

力学的外乱応答に基づくヒト立位安定性評価

戸越, 勉

<https://hdl.handle.net/2324/4496024>

出版情報 : Kyushu University, 2021, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

氏 名 : 戸越 勉

論 文 名 : 力学的外乱応答に基づくヒト立位安定性評価

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

高齢者の転倒事故はADL(Activity of Daily Living:日常生活動作)およびQOL(Quality of Life : 生活の質)の低下につながることから、転倒事故の防止は大きな社会的課題である。転倒事故低減のためには、転倒に至るメカニズムと転倒を回避するメカニズムの理解が重要となる。ヒトは転倒を回避するとき、姿勢を乱す外乱に対する姿勢安定化ダイナミクスを発動しており、この姿勢安定化能力を定量的に評価することが望まれる。

ヒト姿勢安定化に関するこれまでの先行研究としてヒト自然揺動時の安定性評価が行われており、これは静的な立位姿勢制御システムに限定される。また、転倒時の外乱と同様な力学的外乱による姿勢安定性に関する研究や、力学モデルによる立位安定性評価に関する研究も行われているが、前者はほとんどが姿勢揺動出力のみの統計的評価であり、外乱や実験条件のばらつきに影響を受けることや、後者は仮定したモデルに限定された議論である問題があった。

本論文ではヒト立位状態で力学的外乱を印加して、その外乱を入力、姿勢変動応答を出力とする入出力データを用いたシステム同定手法に基づく姿勢安定化性能評価を行った。このシステム同定による手法では、試行ごとに異なる外乱の多少の違いは結果に全く影響を及ぼさない利点がある。同定結果である伝達関数の極を用いて姿勢安定化性能を定量的に評価する方法を提案した。また、ヒト立位姿勢の外乱入出力データを簡便かつ安全に取得するため、新しい斜板式外乱印加装置を提案・開発し、この実験装置を用いた立位姿勢安定化性能の定量評価手法を確立した。本論文ではさらにこの評価手法を基礎として、力学外乱に対するヒト姿勢安定化メカニズムとして発動される筋骨格系や安定化ダイナミクスを議論した。

第1章では本論文で扱うヒト姿勢安定化能力に関する研究の背景と関連研究および研究目的を示した。

第2章ではヒト下肢への力学外乱に対する姿勢応答であるCOP(Center of Pressure : 足圧中心)軌跡を測定するため、転倒を起こさない程度の衝撃外乱入力を与えるための斜板落下式外乱印加装置を提案した。本装置による外乱応答実験により求めたCOP時間軌跡は、同じ被験者で同じ実験条件であれば、何度試行しても同様な応答波形を示すことから、本装置による応答実験の再現性が高いことを明らかにした。また、本装置を用いた実験における適切な斜板高さ、姿勢変動データを参照する適切な時間範囲を示した。

第3章では、ヒト下肢へ力学的外乱入力を印加し、複数被験者のX-COP、Y-COPを測定した。このときの入出力データを用い、ヒトの姿勢安定化のための筋骨格系動的システム・感覚制御システム全体を、一つの線形システムとしてシステム同定した。同定結果を表す伝達関数の複数の極を用いて、減衰性を表す極の原点からの距離に基づく安定化度合指標を提案した。ヒト立位姿勢安定化性

能が明確に異なると考えられる複数の実験条件において、各々の場合の安定化性能を提案した安定化度合指標により評価した。その結果は過去の研究における各場合の安定性に関する知見と整合しており、姿勢安定化能力を適切に評価できることを示した。

第4章では、外乱の種類を含めた異なる実験条件に対し、システム同定後に得られる立位姿勢安定化ダイナミクスは異なることを、同定次数、COP 応答、同定伝達関数の極配置により実験的に示した。また、それらのダイナミクスが異なる理由として、姿勢安定化に寄与する筋骨格系システムが実験条件により異なる可能性が示唆されることを説明した。

第5章では、斜板落下式外乱印加装置を用いたヒト立位安定性の評価をおこない、足裏配置等の異なる実験条件や異なる被験者に対し、筋電測定により左右下肢筋の使い方が異なることを実験的に示した。特にタンデム立位と通常立位の場合では、立位安定化ダイナミクスが大きく異なること、関連筋の動作も大きく異なることを示した。ダイナミクスの違いとは、単に伝達関数の係数の違いだけでなく、その次数の違いも含むことからヒト立位安定化システム全体が変容することを説明し、立位安定化度合指標のみではその違いを区別できないことも説明した。被験者の違いにより、同じ実験条件の外乱応答でも異なる姿勢安定化戦略をとる可能性、つまり異なるダイナミクスが発動する可能性があることを示した。立位姿勢安定化に関係する各筋肉の最大発生筋力割合と立位安定化度合指標を検証することで、姿勢安定化に有用な関連筋をどれだけ効果的に動作させているかを明示できる可能性を示した。これらの結果から、ある被験者の立位安定性能を調べるときに、単一の実験条件で提案した立位安定化度合指標を評価するのは適切でなく、被験者により異なる姿勢安定時に駆動される筋の違いや、姿勢安定化時における足裏配置等の条件を考慮した総合的な姿勢安定性指標を設定すべきであることを示し、このための一つの方法を提案した。

最後に第6章で本論文の結論を述べ、残された研究課題について議論した。

以上、本論文は力学的な外乱応答時におけるヒト姿勢安定化性能の定量評価に関して、新たな実験装置とそれを用いた評価手法を提案し、姿勢安定化メカニズムを議論した。