制御モデルの姿勢応答および静止立位姿勢時の姿勢動揺動態の数値シミュレーションを実施し，上記２種の姿勢回復応答に伴う能動的制御トルクのオフ・オン切替え現象の発生，およびこの切替え制御を適切に行うための姿勢状態のモニタリングが，ヒト立位姿勢の安定化に重要な役割を果たすことを明らかにし，それに随伴する皮質・基底核ループを反映した脳活動が存在する可能性を着想した．姿勢制御のシステム工学的研究と神経生理学的研究の融合がもたらした新規事象関連同期の発見をまとめた本論文は，博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める．