

【要約】

Hip joint stress distribution changes depending
on three-dimensional pelvic orientation:

Finite-element analysis

(骨盤の三軸配向における

股関節応力分布の変化:有限要素解析)

千葉大学大学院医学薬学府

先端医学薬学専攻

(主任：大鳥精司教授)

小島 佑美子

【背景】

股関節疾患と腰椎疾患はしばしば併発し、このような両疾患の密接な関連を Offierski と MacNab らが Hip-Spine Syndrome として提唱して以来、様々な角度から検証が続けられている。股関節と脊柱を介在する骨盤は、両関節のアライメントによって様々な方向に変位し、その傾きはまた両関節に影響を与える可能性がある。Rivière らは骨盤の過剰な後傾は相対的に骨頭被覆を減じ、変形性股関節症を生じ得ると述べており、このように、脊柱のマルアライメントが股関節に影響を及ぼす関係を Spine-Hip Syndrome として問題提起している。

骨盤の傾斜に伴う股関節への影響に関する検証として、有限要素解析を用いた股関節の応力分布をシミュレーションする手法が挙げられる。矢状面の骨盤傾斜と股関節の応力分布に関しては、有限要素解析を用いたいくつかの報告が出ており、骨盤後傾は骨盤前上方の荷重部分の応力を増大することが報告されている。しかしながら、骨盤は矢状面のみならず、冠状面、水平面においても変位し、股関節の応力分布に影響を与えることが考えられるが、それらの報告は限定的である。

我々は、正常股関節における骨盤の冠状面や水平面における傾きの変化が、臼蓋局所の応力集中を来すのではないかと仮説を立てた。本研究の目的は、形態的な異常のない骨盤が三軸で変位した際の股関節の応力分布に与える影響を検証することである。

【方法】

対象は股関節・腰椎に既往のない片側骨盤帯 5 例(女性 3 例、男性 2 例、平均年齢 78 ± 5.7 歳、左側 3 例、右側 2 例)とした。CT データから Mechanical Finder (計算力学研究センター) を用いた 3 次元モデルを作成し、線形有限要素解析にて評価した。矢状面・冠状面・水平面 0 度のニュートラルポジションを設定し、矢状面は前傾 10 度、20 度、後傾 10 度、20 度、冠状面は挙上 10 度、20 度、下制 10 度、20 度、水平面は前方回旋 10 度、20 度、後方回旋 10 度、20 度の計 13 モデルを作成した。モデルの作成に際して、メッシュサイズは 1 ~ 1.5mm とし、皮質骨表面に 0.3mm のシェルを貼り付けた。骨の材料特性には Keller(vertebrae)の換算式を用い、CT 値から求められた骨密度をヤング率に換算した。骨盤と大腿骨の間は軟骨部分とし、骨と軟骨部分は接触条件とした。境界条件設定として、仙腸関節部は完全拘束、恥骨結合は X 軸方向の部分拘束、大腿骨遠位は XY 軸方向を部分的に拘束した。荷重は大腿骨軸遠位から 600N まで負荷をかけ、立位を模擬した。また、股関節にかかる股関節周囲筋の影響を考慮し、過去の報告を参考に周囲筋付着部にそれぞれの筋の起始部の方向に次の荷重を負荷した；腸腰筋 188N、外転筋群 300N、内転筋群 69N、大殿筋 42N、深層外旋筋群 61N。

臼蓋を便宜的に 4 つの部位；臼蓋縁前上方、後上方、後下方ならびに寛骨臼窩を含む中央に分割し、各部位について応力評価を行なった。評価指標は 4 部位にかかる相当応力、最大主応力、最小主応力で、それらの平均値、相当応力と最大主応力の最大値、最小主応力の最小値を用いた。そして、4 つの評価部位それぞれの全体の体積から、相当応力は 4MPa 以上、最大応力は 2MPa 以上、最小主応力は -2MPa 以下の体積の値をそれぞれ割った体積率を求めた。これらの評価は、各角度に設定した比較条件毎に行なった。

各角度間における4部位の平均値の比較に関して、次の手順で統計処理した。はじめに、Shapiro-wilk 検定にて正規性、bartlett 検定にて等分散性を確認した。その上で、多重比較検定として Dunnett の多重比較法を実施し、ニュートラルポジションと各角度の平平均値を比較した。統計処理には、R コマンドー4.2.1 を用いた。0.05 を有意水準とした。

【結果】

矢状面では、ニュートラルポジションと比べ、後傾 20° で前上方の相当応力ならびに最大主応力の平均値がそれぞれ、1.51 倍(p=0.02)、1.57 倍(p=0.0046)と有意に増大した。有意差はなかったものの、最小主応力の平均値も 1.47 倍増大した。後傾 20 度における中央の最小主応力の平均値も 1.34 倍(p=0.0027)増大した。一方、前傾 20° では、前上方の最小主応力が 0.7 倍と減少していた。後傾 20° と前傾 20° における相当応力の最大値、最大主応力の最大値、ならびに最小主応力の最小値は、それぞれ、34.74MPa/ 27.66MPa/-36.72MPa,11.26MPa/10.54MPa/-10.96MPa であり、体積率の比率はそれぞれ 2.05/1.64/1.64,0.53/0.79/0.54 であった。後傾によって臼蓋縁前上方の応力集中が増加し、前傾によって応力緩和を来していた。

冠状面では、ニュートラルポジションと比べ、挙上 20° で前上方の最大主応力が 1.44 倍(p=0.047)有意に増大した。下制 20 度でも中央と後下方の最小主応力でそれぞれ 1.32 倍(p=0.0054)と 1.58 倍(p=0.028)の有意な増大が見られた。挙上 20° における前上方の最大主応力体積率は 20.56%で、その比率は 1.56 であった。下制 20 度における中央と後下方の最小主応力の体積率の比率はそれぞれ 1.80/2.10 と大きかったが、実際の体積率としては、6.98%/2.44%と小さかった。

水平面では、ニュートラルポジションと比べ、前方回旋 20° で前上方の最大主応力が 1.45 倍(p=0.0377)有意に増大した。前方回旋 20° における前上方の最大主応力の最大値は 23.54MPa、体積率の比率は 1.49 であった。

【考察】

本研究でも、先行研究の結果と同様、骨盤の後傾が大きくなると各応力が増す傾向にあった。後傾で臼蓋前上方に応力が高まっていた。骨盤の後傾変化は股関節の負荷を増大しうる可能性を本研究でも追認することができた。また、有意差は出ていないものの、特に前傾における前上方は全評価項目で絶対値が小さく、後傾との差が大きかったことに関して、前傾域は、臼蓋前上方の負荷が少ない配向ということが考えられる。

Spine-Hip Syndrome との観点で考えると、加齢に伴って円背になる例が多いが、そうなると骨盤はより後傾する傾向となる。骨盤の後傾により、股関節への負荷も増大し、股関節の退行性変性につながる可能性が示唆された。一方、本研究の結果では、骨盤が前傾することによって股関節の負荷が軽減することが示された。よって、骨盤前傾により股関節の退行性変性を抑制する可能性が示唆された。

冠状面に関しては、挙上における前上方の応力上昇を認めていた。後傾ほどの影響は無いが、挙上も股関節の負荷を増大し得る配向である可能性が示唆される。骨盤の冠状面の傾斜は、骨盤が挙上側の股関節の被覆を減少し、股関節脱臼を悪化させるとの報告がある。骨盤挙上は冠状面でシャープ角を増大させる方向であることを考えると骨盤挙上で股関節の負荷が増大する

という結果は妥当であると思われる。

水平面においては、前方回旋の増大で、前上方の応力が増大を認めていた。前方回旋は、臼蓋前捻角を増大する方向であり、骨頭の被覆を減少する。骨頭の被覆低下が変形性股関節症のリスク要因であることを考えると、骨盤の前方回旋というアライメントを持続することも後傾と同様、股関節の負荷増大につながる可能性がある。また、骨盤の前方回旋は大腿骨側で考えると、股関節の外旋を意味する。股関節が外旋すると運動連鎖として骨盤は後傾しやすいことを考慮すると、骨盤の前方回旋は後傾の誘因ともなり、その逆もまた然りと考えられる。また、変形性側彎症では、骨盤の冠状面のみならず、水平面でも変位を呈する。側彎症と股関節症の関連にはネガティブな報告が多いが、側彎と股関節痛に相関があったとの報告もある。骨盤後傾や挙上と同様、前方回旋といった骨盤の変位がそのまま股関節疾患につながるとは言えないが、少なくとも、応力分布を変化させることで股関節の負荷を増大し得る配向である可能性は示唆される。

【結語】

股関節の負荷を増大しうる配向として後傾、挙上、前方回旋という3方向が挙げられた。これらに共通する点は、どれも大腿骨頭の被覆を低下し得る配向であるということである。骨頭の被覆が低下すると、荷重部位が狭小化し、局所に応力が集中する。その局所が概ね前上方であろうことも共通していた。また、挙上や前方回旋より、後傾の影響が股関節にとっては大きかった。