

【要約】

Investigating Optimal Osteotomy Angles for Kienböck's and Preiser's Disease: Stress Changes in the Lunate and Scaphoid Bones Due to Closing Radial Wedge Osteotomy Using Finite Element Analysis

(キーンベック病とプライザー病における最適な骨切り角度の検討-有限要素解析を用いた橈骨閉鎖楔状骨切り術による月状骨と舟状骨の応力変化-)

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)

北條 篤志

Introduction

Kienböck 病、Preiser 病の両疾患に対する治療法は病期に応じて保存治療、血管柄付き骨移植、除圧術など様々な術式が選択されるが、その一つに橈骨嚙状骨切り術(CRWO) が挙げられる。両疾患に対する CRWO の有用性が報告されている一方で、骨切り術による力学的環境の変化を詳細に検討した報告は少ない。

本研究の目的は CRWO の骨切り角度の変化による舟状骨、月状骨の応力変化を有限要素解析 (FEA) を用いて求め、Kienböck 病ならびに Preiser 病にとって、最適な骨切り角度を明らかにすることである。

Materials & Methods

対象は 10 体の新鮮凍結屍体 (男性 5 名、女性 5 名) から 10 肢を入手した。除外基準は手関節の変形や外傷歴、変性の強い検体とした。

各検体に対して、手指 grip 位による手関節掌背屈中間位で、橈尺屈中間位、尺屈 5 度、10 度、15 度、20 度の計 5 肢位で CT 撮影を行った。

FEA ソフトウェアを使用して検体特異的 CT モデルを作成した。1 検体に対して 5 種類のモデルを作成し、中間位を骨切り術前モデルとした。中手根関節部から手根骨、橈骨手根関節、遠位橈尺関節部の間の領域を軟骨と定義しモデル化し計 102N の並進荷重をかけた。

評価項目は各モデルの舟状骨、月状骨、三角骨それぞれにおいて相当応力・最小主応力の平均値を抽出し、骨切り術前を基準として各骨切り角度における変化率を評価した。統計学的評価には Mann-Whitney U 検定、Steel 検定を用い、有意水準 0.05 未満を有意差ありと定義した。

Results

8 肢 (右 5 肢、左 3 肢、男性 5 名、女性 3 名、平均年齢 89.4 歳) が解析の対象となった。

骨切り角度の増加に伴い、相当応力および最小主応力の分布が変化した。舟状骨では遠位背側の応力集中領域が、月状骨では背尺側の応力集中領域が、それぞれ骨切り角度の増加とともに縮小した。

20 度の骨切りでは、月状骨の最小主応力が有意に減少し (-29.86%)、舟状骨でも減少傾向 (-

9.18%) を示した。骨切り角度の増加に伴い、応力は舟状骨の近位部および月状骨の橈側へと移動した三角骨は 5 度、10 度で応力増加を示したが、20 度では減少した。Steel 検定の結果、舟状骨における骨切り術前と 20 度の骨切り後での最小主応力のみ有意な減少を示した ($p = 0.047$)。

Discussion

本研究の結果から Kienböck 病や Preiser 病に対する CRWO は 20 度とすると、月状骨および舟状骨への応力を最も低減できた。舟状骨・月状骨・三角骨すべてにおいて最小主応力と相当応力の変化は同様の傾向であった。舟状骨は骨切り角が少ない 5 度では応力上昇がみられるが、10 度以上では骨切り角に比例して応力は減少した。月状骨は骨切り角度に比例して応力は減少した。三角骨の最小主応力、相当応力は 5 度、10 度の骨切りで 8.55-9.07% と増加しているが、15 度、20 度では減少し 20 度の相当応力は -0.88% であった舟状骨、月状骨内での応力は全領域において減少していたが、応力分布は骨切り角に比例して変移が生じていた。舟状骨では近位部分の減少量に比べて遠位部分の減少量が大きいため近位側に、月状骨では尺側の減少量が大きいため橈側への変移が確認された。

CRWO に関する臨床成績の報告において、Kienböck 病に対する CRWO の骨切り角は 5-15 度、Preiser 病については 15 度の報告が多く、いずれも良好な術後成績が報告されている。本研究では 5-15 度の骨切りで月状骨において 7-22% の最小主応力の減少を得られ、これらの臨床報告を支持する結果となった。さらに、20 度の骨切り角でより大きな応力減少が期待できる可能性が示唆された。

今後の展望として、術前後の CT から臨床に即した手根骨配列変化を組み込んだ解析を行うことで、より臨床的な力学変化を提示できる可能性がある。さらに、術前患者の CT を用いて患者個々の最適な骨切り角度を予測することが期待される。

Limitation

本研究では、平均年齢 89.4 歳と高齢の新鮮凍結屍体を使用しており、無腐性骨壊死の好発年齢層とは異なっている。また、骨壊死による圧壊を反映していない健常者モデルであるため、Lichtman 分類や Herbert-Lanzetta 分類の Grade3 以上の患者への適応には注意が必要である。生理的な橈

骨傾斜を考慮し、骨切り角度を 20 度までに限定している点や、中手骨骨軸への荷重のみを検討しており、他の動きについては評価できていない点も本研究の制限となっている。

Conclusion

手根骨配列を考慮した FEA 骨切りモデルによる評価で、月状骨に対する骨切り角度は 10 度-20 度が望ましいと考えられた。舟状骨については 20 度の骨切りが推奨されることが示唆された。