

学位論文題名

Cineradiographic Motion Analysis of Normal Lumbar Spine under Forward and Backward flexion

前屈、後屈動作における正常腰椎の椎間動態

学位論文内容の要旨

【目的】従来より、腰椎の運動学に関する研究は数多く行われてきた。連続的な運動情報を得るために1950年代からシネラジオグラフィーが頸椎に応用されたが腰椎においての報告は少なかった。1995年腰椎にX線シネ撮影を用い、体幹中間位から前屈の椎間動態特性が報告された。この研究より、上位椎間から下位椎間へと順に開始する椎間運動の位相差が明らかとなった。しかし、体幹最大後屈位から前屈位ならびに最大前屈位から後屈位といった往復した運動における椎間動態の相違について検討した報告はない。本研究の目的は、正常腰椎の最大後屈位から最大前屈位ならびに最大前屈位から最大後屈位の異なる体幹動作において、X線シネ撮影を用いて各動作間における椎間動態特性を比較検討することである。

【対象と方法】腰椎疾患の既往がなく、レントゲン画像上異常のない健常男性10例(身長165-178cm, 平均173cm, 年齢18-23才, 平均20才)を対象とした。撮影に用いたX線シネ撮影装置はX線発生装置、イメージンテンシファイヤー及びシネカメラである。X線管電圧は85-102kV, X線管電流300mA, X線照射時間は6 msec/frameである。X線源からイメージンテンシファイヤーまでの距離を100cmとし、被験者をできるだけイメージンテンシファイヤーの近くに立たせ、椎間にできるだけ平行にX線を照射した。X線源の高さをL5椎体上縁とし、撮影範囲はL3~S1椎体とした。股関節運動を制限するため、両側上前腸骨棘と仙骨部後面を特性支持器に固定し、最大後屈位から最大前屈位、最大前屈位から最大後屈位それぞれの体幹動作を一定速度で自動運動で6秒間で行わせた。X線シネ撮影の撮影速度は30frame/secとした。撮影したL3/4, 4/5, L5/S1各椎間に局部座標系を定義した。上位椎体下縁の前方端点をBn, 後方端点をCn, とした。撮影した35mmシネフィルムを0.2秒ごとに選択し、デジタイザー画面上に15倍に拡大して投射した。Bn, Cn, のX, Y座標をデジタイザーにて測定した。各椎間の測定を3回ずつ行い、その平均値を代表値とした。各椎間の矢状面動態は、測定した点Bn, CnのX, Y変位より表され、各座標値をもとに各椎間角度、並進を算出できる。各椎間共にX, Y方向にそれぞれSDは ± 0.5 mmであった。このばらつきから生ずる椎間角度の誤差は、 ± 0.6 degであった。各端点のX, Y座標の時間的推移をもとに、椎間運動開始時刻、各椎間の並進ならびに角度変化の時間的推移、各椎間の運動開始時における椎間運動速度、椎体端点の軌跡を前屈および後屈で比較検討した。

【結果】

1) 前屈および後屈動作における時間、角度変化の関係

1-1) 各椎間における椎間運動開始時刻：前屈では上位椎間であるL3/4椎間が最も早期に、それにおくれてL4/5, 次いでL5/S1椎間の角度変化がおこる上位椎間から下位椎間へと椎間運動を開始する位相差を認めた。後屈では、L5/S1椎間より運動を開始し、下位椎間から上位椎間へと椎間運動が開始する前屈とは逆の位相を示した。個体間で運動開始時刻にはばらつきを認めた。しかし椎間運動が、前屈で上位椎間から下位椎間へ、後屈では下位椎間から上位椎間へと開始する特性には個体間差を認めなかった。

1-2) 椎間運動速度：前屈におけるL3/4椎間の椎間運動速度は3椎間で最も小さく、下位椎間になるにつれ大きくなる傾向を認めた。一方、後屈では、速度の大きさは各椎間に一定の傾向を認めず、この点

で前屈とは異なっていた。

2) 椎体端点の軌跡および移動方向：L3/4, L4/5椎間における B_n , C_n の軌跡は前屈と後屈でほぼ同一であったが、L5/S1椎間は他の椎間高位とは異なり、前屈と後屈で軌跡は異なっていた。10例全例のL3/4, L4/5椎間におけるX方向、Y方向の変位の間には強い線形の相関を認めた(L3/4: 平均 $r=0.92$, L4/5: 平均 $r=0.93$)。しかし、L5/S1椎間では、X方向への変位とY方向への変位の線形の相関は上位椎間に比べ低い上、個体間でばらつきが大きかった(平均 $r=0.71$)。10例全例における各椎体端点の移動方向を評価するため、回帰直線の傾きで表した。傾きの絶対値は、各椎間高位で比較すると、下位椎間ほど大きい値となる傾向を認めた。

【考察】中間位から前屈と中間位から後屈における椎間動態の差異については、椎間の変形様式にひずみ分布を用い、ひずみ分布が前屈と後屈で異なることが報告されている。この動態特性の違いは各動作間で主に作用する解剖学的部位の違いを反映していると考えられてきた。すなわち、前屈では椎間板の変形が大きく寄与するのに対し、後屈では椎間関節に代表される後方要素の関与が大きいと考えられた。しかし、連続的動態撮影を用いて、最大後屈位から最大前屈位ならびに最大前屈位から最大後屈位といった往復した体幹運動における椎間動態の相違について検討した報告はなかった。

本研究より、前屈と後屈両動作において椎間運動の開始には位相差があることが明かとなった。位相差は、椎間運動開始後に隣接椎間が可動するまでの時間を示す。椎間運動開始の位相が前屈と後屈で逆転する現象は、前屈では、前方要素である椎間板の関与が大きく、体幹の重心が前方に移動するに従い、椎間運動が上位椎間から順に下位椎間へと開始するのに対し、後屈では後方要素の椎間関節の関与が大きく、後屈の際、下位の接触した椎間関節を支点として椎体が回転運動し、順に上位椎間に運動が伝わると考えると理解しやすい。同一矢上面内の運動であっても運動方向が異なれば、機能する組織は異なり、その力学的特性の差異などにより動態の違いが生じるものと考えられる。

椎間高位による動態特性の相異も明かとなった。L3/4, L4/5椎間では、椎体端点の軌跡がほぼ同一であり、これは前屈ならびに後屈の共通した椎間動態特性であった。両動作間において椎体端点が、椎間運動速度といった動態特性が異なるにもかかわらず、同一の軌跡の上を往復する特性を有した。一方L5/S1椎間においては、前屈と後屈で軌跡は異なっており、上位椎間とは異なる動態特性を認めた。この軌跡の差異は、前屈と後屈で運動開始後のある時間によって運動成分が異なるからである。椎体端点の運動方向が下位椎間ほど急峻となることは、下位椎間ほど並進より回転運動が主体となっていることを表す。各椎間で解剖学的特性の一つに椎間関節の横断面における角度は下位椎間ほど大きくなることがある。下位椎間ほど椎間関節の角度が大きく、並進運動を制動する椎間関節の形態を反映していると考えられる。

【結語】

1. 前屈動作では上位椎間から下位椎間へ順に椎間運動が開始するのに対し、後屈動作では下位椎間から上位椎間の運動が開始する逆の位相となった。
2. 椎間運動速度は下位椎間ほど大きくなる傾向を認めた。一方、後屈動作ではこの傾向は認めなかった。
3. L3/4, L4/5椎体端点の前屈時および後屈時における軌跡は異なる動作にもかかわらずほぼ同一であった。L5/S1椎間における前・後屈動作間の椎体端点の軌跡は異なった。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 宮 坂 和 男
副 査 教 授 金 田 清 志
副 査 教 授 安 田 和 則

学 位 論 文 題 名

Cineradiographic Motion Analysis of Normal Lumbar Spine under Forward and Backward flexion

前屈、後屈動作における正常腰椎の椎間動態

【目的】正常腰椎の最大後屈位から最大前屈位ならびに最大前屈位から最大後屈位の異なる体幹動作において、X線シネ撮影を用いて各動作間における椎間動態特性を比較検討することである。

【対象と方法】腰椎疾患の既往がなく、レントゲン画像上異常のない健常男性 10 例を対象とした。シネラジオグラフィーを用いて最大後屈位から最大前屈位、最大前屈位から最大後屈位それぞれの体幹動作を一定速度で自動運動で 6 秒間で撮影した。撮影した 35mm シネフィルムを 0.2 秒ごとに選択し、座標をデジタイザーにて測定した。各椎間の測定を 3 回ずつ行い、その平均値を代表値とした。

【結果】

1) 前屈および後屈動作における時間、角度変化の関係

1-1) 前屈では上位椎間である L3/4 椎間が最も早期に、それにくれて L4/5, 次いで L5/S1 椎間の角度変化がおこる上位椎間から下位椎間へと椎間運動を開始する位相差を認めた。後屈では、L5/S1 椎間より運動を開始し、下位椎間から上位椎間へと椎間運動が開始する前屈とは逆の位相を示した。

1-2) 前屈における L3/4 椎間の椎間運動速度は 3 椎間で最も小さく、下位椎間になるにつれ大きくなる傾向を認めた。一方、後屈では、速度の大きさは各椎間に一定の傾向を認めず、この点で前屈とは異なっていた。

2) L3/4, L4/5 椎間における上位椎体下縁の前方端点、後方端点の軌跡は前屈と後屈ではほぼ同一であったが、L5/S1 椎間は他の椎間高位とは異なり、前屈と後屈で軌跡は異なっていた。10 例全例の L3/4, L4/5 椎間における X 方向、Y 方向の変位の間には強い線形の相関を認めた。しかし、L5/S1 椎間では、X 方向への変位と Y 方向への変位の線形の相関は上位椎間に比べ低い上、個体間でばらつきが大きかった。10 例全例における各椎体端点の移動方向を評価するため、回帰直線の傾きで表した。傾きの絶対値は、各椎間高位で比較すると、下位椎間ほど大きい値となった。

【考察】椎間運動開始の位相が前屈と後屈で逆転する現象は、前屈では、前方要素である椎間板の関与が大きく、体幹の重心が前方に移動するに従い、椎間運動が上位椎間から順に下位椎間へと開始するのに対し、後屈では後方要素の椎間関節の関与が大きく、後屈の際、下位の接触した椎間関節を支点として椎体が回転運動し、順に上位椎間に運動が伝わると考えると理解しやすい。同一矢上面内の運動であっても運動方向が異なれば、機能する組織は異なり、その力学的特性の差異などにより動態の違いが生じるものと考えられる。

椎間高位による動態特性の相異も明かとなった。L3/4, L4/5 椎間では、椎体端点の軌跡がほぼ同一であり、これは前屈ならびに後屈の共通した椎間動態特性であった。両動作間において椎体端点が、

椎間運動速度といった動態特性が異なるにもかかわらず、同一の軌跡の上を往復する特性を有した。一方 L5/S1 椎間においては、前屈と後屈で軌跡は異なっており、上位椎間とは異なる動態特性を認めた。この軌跡の差異は、前屈と後屈で運動開始後のある時間によって運動成分が異なるからである。椎体端点の運動方向が下位椎間ほど急峻となることは、下位椎間ほど並進より回転運動が主体となっていることを表す。各椎間で解剖学的特性の一つに椎間関節の横断面における角度は下位椎間ほど大きくなることがある。下位椎間ほど椎間関節の角度が大きく、並進運動を制動する椎間関節の形態を反映していると考えられる。

以上の発表に対して、副査の安田和則教授から腰椎の撮影に適している撮影速度、グラフにおいてのばらつきの原因、動態に対する年齢の影響の予想について質問があった。

次いで副査の金田清志教授から iliac crest と L5 椎体の位置関係において動態に差異が生じないか、ilio-lumbar ligament とヤコビー線の位置関係による動態に対する影響、分離、変性すべり症といった疾患においてはどのような動態が予想されるかについて質問があった。

次いで主査の宮坂和男教授から回転運動の内容について、本研究の臨床応用について質問があった。申請者は自らの研究結果や過去の研究結果を引用してほぼ妥当に解答した。

本研究は、正常腰椎の体幹動作によって異なる椎間動態特性を明らかにした。今回明らかになった正常腰椎の動態特性より変性すべり症、分離すべり症といった腰椎疾患の動態特性を解析する上で本研究は重要な基礎データになると考えられる。

審査員一同は、これらの成果を高く評価し、大学院課程における研鑽や取得単位なども併せ申請者が博士（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。