

— 話 題 —

関節の潤滑機構と人工関節のゆるみ

多摩山病院整形外科 伊藤 博元

身体の機能は、底知れないほど無限で、小宇宙にも例えられている。多くの臓器は、正常動作時には痛みや症状も無く沈黙していて、その存在を意識することも殆どない。四肢の関節も同様で、運動機能を司る最も重要な器官であるが、over useによる関節痛、捻挫などの外傷性疼痛をきたす程度にしか関節の存在を意識しないのが一般的である。しかし、乳児期よりの股関節形成不全、小児期よりの骨端症などによる二次的関節症、リウマチ、加齢に伴う退行性変性により荷重関節の重度の痛みで悩む人も多く、疼痛寛解には人工関節への置換が大きな福音をもたらしてきた。40年前に人工股関節の臨床応用が軌道にのり、多くの患者を救ってはきたが、当初より危惧されていた人工関節のゆるみが、異なった形で再び問題視されている。

関節の機能は、とりもなおさず関節軟骨そのものと言っても差し支えない。関節軟骨の機能は、関節の運動と力の分散であり、関節に加えられた衝撃荷重を和らげ分散して軟骨下骨に伝達して、骨を守る機能がある。また、長時間にわたる起立時には、粘弾性変形を示して様々な関節運動に応じて、円滑な関節運動を可能にしている。このような緩衝作用と、円滑な運動機能を有する関節軟骨であるが、加齢につれて関節機能の低下が生じ、変形性関節症などが増加するのも確かである。弾性率が低く、わずか3mm前後の関節軟骨が、約70～80年の酷使に耐えるのは関節軟骨の持つ潤滑機構にあると考えられている。

潤滑(lubrication)とは触れ合う面の摩擦を少なくすることをさし、生体関節面の驚くべき低摩擦は面接触が極めて少なく、液体膜によって境されていると考えられている。生体の潤滑としては(1)境界潤滑(潤滑剤であるヒアルロン酸の分子膜が加わって荷重を支える)(2)液体膜潤滑(液体の潤滑剤である膜により荷重を支える)(3)弾性流体潤滑(関節軟骨が変形したり、潤滑液を滲出したりする様式で荷重を支える)が考えられる。

では、実際のヒトの生理的関節運動について考えるために、歩行のサイクルを例にあげる。歩行のサイクルとは、片側下肢の立脚期(足が地についている期間)と遊脚期(足が地から離れている期間で、立脚期での反対側下肢の状態と考えればよい)とに分けることができ、立脚期と遊脚期との繰り返しが歩行である。さらに立脚期においては、接地(heel strike)、立脚(stance phase)、離床(toe off)期があり、股、膝、足関節などが同時に同一の潤滑様式をと

るはずがなく、潤滑形式の組み合わせられた混合潤滑という考え方が成り立っている。

一方、人工関節の代表例である股関節のシステムを考えた場合、大腿骨側のボール状金属と臼蓋側のポリエチレンソケットから成り、各々骨セメントで生体に固定する方法がとられた。初期のセメント使用人工股関節ではゆるみが高頻度に発生し、骨とコンポーネントを固定しているセメントの間のゆるみが生じることがわかり、コンポーネントを骨と直接強固に接合しようとする形式が考え出されて、セメント非使用人工股関節が広く行われるようになってきた。その構造は、周辺骨組織から多孔質金属内へbone ingrowthが起きるように、金属インプラントの外側は網目状のポーラス構造となっており、臼蓋部のカップと大腿骨側のステムに網目構造が施されている。臼蓋側キャップには初期固定用の螺子用孔が存在して、その内側にポリエチレン・ライナーを固定して、骨頭側の金属球との間で低摩擦での良好な関節運動を行わせることを意図している。また、人工関節と骨との結合を早期かつ強固にするために、水酸化アパタイトをポーラス金属表面にコーティングするタイプが用いられるようになってきている。しかし、近年セメント非使用人工股関節においても長期間の使用により、関節運動を司るポリエチレンの摩耗粉によって引き起こされると考えられる人工関節周囲の骨融解が報告されて、人工関節のゆるみによる術後成績を左右する重要な問題となっている。摩耗粒子出現の量とスピードが小さい間は生体リンパ系組織によって処理されて不良肉芽組織は生じないが、時間の経過とともにその量と速度が限界を越えると人工関節周囲の骨吸収が進み、骨融解が起こりゆるみが発生してくる。磨耗粒子は臼蓋キャップの螺子孔から骨盤側へ侵入したり、大腿骨側へ飛散して骨融解を生じ、さらに血行性での遠隔転移も報告されている。人工関節の構造上の問題ばかりでなく、ポリエチレンなど材質自体の改善など、解決しなければならない点は少なくない。人工関節では、生体の関節に近づくべく低摩擦での潤滑と、一方では人工関節自体のゆるみという大きな2つの難問が未だに立ちはだかっているとよい。

人工関節の強固で長期間の良好な固定法として、より生体親和性の高い材料の開発、手術手技的な問題としてはロボットによる人工関節手術が行われ始めている。生体関節の優れた機能が、液体膜潤滑に依存している可能性が示唆されており、柔軟かく変形することが可能で液体膜潤滑が可能な人工関節軟骨の開発が、21世紀における人工関節外科の将来の一端を担うことになると思われる。

(受付: 2000年11月8日)

(受理: 2000年11月24日)