【292】

氏　名（本籍）	椎名逸雄（東京都）
学位の種類	博　士（医　学）
学位記番号	博甲第 5813 号
学位授与年月日	平成 23 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
審査研究科	人間総合科学研究科
学位論文題目	**被側方衝撃時の頚椎三次元挙動解析** －側方衝撃による頚部傷害発生機序の解明－

主　査	筑波大学教授	博士（医学）	南　学
副　査	筑波大学准教授	医学博士	東野英利子
副　査	筑波大学准教授	医学博士	高野晋吾
副　査	筑波大学講師	博士（医学）	石井亜紀子

論文の内容の要旨

（目的）

頚椎側屈時の三次元挙動解析方法を確立し、被側方衝撃時の頚椎挙動を解明することで傷害発生部位の推定を行う。

（対象と方法）

実験 1　頚椎三次元挙動解析

頚部傷害の既往がない健常成人志願者 6 名に対し、頚部自動側屈運動時および側方衝撃時（400N、500N、600N）の頚椎正面像を X 線シネラジオグラフィ（60fps）で撮影。2 方向頚椎単純 X 線画像（正面像･側面像）上で各頚椎においてそれぞれ 3 点の特徴点（①右椎弓根中央②左椎弓根中央③棘突起先端）を特定し、その三次元座標を求め、各 3 点間の距離を算出。シネ画像上に投影された特徴点 3 点の三次元空間内座標を 3 点間の距離からフレーム毎に算出し、各フレーム間での三次元回転角度および前額面上での並進運動を求めた。解析はシネ画像上で特徴点の特定が可能な C4 ～ T1 について行った。さらに、誤差検証のため、同一試技内の 3 フレームについての解析を独立して 10 回行い、その標準偏差を繰り返し誤差として算出した。また、CT 画像を基に作成した頚椎三次元実体模型を一定角度毎に回転させ撮像し、本法にて回転角度を算出し、実際の回転角度との差を解析方法に伴う誤差として検証した。

実験 2　有限要素モデルを用いた椎間板ひずみ分布解析

実験 1 で得られた三次元挙動データのうち、男性志願者 4 名の自動側屈運動時および側方衝撃時（500N、600N）でのデータを用いて有限要素モデルを強制変位させ椎間板内のひずみ分布を解析した。頚椎有限要素モデルは CT 画像を元に C5、C6、C7 について作成した（それぞれ節点数 9034、9780、1338、要素数 34660、37402、54497）。椎体は剛体モデルとし、各椎間に椎間板（節点数 676、要素数 468）をモデル化して C5/C6 および C6/C7 レベルの単椎間モデルを作成した。実験から得られた椎体挙動データの平均値を上下の椎体の重心位置に強制変位として与え、椎間板内ひずみ分布を解析ソフト LS-DYNA（Livermore Software

Technology Corporation）を用いて衝撃負荷から各椎体間の最大側屈が観察できる140msecまでの期間を解析した。

（結果）

自動側屈運動時に頚椎は側屈挙動に加え、coupled motionとよばれる屈曲挙動及び側屈と同方向への回旋挙動を伴う。本実験では自動側屈運動時のcoupled motionが経時的に観察され、そのピーク値も過去の報告と比較し妥当な結果であった。

被側方衝撃時には自動側屈運動時とは異なり、典型的なcoupled motionを伴わない側屈挙動が認められた。誤差検証では、繰り返し誤差が約0.3°、解析方法に伴う誤差が約0.1°と測定誤差は小さく、測定法の信頼性の高さが示された。

有限要素モデルを用いた椎間板内ひずみ分布解析により、自動側屈運動では強いひずみを示す部位は少なく、生理的な三次元挙動により椎間板へ大きな負荷がかかっていないことがうかがわれる。一方、被側方衝撃時には40～100［msec］でC5/C6レベルにおいて椎間板の被衝撃側で大きなひずみが発生した。C6/C7椎間では自動側屈時と被衝撃時におけるひずみ分布に大きな差異を認めなかった。C6/C7椎間では被衝撃側の椎間関節で上下椎体の干渉を60msec以降に認めた。

（考察）

頚部側屈運動時には、中下位頚椎の各椎体間で側屈挙動およびcoupled motionが生じるが、この複雑な三次元挙動が被側方衝撃時の頚部傷害発生要因を検討する上で大きな障害となっていた。過去には屍体実験やvolunteerでの単純X線画像も用いた解析が多くなされてきたが、実際の傷害時の挙動を十分に反映していない問題点が指摘されてきた。近年、2方向fluoroscopyやコンピューターモデルを用いた解析が行われ成果をあげつつある。本研究で開発した手法は、頚椎と下顎骨との解剖学的位置関係により解析範囲が限られることや前後方向の並進運動が測定できないことなど欠点はあるが、測定誤差が小さく、頚椎椎体間の微小かつ複雑な三次元挙動の解析に有用であると考える。

被側方衝撃時に観察されたcoupled motionを伴わない側屈挙動は、頚椎の生理的な三次元挙動を規定する椎間関節に負荷をかけ、傷害発生要因の一つとなっている可能性がある。有限要素モデルを用いた解析では、椎間板内に発生する強いひずみが必ずしも椎体間の側屈角度が大きい場合に発生するわけではないことが示された。今後はモデルをより発展させ、様々な条件下でのシミュレーションを行っていくことで傷害発生要因の更なる検討が可能と考える。

（結論）

被側方衝撃時に頚椎は自動側屈運動とは異なりcoupled motionを伴わない非生理的な側屈挙動を示し、生理的な三次元挙動を規定している椎間関節に負荷をかけ傷害発生要因となる可能性がある。

審査の結果の要旨

著者は、従来の屍体実験やvolunteerでの単純X線画像を用いた解析での欠点を克服する方法として、X線シネラジオグラフィのデータをコンピューター解析する手法を開発し、頚部側屈運動時の頚椎の側屈挙動およびcoupled motionを高い信頼性で分析することに成功した。同時にそのデータから有限要素モデルを用いた椎間板内ひずみ分布解析を行い、椎体間にある椎間への衝撃を解析することにも成功した。これらの手法により、今後、各種の衝撃に対する頚椎の運動および椎間板の変化がより精緻に解析されることと思われる。その結果は交通事故などにおける頚椎への傷害の予測・予防対策に大いに寄与することが期待される。

論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（医学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。