

107 関節の安定性に関する実験的検討

Experimental Evaluation of the Joint Stability

○学 山岸昌紀 (新潟大工) 正 原 利昭 (新潟大工)

正 中部 昇 (新潟大院)

Masaki YAMAGISHI, Faculty of Engineering, Niigata University, Ikarashi 2- 8050, Niigata

Noboru NAKABE, Graduate School of Engineering, Niigata University

Toshiaki HARA, Faculty of Engineering, Niigata University

Key Words : Biomechanics, Instability, Soft Tissue, Conformity

1. 緒言

ヒトの関節は常に負荷を受けながら複雑な運動を行っており、その機構は工学的見地からも興味深い。しかし、日常生活やスポーツ等で長年にわたり関節を酷使することによって様々な疾患を発症する場合もあり、関節を生涯にわたって正常に保つことは特に高齢者にとって切実な願いである。

関節の状態を把握する指標の1つとして関節の安定性・不安定性の概念がしばしば用いられ、従来よりこれらに関連した研究例が数多く報告されている。しかしながら、「安定性」の概念等は学問分野、特に医学と工学の間で大きく異なっており、安定性の定義についても明確に定められていない。そこで本研究では、現在までに発表されている関節安定性に関連した報告を基に関節安定性の概念及び安定性要素について検討を行った。

2. 安定性に対する医学的・工学的アプローチ

医学における関節の安定性とは、疾患等により関節が不安定となった状態に観点を置いている。これらは一般に不安定症と呼ばれ、靭帯損傷等による関節の動揺や脱臼等が挙げられる。関節の動揺とは、関節の拘束力が失われ関節の運動方向に異常が生じることであり、脱臼は、更に安定性を失い本来接合状態にある関節頭と関節窩が関節運動の際に拘束力を失い相互にずれて逸脱した状態を指す。

これら不安定症の発症原因は、関節包の弛緩、外傷等による靭帯の断裂、神経障害による筋肉の麻痺等軟部組織の拘束力の低下、および関節頭や関節窩の骨破壊や形成不全による形状の不適合が主な原因とされている¹⁾。また、アライメント不良による靭帯の不均衡と筋力の方向異常が関節の可動方向を変化させる場合もある²⁾。

関節運動における軟部組織の支持・抑制機構の重要性については従来より報告されており、例えば膝関節では、前十字靭帯が前後方向の動揺に与える影響³⁾や関節裂隙の開大度から側副靭帯の側方動揺性に対する影響⁴⁾等が報告されている。また、筋肉においても関節面の動揺、脱臼に対する抑制作用が指摘され、リハビリにおいて筋強化運動が考慮されている⁵⁾。

一方、関節面の形状適合性も発症要因の一つであり、関節面の形状不全の治療法として臼蓋形成術⁶⁾や人工関節置換術⁷⁾が行われているが、その際関節面の適合性を増すた

めに最適な関節面の形状が考慮されている。

これに対し、工学においては関節を機械的に捉え、不安定性の原因は構成要素の力学的な不均衡であるという認識から、力学的モデルを用いてこれらのメカニズムを解析する手法が用いられる。即ち、骨を剛体、靭帯等の軟部組織をバネとした剛体バネモデルをそれぞれ構築し、幾何学的関係式を求めて⁸⁾、各関節構成要素の力学的係数の変化や要素の有無に伴うモデルの挙動変化をシミュレートすることにより、関節の安定性を論じている。

3. 関節の安定性

関節安定性に対するアプローチの方法は前述のように医学と工学では異なっている。しかしながら、医学的評価において不安定症の原因が軟部組織と関節面の形状適合性に関連していること、また工学的評価において関節面の形状と軟部組織のモデル化が考慮されていることから、関節運動に伴う軟部組織による2骨間の拘束とバランス保持、及び関節面の形状適合性は関節の安定性要素であると考えられる点では両者一致している。従って、これらが相互に関連することにより正常な関節機能が保たれるものと思われる。

軟部組織と形状適合性が関節安定性に寄与する例として、図1に膝蓋骨非置換人工膝関節置換術 (Bi-TKA) 前後における、膝屈曲に伴う膝蓋大腿関節の接触圧力分布の変化を、図2に膝蓋骨の3次元運動 (膝蓋骨tracking) の一例をそれぞれ示した。なお、接触圧力分布の測定には感圧導電ゴムセンサを、また、膝蓋骨trackingの測定には、2方向同時ビデオ撮影法を用いた。

術前 (intact)、伸展位付近において、膝蓋大腿関節にはQ-angleによる外側方向の力が作用し、さらにこのときの大腿骨の接触面はほぼ平坦であるため、膝蓋骨は外側において不安定な状態、即ち脱臼傾向にある。しかし膝屈曲に伴い、大腿骨内・外側顆部の隆起により大腿骨接触面は膝蓋骨関節面に適合した形状となる。従って膝蓋骨は内側へ移動してはまりこみ、屈曲30°以降は安定した状態となる。

また、Bi-TKAにおける膝蓋大腿関節は本来の膝蓋骨関節面と人工物である大腿骨コンポーネントが接触するため、接触面積がintactに比べ減少し、形状適合性は低下しているが、膝蓋骨trackingについてはその影響はみられず同様の運動パターンが維持されていた。これは膝蓋支帯をはじめとする軟部組織が形状の不適合から生じる可動方向の異常を抑制していると思われる。

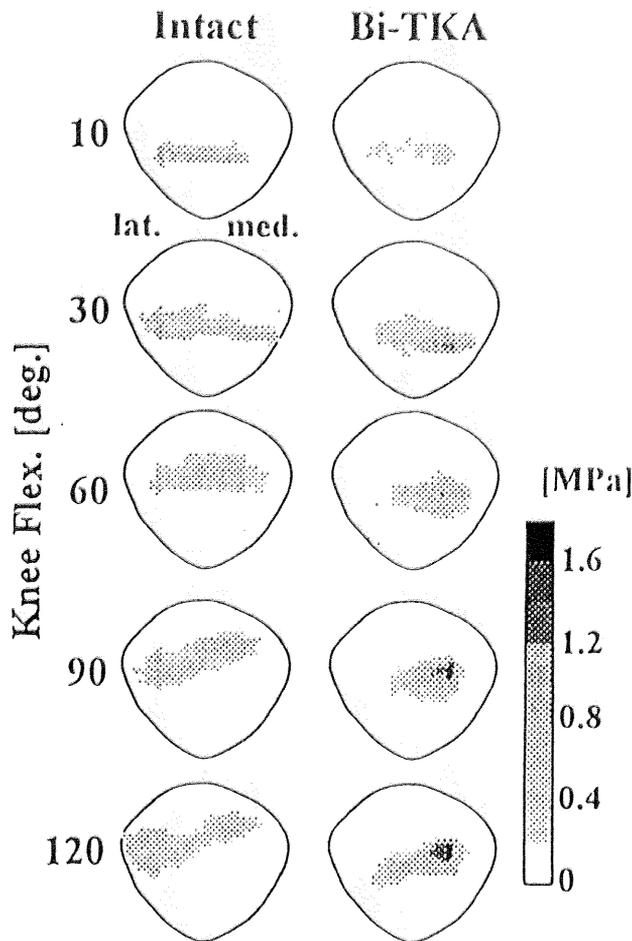


Fig. 1 Variations in the contact pressure distribution for TKA during knee flexion

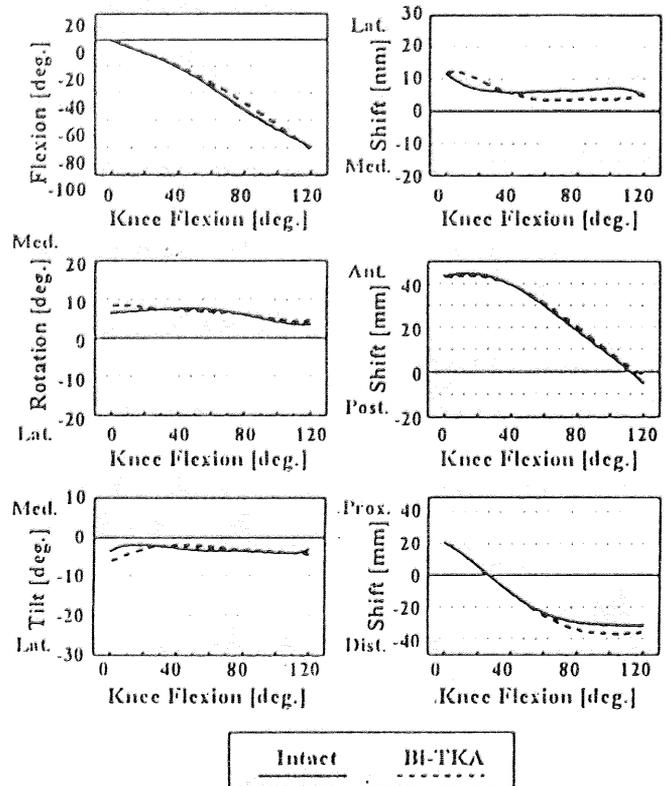
一般に、健康な関節においては生理的可動域がほぼ決まっている。しかしながら、軟部組織や関節面形状に異常が生じた場合、関節運動が生理的可動域に対して過度に、あるいは必要以上に拘束されたり、可動方向の変化が生じる場合がある。従って、関節が安定しているということは、その可動域が正常に保たれていることであると推察される。

4. 結言

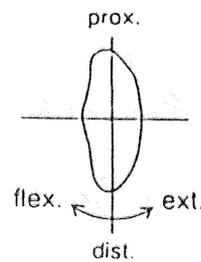
- 1) 関節安定性の要素として、軟部組織及び関節面の形状適合性が考えられ、これらが相互に関連することにより正常な関節機能が保たれる。
- 2) 関節の安定性はその可動域が正常に保たれることと等価である。

参考文献

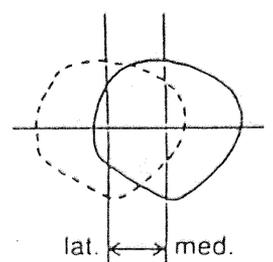
- 1) 高橋, 関節はふしぎ, (1993), 講談社
- 2) Yamashita, F.・ほか1名, Arc. Jpn. Chir., 57-3(1988), 215.
- 3) 仁賀・ほか9名, 東京膝関節学会誌, 9(1988), 228.
- 4) 高橋・ほか5名, 日整会誌, 68(1994), S605.
- 5) 例えば, Ioti, E.・ほか4名, J. Bone Joint Surg., 75B-4(1993), 546.
- 6) 中川・ほか7名, 日整会誌, 68(1994), S419.
- 7) 勝呂・ほか4名, 日整会誌, 62(1988), S1325.
- 8) 山崎, 日整会誌, 63(1989), 899.



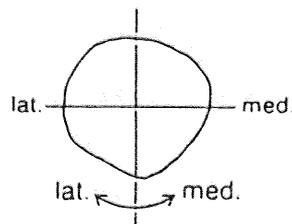
flexion-extension



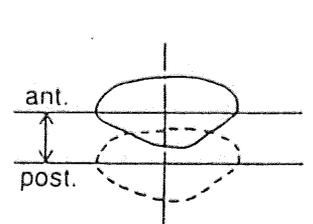
med.-lat. shift



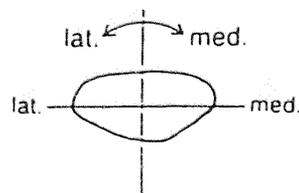
med.-lat. rotation



ant.-post. shift



med.-lat. tilt



prox.-dist. shift

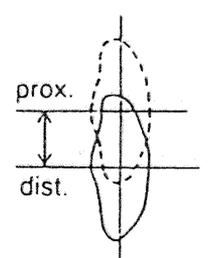


Fig. 2 Variations in the patellar tracking during knee flexion