

【学位論文審査の要旨】

交通事故におけるむち打ち傷害は長年にわたる世界的な課題である。当初、後突時の頭部過伸展が原因と判断され、ヘッドレストが義務付けとなったが、その後もむち打ち傷害者数の大幅な低減には結びついていない。そのため、頭部がヘッドレスト接触前の後突初期に何らかの問題が頭頸部に発生すると考えられており、脊髄から椎間孔を経由して末梢神経に至る神経組織の主要通路である頸部・神経根を考慮することの重要性が示唆されている。現在、傷害指標として NIC とよばれる頸部傷害評価基準が用いられているが、他に代わる後突初期の評価基準がない。

このような背景のもと、本論文では、計算バイオメカニクスの観点から、軸索も含む神経根を対象とした有限要素モデルに基づく神経筋骨格モデルを構築し、後突初期の神経根損傷の可能性を評価する手法を提案している。まず、本モデルを用いて後突初期特有の頭頸部挙動を再現するために、後突前の頭部姿勢保持時の頸部の筋力バランスが重要であることを示している。また、本モデルを用いた評価により、むち打ち傷害頻度の男女差の主な原因が筋力であることを定量的に明らかにしている。次に、後突初期の頸部挙動データを用いた解析により、椎体の神経根への負荷速度が高まると損傷の可能性が高まることを示している。以上の解析結果から、本論文で提案した神経筋骨格モデルを用いることにより軸索ひずみレベルで神経根損傷を評価できることを示すとともに、後突初期に発生しうるむち打ち傷害における神経根損傷の可能性を示している。

本論文で得られた成果は、以下のように要約できる。

- (1) 頭頸部筋骨格有限要素モデル（以下、筋骨格モデル）を構築し、男性の平均サイズの筋骨格モデルを用いて、男性被験者の後突時の頭頸部挙動を再現できることを示した。特に、後突初期の頭頸部 S-字変形挙動の精度良い再現には後突前の頭部姿勢保持時の頸部の筋力バランスが重要であることを示した。
- (2) 上述の筋骨格モデルを用いて、女性被験者の頭頸部挙動を再現し、検証結果より、むち打ち傷害頻度の男女差の主な原因は筋力の差にあることを定量的に明らかにした。
- (3) 脊椎の神経根を対象とした神経筋骨格モデルを構築し、本モデルを用いた新しい損傷評価手法を提案した。後突初期の頭頸部 S-字変形時の椎体変位が神経根損傷に与える可能性を検証するために、後突初期の頸部挙動データを使った解析を行い、椎体の圧迫速度が高まると神経根損傷の可能性のあることを示し、提案手法の有効性を示した。

以上のように、本論文では、後突時のむち打ち傷害に関する新しい解析手法として、脊椎の神経根を対象とした神経筋骨格モデルを構築し、様々なシミュレーションによる解析を通して提案手法の有効性を示した。得られた成果は工学的に高く評価でき、自動車工学に関する研究分野だけでなく、神経筋骨格モデルに関する学際的な研究分野への貢献も大きいものと考えられる。よって、本論文は博士（工学）の学位を授与するに十分な価値が

あるものと認められる。

（最終試験又は試験の結果）

本学の学位規則に従い、最終試験を行った。公開の席上（オンライン）で論文発表を行い、主査及び3名の審査委員を含む30名の出席者による質疑応答を行った。また、論文審査委員により本論文及び関連分野に関する試問を行った。これらの結果を総合的に審査した結果、専門科目についても十分な学力があるものと認め、合格と判定した。