

学 位 論 文 題 名

Dynamic Motion Analysis of Normal
and Unstable Cervical Spines Using
Cineradiography An In Vivo Study

（シネラジオグラフィーによる頸椎の連続的動態解析
－ In vivo における正常および不安定頸椎の評価－）

学位論文内容の要旨

【緒言】

頸椎疾患において、頸椎不安定性の存在は固定術を必要とすることもあり、いわゆる"不安定性"の定義は非常に重要である。しかし、頸椎の不安定性に関する一定の見解は未だに得られていない。従来、不安定性に関する指標として側面X線像における前後方向の転位や角度変形が用いられてきた。これらはX線機能撮影により静止時での最大伸展、屈曲時の各椎間の転位や角度変形を測定するものである。しかし、これらはあくまでも静止状態での測定であり、連続的な頸椎運動におけるものではない。

シネラジオグラフィーによる頸椎の連続的動態解析はいくつかあるが、頸椎柱全体での運動パターンを明らかにした報告はない。本研究ではシネラジオグラフィーを用いて、健康人の頸椎の最大伸展位から最大屈曲位までの運動パターンを明らかにし、さらに不安定性ありとされる病的状態の運動パターンとの比較により頸椎不安定性の動的評価に関して検討した。

【対象と方法】

対象は頸椎疾患の既往のない健康成人男性10例（平均年齢21.5歳）と慢性関節リウマチによる環軸椎亜脱臼10例、頸椎症によるC3/4・4/5不安定症1例、破壊性脊椎関節症によるC5/6不安定症1例である。座位にて体幹を鎖骨バンドで固定し、体幹は垂直となるように保持した。約4秒にて最大伸展から最大屈曲を下顎を引くように行わせ、X線シネ撮影装置を用いて30コマ/秒の撮影速度で連続的に撮影した。撮影したシネフィルム（35mmフィルム）の全面像120～160コマの中から5～6コマおきに選択し、デジタイザー（GRAPHTEC社製KC5500）上に約10倍に拡大投影して各椎間の動きを測定した。測定した椎体はC1からC6までである。各椎間の動きの評価のために矢状面座標系を決定した。すなわち、対象とする椎間の下位椎の棘突起先端を原点On、椎体前下縁を点An、X軸をOnとAnを結ぶ線とし、これと垂直上方にY軸を設定した。上位椎の棘突起先端をBnとして棘突起間距離OnBnを測定し、また上位椎の椎体前下縁をCnとして、各椎間のOnAnとBnCnのなす角を測定した。各々、棘突起間距離の増加量と角度の増加量を各椎間の動きのparameterとした。測定は3回行い、平均値を代表値とした。

【結果】

1 健常例

最大伸展から最大屈曲における各椎間の動きには一定のパターンがあった。すなわち運動の初期では大きな動きを示さず、その後、急激に増加する部分があり、椎間運動終了前にはほぼ一定の値をとった。その急激に増加する点を椎間運動開始とすると、その順はC1/2→C2/3→C3/4→C4/5→C5/6であった。すなわち、各椎間の運動開始は同時に起こるのではなく、時間的な"ずれ"（位相差）があり、平均位相差はC1/2とC2/3が0.36秒、C2/3とC3/4が0.56秒、C3/4とC4/5が0.4秒、C4/5とC5/6が0.37秒であった。

2 不安定例

C1/2に不安定性を有する環軸椎亜脱臼の例では、各椎間の運動開始はC1/2→C2/3→C3/4→C4/5→C5/6の順であった。しかし、正常例と比較してC2/3の運動開始が遅れており、C1/2からC2/3までの運動開始の位相差は明らかに他椎間より延長していた。またC2/3からC3/4までの位相差が短縮していた。平均位相差はC1/2とC2/3が0.75秒、C2/3とC3/4が0.2秒、C3/4とC4/5が0.36秒、C4/5とC5/6が0.31秒であった。不安定椎間であるC1/2運動終了後に他椎間の運動が開始していた。

破壊性脊椎関節症によるC5/6不安定症の例ではC1/2→C5/6→C2/3→C4/5→C3/4の順に運動を開始し、C5/6が他椎間より早期に運動を開始していた。

頸椎症によるC3/4・4/5不安定症の例では運動開始の順はC1/2→C3/4=C4/5→C2/3→C5/6であり、不安定性を有する椎間での運動開始が上位椎間であるC2/3に先行して開始していた。いずれも健常例とは異なる運動パターンを示した。

【考察】

シネ撮影による研究の多くは、主に肩関節など四肢関節の動態研究であり、頸椎動態の報告は少ない。また、頸椎動態研究の多くは、各motion segmentに関する連続動態を観察したものであり、頸椎柱全体での各motion segmentの相互関係に関する報告はこれまでなかった。本研究は頸椎の正常例と不安定例の連続動態を調査することにより、定量的にその違いを明らかにした最初の報告である。頸椎において、X線機能写における不安定性の定義が確立していない現在、このような連続動態の中から、不安定性を定義できる可能性を本研究は示している。

正常腰椎では、中間位から最大屈曲位にかけて、各椎間に一定の運動パターンがあり、上位椎間からある位相差をもって、順に運動を開始することを報告している。今回の結果から、頸椎においても、健常例では最大伸展位から最大屈曲位にかけて一定の運動パターンがあり、さらに上位椎間より下位椎間にかけて、位相差をもって運動開始することが示された。また不安定椎間を有する頸椎では、不安定椎間での運動開始が健常椎間より早かった。C1/2椎間に不安定性を有する環軸関節亜脱臼の症例では、C2/3椎間より明らかに早期に運動開始が起こり、他の不安定椎間を有する症例でも不安定椎間は上位椎間より早期に運動開始を起こしていた。いずれにしても椎間運動は各椎間で同時に起こるのではなく、各椎間によって位相差があり、しかも不安定椎間を有する頸椎では各椎間の運動開始の位相差が乱れることが明らかになった。すなわち、従来、静止画像における変位の大きさによって評価されてきた"椎間不安定性"を運動動態の乱れとして捉えることも可能であると考えられる。臨床的には頸椎固定術の適応、固定範囲の決定などに際して、より正確で有用な手法となると考える。

【結語】

シネ撮影によるin vivoの椎間運動の生理的および病的動態解析は、従来のX線学的に同定不能だった不安定性の診断等、脊椎の安定性-不安定性評価の一方法として今後期待できるであろう。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 阿 部 弘
副 査 教 授 金 田 清 志
副 査 教 授 宮 坂 和 男

学 位 論 文 題 名

Dynamic Motion Analysis of Normal and Unstable Cervical Spines Using Cineradiography An In Vivo Study

(シネラジオグラフィーによる頸椎の連続的動態解析
- In vivo における正常および不安定頸椎の評価 -)

頸椎の臨床的不安定性の評価は固定術の適応につながる重要な問題である。多くは単純X線側面機能写による変位量の測定により行われる。しかし、これらはおもに静止状態での測定であり、連続的に動態を捉えた報告は少ない。本研究では連続X線動態撮影（以下シネ撮影）を用いて、健常人と不安定性ありとされる病的状態の運動パターンとの比較により頸椎安定性-不安定性の動的評価を行った。

頸椎疾患の既往のない健常成人男性10例（平均年齢21.5歳）と慢性関節リウマチによる環軸椎亜脱臼10例および頸椎症によるC3/4・4/5不安定症1例、破壊性脊椎関節症によるC5/6不安定症1例を対象とした。座位にて体幹を鎖骨バンドで固定し、体幹は垂直となるように保持した。約4秒にて最大伸展から最大屈曲を下顎を引くように行わせ、X線シネ撮影装置を用いて30コマ/秒の撮影速度で連続的に撮影した。撮影したシネフィルム（35mmフィルム）の全面像120～160コマの中から25～30コマを選択し、デジタイザー上に拡大投影して各椎間の座標点を測定した。各椎間の動きは棘突起間距離の差と角度差をもって評価した。

健常例では最大伸展から最大屈曲における各椎間の動きには一定のパターンがあった。すなわち運動の初期では大きな動きを示さず、その後、急激に増加する部分があり、椎間運動終了前にはほぼ一定の値をとった。その急激に増加する点を椎間運動開始とすると、その順はC1/2→C2/3→C3/4→C4/5→C5/6であった。すなわち、各椎間の運動開始は同時に起こるのではなく、時間的な“ずれ”（位相差）があり、平均位相差はC1/2とC2/3が0.36秒、C2/3とC3/4が0.56秒、C3/4とC4/5が0.4秒、C4/5とC5/6が0.37秒であった。

不安定例ではC1/2に不安定性を有する環軸椎亜脱臼の例では、各椎間の運動開始は全例でC1/2→C2/3→C3/4→C4/5→C5/6の順であったが、C1/2からC2/3までの運動開始の位相差は明らかに他椎間より延長しており、平均位相差は0.75秒、0.2秒、0.36秒、0.31秒であった。不安定椎間であるC1/2運動終了後に他椎間の運動が開始している傾向を認めた。C3/4・4/5不安定症の例では運動開始の順はC1/2→C3/4→C4/5→C2/3→C5/6であり、不安定性を有する椎間での運動開始が上位椎間であるC2/3に先行して開始していた。C5/6不安定症の例ではC1/2→C5/6→C2/3→C4/5→C3/4の順に運動を開始し、C5/6が他椎間より早期に運動を開始

していた。いずれも健常例とは異なる運動パターンを示した。

シネ撮影による頸椎動態の報告はFieldingらの報告をはじめとして散見される。しかし、これらの多くは各motion segmentに関する連続動態を観察したものであり、頸椎柱全体に関する連続挙動の報告はこれまでなく、特にin vivoにおける定量解析の報告はない。今回の結果から椎間運動は各椎間で同時に起こるのではなく、各椎間によって位相差があり、しかも不安定椎間を有する頸椎では各椎間の運動開始の順が乱れることが明らかになった。頸椎不安定性の評価は、固定範囲の決定に非常に重要な問題であるにもかかわらず不確実であった。本研究では、頸椎柱全体の運動パターンにより新たな不安定性の概念を提唱しており、その意義は大きい。このシネラジオグラフィーによる頸椎の連続的動態解析を用いることにより、正常頸椎動態および病的頸椎動態をさらに解明できることが期待される。

公開発表において副査の宮坂和男教授から頸椎運動パターンについて、C1/2椎間とC2/3以下の椎間の違い、およびシネ撮影による動態評価の臨床応用に関する質問があった。次いで副査の金田清志教授から上位椎間から下位椎間への運動の波及の仕方、また不安定例の固定術後の動態の変化についての質問があった。続いて主査の阿部 弘教授からシネ撮影の定量評価による不安定性の定義の可能性、および加齢変化による動態への影響に関する質問があった。いずれの質問に対しても、申請者は自らの研究結果や過去の研究報告を引用し、論理的な考察と豊富な知識に基づいて明解に解答した。

以上、本研究は頸椎の運動パターンを明らかにした最初の独創的研究である。従来の不安定性の定義に新たな指標を提示した点で高く評価でき、今後の脊椎外科の発展に寄与することが期待される。

審査員一同は、これらの成果を高く評価し、申請者が博士（医学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。