さまざまな未使用人工関節の微細表面構造

長崎大学整形外科

宮 本 俊 之・橋 口 隆

平 野 徹

長崎県工業技術センター

馬 場 恒 明

Fine Surface Structure of Prostheses

by

Toshiyuki Miyamoto, Takashi Hashiguchi and Toru Hirano

Department of Orthopaedic Surgery, Nagasaki University

School of Medicine, Nagasaki, Japan

Koumei Baba

Material Section, Technology Center of Nagasaki

In order to investigate prosthetic wear, we observed the fine structures of the joint surface consisting of metals or ceramics in several kinds of hip and knee prostheses using a surface profile measuring system and a SEM. The hip prostheses examined were made of Al-ceramics (Kyocera), Zr-ceramics (Kyocera) and Co-Cr alloy (Zimmer). The materials of the knee prostheses were Al-ceramics (Kyocera), Co-Cr alloy (Zimmer) and Ti alloy (Zimmer). None of the prostheses were used clinically.

Surface profile measuring disclosed that surface roughness values of $0.025\text{--}0.029\mu\text{mRa}$ on all the hip prosthesis were less than those of $0.114\text{--}0.150\mu\text{mRa}$ on all the knee prosthesis. In a SEM examination, many streaks running in various directions, probably due to polishing, were observed on the surface of all prostheses. However, the streaks were coarser in all knee prostheses. We conclude that the polishing process should be improved, particularly in knee prostheses.

Key words : prostheses (人工関節), surface roughness (表面粗さ), fine surface structure (微細表面構造)

はじめに

近年、人工関節の aseptic loosening にポリエチレン摩耗粉の関与が指摘されている⁵⁾⁶⁾。さらにポリエチレンの摩耗には硬質材の表面粗さが強く影響することが、示唆されている¹⁾²⁾。そこで、我々は、人工関節の摩耗を検索する一環として、現在市販されている未使用の、人工関節表面の微細構造を観察した。

材料および方法

実際に市販されている人工膝および股関節のうち、

ポリエチレンに対応する大腿骨側コンポーネントを材料にした。人工膝関節は2社、3製品で、それらの材質はZimmer社のコバルトクロム合金(膝Co-Cr)、チタン合金(膝Ti)および京セラ社のアルミナセラミックス(膝Al)である。人工股関節も2社、3製品で、それらの材質はZimmer社のコバルトクロム合金(股Co-Cr)および京セラ社のアルミナセラミックス(股Al)とジルコニアセラミックス(股Zr)である。股Alと膝Alは、原料と製造過程が異なり、股Alは高純度アルミナと呼ばれているものである。

資料作製において、人工股関節はそのままの状態で

用い、人工膝関節は観察しやすいようにホイールカッターなどを用いて切断した。

1) 表面粗さ測定：各資料で測定部位を8ヶ所設定し、表面粗さ計 (DEKTAK 3ST) を用いて、平均粗さ (μmRa) を測定した。測定値の有意差検定は、t 検定によって行った。

2) 関節表面微細構造の観察：各資料を白金コーティングした後、走査電子顕微鏡 (SEM : JEOL, JSM6400F) を用いて観察した。

結 果

①平均表面粗さ：股関節の平均表面粗さは、最低 $0.025\mu\text{mRa}$ 、最高 $0.029\mu\text{mRa}$ で、膝関節は最低 $0.114\mu\text{mRa}$ 、最高 $0.150\mu\text{mRa}$ であった (図1)。すなわち、股関節全ての表面粗さは、膝関節のそれより有意に低値であった。しかし、股関節の材料間での有意差は認められなかった。また膝関節では、Co-Cr と Ti が Al と比べて低い傾向にあったが、Co-Cr と Ti では有意差は無かった。

②関節表面微細構造：各材質毎に異なる基本構造を有していた。各材質に共通する所見は、多方向に走る線状痕であった。基本構造や線状痕は、材料によって差があった。

セラミックスは、多角形の結晶が粒界を介して結合していた。また結晶間には微小孔が散在していた。各

セラミックス間の基本構造の違いは、膝 Al より股 Alの方が結晶粒子は小さく、粒界も目立たなかった (図2)。股 Zr は結晶粒子が小さかったが粒界ははっきりしていた。いずれも股関節の方が微小孔は目立たなかった。

Co-Cr 合金は、無構造の平滑な表面構造で、膝 Co-Cr と股 Co-Cr での差はなかった (図3)。Ti 合金は、格子状構造を示していた。

いずれの材料にも共通する所見としては、多方向に走る線状痕が見られた。この線状痕は、股関節より膝関節で目立った。特に股関節、膝関節で同じ材質を観察できた Al と Co-Cr 合金では、この違いが明らかであった (図4)。

図1 各人工関節別の表面粗さは、股関節の方が膝関節より明らかに低値であった。

a)

b)

図2 a) 股 Al ($\times 1,000$)
b) 膝 Al ($\times 1,000$)

Al-Ceramics 表面は、多角形の結晶構造と散在する微小孔があり、膝 Al より股 Alの方が結晶粒子は小さく、微小孔も目立たなかった。

図3 a) 股 Co-Cr (×1,000)
b) 膝 Co-Cr (×1,000)

Co-Cr 合金表面は無構造で、股 Al と膝 Al ではその基本構造に違いはなかった。

図4 a) 股 Al (×5,000)
b) 膝 Al (×5,000)
c) 股 Co-Cr (×5,000)
d) 膝 Co-Cr (×5,000)

膝関節と股関節を同じ材質で比較できた Al-Ceramics と Co-Cr 合金では、いずれも膝関節の方が線状痕は目立っていた。

考 察

人工関節の aseptic loosening には、ポリエチレンの摩耗粉が強く影響することが指摘されている⁵⁾⁶⁾。摩耗発生メカニズムに関しては、adhesion, abrasion, transfer, fatigue, third body などのプロセスが考えられている³⁾。人工関節におけるポリエチレンの磨耗に関して、Dowson らはポリエチレンに対応する硬質材表面の粗さが関与することを指摘している¹⁾²⁾。この事から今回我々は実際に市販されている未使用の人工関節硬質材の微細表面構造を比較検討した。

人工関節の部位による違いを、同様の材質で比較できた Al と Co-Cr 合金で見ると、基本構造に違いが見られたのは Al であった。これは、股 Al は股 Al に比しイットリアを含まず、膝 Al より細かいアルミナの一次粒子で作られていたことによる⁴⁾。一方、Co-Cr 合金ではその基本構造に差はなかった。すなわち、Al の表面粗さには材質の基本構造と線状痕が、Co-Cr 合金では線状痕が関係しており、人工関節の部位で異なる線状痕の差にはそれぞれの表面研磨過程が関係していると考えられた。人工関節の研磨法は、人工股関節は機械により研磨され、人工膝関節は基本的には手作業により研磨されている。この研磨法の違いが両者の表面粗さの差となったのであろう。

Ti 合金と Zr については、人工関節の部位の違いによる比較はできなかった。しかし、それぞれの部位で他の材質と比較した表面粗さには差はなく、基本構造の違いが表面粗さへ及ぼす影響は少ないと考えた。

以上より、それぞれの表面粗さは人工関節の部位、材質によって差があったが、材質自体の基本構造よりむしろ研磨過程で生じる線状痕がよりそれに関与する

と考えた。人工膝関節では、今後研磨法の改良の必要性が示唆された。

ま と め

①市販されている未使用の人工股関節と膝関節における金属やセラミックスなど硬質材の微細表面構造を表面粗さ計と走査電子顕微鏡を用いて検討した。

②基本構造は Al, Zr はいずれも多角形の結晶構造を有し、微小孔が散在していた。Co-Cr 合金は無構造で、Ti 合金は格子状構造をしていた。研磨痕はいずれの材料にも認められた。

③同じ材質でも人工股関節と膝関節では表面粗さには有意な差があり、膝関節の方が粗造であった。

④表面の粗さには材質の基本構造より、研磨痕が関与していると考えた。

参 考 文 献

- 1) Cooper, J.R. et al.: Ceramic bearing surfaces in total artificial joints: resistance to third body wear damage from bone cement particles. J. Med. Engin. Technol., 15.2 : 63-37, 1991.
- 2) Dowson, D. et al.: Influence of counterface topography on the wear of ultra high molecular weight polyethylene under wet and dry conditions. Proceedings of the American Chemical Society 287 Polymer Wear and its Control., 172-187, 1985.
- 3) Lisky, A.S. et al.: Biomaterials. In Orthopaedic Basic Science, pp.447-486. Edited by Simon R.S. American academy of orthopaedic surgeons, 1944.
- 4) Murakami, T., Ohtsuki, N.: Friction and wear characteristics of sliding pairs of bioceramics and polyethylene. Bioceramics., 5 : 365-372, 1995.
- 5) 松野丈夫：人工関節弛み例の病理組織学的および生化学的検索。整形外科 MOOK, 45 : 247-268, 1986.
- 6) 山室隆夫：人工関節に望まれる性質と機能。整形外科 MOOK, 45 : 13-29, 1986.