日刊工業新聞
Business & Technology
発行所©日刊工業新聞社2013
2013年(平成25年)
8 26
第21703号 月曜日

機能向上で需要拡大に応える人工関節

――最新型から未来型まで

大阪大学大学院工学研究科 教授
中野 貴由

超高齢社会を迎え、骨・骨関節障害を持つ患者数は増加の一途をたどっている。現状、国内の骨粗しょう症患者は約1200万人、変形性関節症患者は約1000万人と推定されている。変形性関節症やリウマチ性関節症などの関節疾患患者は、人工関節への置換を必要とする予備群である。現在、人工股関節や人工膝関節を含む人工関節置換術の症例数は年間約18万例あり、人工関節市場規模は金額ベースで国内にて1000億円程度まで膨れ上がっている。人口1万人に占める人工関節置換術の症例数はまだ米国の約3分の1である。国内の人工関節適応患者の理解と人工関節自体の機能向上により、今後の需要はますます拡大するものと予想されている。

長寿命化、高強度化へ

機能高め、生活の質向上

人工関節の長期臨床成績は20年で約90%の生存率との報告があり、比較的良好である。ただし再置換手術を必要とする場合も多く、人工関節の寿命は決して長いとはいえない。その上、現状の人工関節は術後の可動域に制限があり、特に若年層への適用には注意を要する。さらに疾患による骨格形状によっては、平均骨格形状に合わせて設計された人工関節は十分に適合していない。

こうした背景のもと、患者のQOL（生活の質）を向上するために人工関節の機能向上を目指したさまざまな工夫が取り組みがなされている。

人工関節は大きな力が負荷されると同時に、作業やスポーツでもたとえる過度な関節運動に耐えなければならない。大きな力のかかる部位では金属材料やセラミックスが利用され、摺動部には高分子が一般に用いられる。高分子から生じる摩耗粉は人工股関節周囲での骨溶解のきっかけとなるため、酸化劣化や摩耗を防ぐ工夫がなされている。長寿命化を目指し、酸化防止に効果のあるビタミンEの添加や架橋による高強度化、最近では生体軟骨を模倣した高分子ハイドロゲルを摺動部材表面に創製した摺動部材が利用されている。荷重を支持する金属部では生体骨となじみやすく、高い強さを示すチタン合金が多く用いられている。骨セメント固定を行わない場合では、周囲骨との固定性を短期間で獲得するための表面処理がなされている。

限りなく本物に近く

骨形状に合わせて作製

究極の人工関節は、人工物ではなく本物の関節として、あたかも振る舞い、周囲骨と同化する必要がある。その結果、骨本来の機能を決める微細なサイズでの骨構造を理解することが求められる。

骨は主にコラーゲンと複合材料である。アパタイト粒子からなる。アパタイト粒子は数十ナノ以程度のサイズで、骨の強さを担う。アパタイト中の原子は六角柱状に配置し、コラーゲン線維の方向とおおむね一致するため、人工関節周囲骨を適正に維持するためにはアパタイトの配列を制御することが重要となる。

アパタイトがコラーゲンとともに、優先的に配列する度合い「アパタイト配向性」は、アパタイトの存在量に基づく骨密度や骨の負荷とは異なる極めて重要な骨質指標となる。ここで骨質とは、骨の強さを表すための骨密度以外の指標を指す。

図1のように、アパタイトの配向性は生体骨の部位に対応して大きく変化する。人工関節を挿入する長管骨では、長手方向に沿ってアパタイトが優先的に配列する。頭蓋骨では骨面内に沿って2次元的に配列し、歯を支える下顎骨の歯冠直下では噛む方向に配列する。つまり、アパタイト配向性は力のかかる方向に優先的に配列することで、骨を強くしている。

未来型の人工関節では人工関節周囲の骨の微細構造、特にアパタイトの優先配列を崩すことなく再生・維持、骨関節機能を再建する必要がある。

元来、人工関節に用いる金属の強さは、構造を接する骨よりも5倍程度高いため力学的な信頼性は高いが、骨に力が伝わり難いという欠点がある。力を感じるセンサーとして骨細胞は骨中に埋まっているため、人工関節周囲では正しく力を感知できなくなる。その結果、骨が溶解するだけでなく、アパタイト配向性も変化し、骨の強さは劣化してしまう。

こうした弊害をなくすために、正常な骨と同程度の強さを持つ人工関節用金属や高分子材料の開発が進められている。同時に、アパタイトの配向性は力の分布や骨の疾患程度に対して敏感で感度に変化することから、骨にかむ未来型の人工関節を開発する場合の指標として利用できる。

アパタイト配向性は力の向きに沿って優先的に形成される。図2に示すように、骨と人工関節の境界では力の向きに応じた凹凸、溝、孔といった形態をシミュレーションし創製することで、周囲の生体骨が人工関節を本物の骨として認識し、アパタイトとコラーゲンを力の向きに並べることができる。人工関節と生体骨が一体化した瞬間といえる。

患者の骨形状に合わせたテーラーメード人工関節も作製できるようになっている。いわゆる光造形の技術によるもので、金属粉末を電子線やレーザーによって焼結することで、患者一人ひとりの骨格形状に合わせた人工関節を作り出す。この方法は人工関節内部の構造まで制御でき、骨に近い強さや衝撃吸収性を持つ金属製人工関節の実現も夢物語ではない。

再生医療技術との組み合わせによって早期に関節の機能を取り戻し、一生涯機能し続ける、長寿命で、日常生活に制約のない究極の人工関節の完成も遠い将来の話ではない時に、アパタイトの配向性。

図1 骨部位に応じたアパタイトの配向性

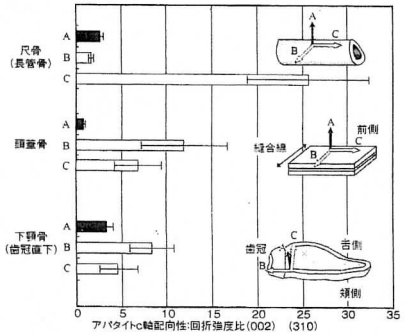
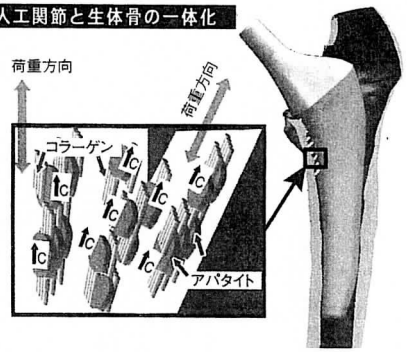
図2 人工関節と生体骨の一体化