

平成 14 年 2 月 20 日

機械・構造システム工学専攻	学籍番号	953114
申請者氏名	竹内 謙 善	

指導教官氏名	畔上 秀幸 助教授
	竹園 茂男 教授
	本間 寛臣 教授

論文要旨 (博士)

論文題目	特発性側彎症の成因解明と治療法に関する計算力学的研究
------	----------------------------

(要旨 1,200 字程度)

脊柱の生理的彎曲に異常をきたす疾患、側彎症の中でも椎体やそれを取り巻く筋や靭帯に際立った異常が見出されない状況で成長期に発症する側彎症は特発性側彎症と呼ばれる。その典型的な症例は胸椎に彎曲を生じた胸椎型特発性側彎症である。側彎症の治療は側彎変形の矯正と進行の抑制を目的として、軽度の場合には装具治療、より重度の場合に対しては手術治療が行われる。手術治療ではある範囲の脊椎が固定されるが、固定部位の成長停止の問題等を考慮すると最小限度の固定部位で十分な治療効果を得ることが望まれている。本研究では、有限要素法を用いて特発性側彎症の力学的成因を明らかにし、それに基づいた合理的な治療法に関する検討を行った。

特発性側彎症の成因について多くの仮説が報告されてきたが、本研究では特発性側彎症の成因が椎体の成長に伴う座屈現象であるとする仮説に注目した。まず座屈挙動を定量的に評価し得る要素数 68582、節点数 84603 の脊柱有限要素モデルの構築を行った。モデルの幾何形状は市販の脊柱形状データに基づき決定した。硬組織の弾性係数は文献の値を参考に決定し、軟組織の弾性係数は靭帯付き脊柱の力学実験結果を基に同定することで、実際の脊柱の力学挙動を再現可能なモデルが構築できた。

構築した脊柱有限要素モデルを用いて成長部位を第 1 胸椎から第 5 腰椎の間で様々に変化させたケースを設定し、各ケースについて座屈解析を行った。座屈解析における境界条件として仙椎完全固定を仮定し、椎体の成長は熱膨張ひずみとして与えた。その結果、特発性側彎症の典型的な側彎形態である胸椎型の他にも、臨床においてみられる様々な側彎形態に酷似する座屈モードが得られた。また、臨床において重要となる胸郭の変形に注目して、座屈発生後の骨再構築挙動について検討した結果、骨再構築機能の不足が側彎変形の悪化に寄与していることが示唆された。これらの結果から、特発性側彎症の力学的成因が座屈現象であるとする仮説が実証された。

椎体が他の部位より優位に成長する要因として、頭部、胴体部に作用する重力を力学刺激とする骨の構築挙動の可能性を検討した。重力によって生じるひずみエネルギー密度に比例して椎体が成長した場合の 4 次座屈モードは、臨床でみられる胸椎型の側彎形態と酷似していた。また、この時の椎体成長の傾向も臨床での観察結果と一致していた。この結果から重力を力学刺激とする椎体成長が特発性側彎症の成因と成り得ることが示された。

さらに、力学的成因に基づいて合理的な治療方法を検討する為の感度解析手法を提案した。本研究では座屈発生に要する椎体成長量を目的汎関数とし、感度は境界上の各点の外向き法線方向への変動量に対する目的汎関数の変動量として定義した。幾つかの代表的な座屈モードに対し、感度関数の計算を行った結果、感度関数の値は、側方への変位が最大の脊椎（頂椎）近傍の椎間板、椎間関節、肋椎・肋横突関節で最も高かった。本研究での感度解析手法により、特発性側彎症の力学的成因と考えられる座屈現象の抑制に有効な固定部位を特定することが可能となった。