

氏名・(本籍)	浅 鳶 周 造 (滋賀県)		
学位の種類	博士 (医学)		
学位記番号	博 士 第124号		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
学位授与年月日	平成4年6月26日		
学位論文題目	有限要素法を用いた頸椎加速度損傷時の運動解析		
	審査委員	主査教授	北 里 宏
		副査教授	横 田 敏 勝
		副査教授	福 田 眞 輔

論 文 内 容 要 旨

[目 的]

近年のコンピュータによるシミュレーション解析技術の発展を背景にして比較的実験の難しい頭頸部加速度損傷(鞭打ち損傷)の解析をおこなう。大型計算機で実行する汎用有限要素解析プログラムを用いて3次元全頸椎モデルに動的負荷を加えその時間的变化を観測する。

[方 法]

研究1. 正常頸椎モデルの作成、解析方法および荷重方法

骨標本等を参考に各椎体ごとの要素分割を決定した。脊椎は左右対称のため、半分だけのモデルとし、頭蓋骨からC₇まで941節点、1028要素からなる3次元有限要素モデルを作成した。骨、線維輪、髄核、靭帯を設定し筋肉は無視した。椎間関節については境界要素を用いて接続した。解析には大型計算機を用い、POPLAS/FEM5にて直接法過渡応答解析をおこなった。荷重方法はC₇下端を拘束、頭部を自由端とし頭部重心に4000g相当の質量を質点として与えた後、モデル全体に地震加速度を加え頸部を前後屈させた。加えた加速度は Severy らの追突実験による肩で測定された値を用い、0.02秒ごとの時間的变化を観測した。

研究2. 頸椎前方固定モデルの作成

C_{5/6}椎間板を除去し、その間を骨要素で固定したもの(AF₅₆)、さらにC₄からC₆まで2椎間3椎体固定モデル(AF₄₅₆)を作成し、全く同じ条件下にて加速度を加えた。

研究3. モデルの改良について

今回の実験に用いた FEM 5は地震解析が可能であるが、微小変形を取り扱うことを前提とした線形解析プログラムである。実際には頸椎の構成要素は非線形であり、また建築物に比べ、大変形を生じるものと思われる。このため、これまでのモデルを改良し非線形解析をおこなえる汎用プログラムにて解析を試みた。現時点では椎体、椎間板のみで靭帯、椎間関節は設定していない1031節点562要素のパイロットモデルである。解析にはMSC/NASTRANを用い、線形解析をおこなった。

[結 果]

研究1. 加速開始後頸椎は後屈し0.14秒後に最大後屈が得られた。椎間板前方においては上位頸椎で軽度圧縮、下位頸椎で伸展の結果が得られ C_{5/6}レベルで大きな圧変化を観測した。後方においては、どのレベルにおいても圧縮が生じ C_{4/5}レベルで5000g/cm²以上の圧変化が生じた。椎間関節部は境界バネ要素を用いて接続したが、このバネに生じた応力は上位頸椎ほど大きい傾向がみられた。

研究2. $C_5/6$ 固定モデルでは隣接椎間板での圧変化は正常モデルと比べて差はみられなかった。一方2椎間3椎体固定モデルにおいては、その隣接椎間板である $C_{3/4}$ 、 $C_{6/7}$ において正常モデルに比べ30%程度の圧負荷の上昇がみられた。

研究3. C_7 下端に与えた加速度と頭部重心の加速度をみると 頭部は約40msec程度遅れて立ち上がり、与えた加速度のピークより大きな加速度(約5G)を発生した。慣性の大きな頭部が初期には後方にとり残され、その後急激にひきもどされることを示している。この頭部の加速度曲線はSeveryの実測値に近似していた。

[考察ならびに結論]

鞭打ち損傷は日常診療でよくみられる疾患であるが実験的報告は少ない。実験検体の入手等の問題からこの分野では模型実験の有用性が高い。近年非線形解析や動解析を扱う有限要素法解析プログラムが工学の分野で利用されており、これを用いて頸椎鞭打ち損傷のシミュレーションモデルを作成し解析を試みた。臨床的に $C_{4/5}$ 、 $C_{5/6}$ 付近に加速度損傷が好発する点、多椎体前方固定術後に隣接椎間板に変性が生じる点などは今回の模型実験の結果とよく一致した。また頭部の挙動は過去の実測データともよく一致した。問題点としては系全体の減衰定数等の未知のパラメーターがある点や計算時間の増大などがあり今後の課題である。今後種々の画像診断装置と接続することで患者個々の頸椎応力解析をおこなうことも理論的には可能であり有用であると思われた。

学位論文審査の結果の要旨

本研究は、追突時に頸椎に作用する荷重の大きさを数学的モデル実験から推定することを目的として為されたものである。数学的モデルの作成に当たって、頸部を骨、線維輪、髄核、靭帯のみから成ると仮定し、骨標本を参考にして頭蓋骨から C_7 までを1028要素に分割した上で、有限要素解析汎用プログラムPOLAS/FEM5およびMSC/NASTRANを用いて各要素に作用する加速度を計算し、肩に加速度を加えた際の頸椎に働く加速度の計算値をSeveryらの追突実験から得られた値と比較することで、モデルの妥当性を検討している。この有限要素法を用いるシミュレーション計算から得られた結果は次の通りである。

1. 肩に加速度を加えた後、0.14秒で頸椎は最大後屈に達し、頸椎前方部では上位の椎間板に軽度の圧縮が起り、下位の頸椎は伸展する。後方部では全ての椎間板は圧縮され、特に C_4/C_5 のレベルでは5 kg/cm²の圧が生じる。
2. C_5 と C_6 を固定したモデルと正常モデルの間には、 C_5 に隣接する椎間板に働く力に差は認められない。 C_6 と C_7 を固定し、更に C_5 と C_7 を固定したモデルでは、 C_5 に隣接する椎間板に働く力は正常モデルの場合より約30%上昇する。
3. C_7 下端に加速度を加えた直後、頭部は体重心より後方にとり残され、40msec後に前方への移動が始まる。この際、与えた加速度より大きな加速度が発生する。

このモデルには、姿勢維持のために常時或る程度緊張状態にある筋の張力が無視されていること、靭帯の材料定数が不適切であること、と言ったことが今後改善されるべき問題点として残されているが、実験によって得ることの出来ない値を定量的に推定し得たことはシミュレーションの第一段階として評価に値するものである。尚、この研究は、他覚的所見の乏しい外傷性頸椎疾患の病態を解明する上で、有限要素法が有用であることの可能性を示すものであり、博士(医学)の学位を授与するに値すると考えられる。