

面間圧力を変化させた時の Ti, ZrO₂, GAP-M のトライボロジー特性Tribological Characteristics of Ti, ZrO₂ and GAP-M When Contact Pressures Are Varied○大石隆太¹, 高橋博正²*Ryuta Oishi¹, Hiromasa Takahashi²

Abstract : In this study, with respect to the three kinds of artificial joint material, titanium (Ti), zirconia (ZrO₂) and hydroxylapatite (GAP-M), in combination with high density polyethylene (HDPE), we made a comparative study of tribological characteristics by varying contact pressure by the use of purified water and physiological saline as a lubricant. The result is that wear rate of each kind of material decreased as contact pressure increased.

1. はじめに

現代の医療技術の発展と進む高齢化社会において、人工関節置換術は、日常生活において動作に支障をきたすような患者にとって有用なものとなっている。現在、日本では年間数万人程度の患者が人工関節置換術の治療を行っているが、長年使用していると関節部の摩耗によりゆるみが生じ、再手術が必要となる場合もある。

そこで本研究では、現在最も多く人工関節材料に使用されているチタン合金 (Ti-6Al-4V; 以下 Ti) に加え、セラミック材料であるジルコニア (以下 ZrO₂) とヒドロキシアパタイト (以下 GAP-M) を、耐摩耗性に優れている高密度ポリエチレン (以下 HDPE) と組み合わせ、面間圧力を変化させた時に、この 3 種類の材料についてのトライボロジー特性の比較検討を行った。

2. 試料および実験方法

実験試料は、HDPE を用い、粉末より押出機にて成形し、これを外径 25 [mm], 内径 19 [mm], 高さ約 35 [mm] の円筒状に加工し、試料の摩擦面は 1200 番のエメリーペーパーで最終仕上げをした。スライダ (相手材) は、Ti, ZrO₂, GAP-M の 3 種を用い、放電プラズマ焼結機にて表 1 の条件で焼結作成し、各スライダの摩擦面は最終的に 1200 番のエメリーペーパーで仕上げた後、エタノールで洗浄した。

摩擦摩耗実験は、図 1 に示すようなスラストワッシャー型摩擦摩耗試験機を用い、端面をスライダで摩擦する方法にて行った。試料は、主軸に取り付けた試料ホルダにより固定され、スライダは、スライダホルダに取り付け固定し、スライダホルダは、テーブル上のスラストとトルクを検出する動力計に固定した。主軸は、揺動角 90° となるようなクランク機構を用いて揺動運動を可能にさせた。

実験は、表 2 に示すような条件で行った。なお、揺動運動のすべり速度は平均値である。摩擦係数は、動力計より

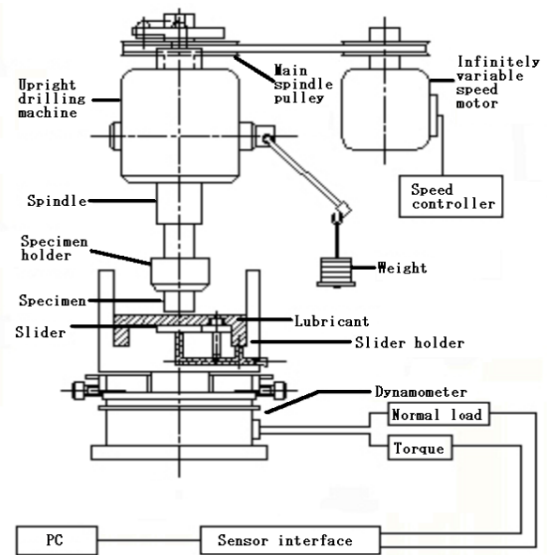


Figure 1. Experimental equipment

Table 1. Various factors of Ti, ZrO₂, GAP-M

Material	Ti	ZrO ₂	GAP-M
Sintering pressure [MPa]	29.4	29.4	10.5
Sintering temperature [°C]	1100	1200	1100
Relative density [%]	98.9	92.4	98.5

Table 2. Experimental conditions

Contact pressure [MPa]	2.0, 4.0, 6.0
Sliding velocity [m/s]	0.12
Sliding distance [m]	1000
Temperature of laboratory [°C]	23±1
Humidity of laboratory [%]	50±2
Temperature of Lubricating liquid	Uncontrolled
Movement method	Swinging (Swing angle 90°)

トルクを測定し求めた。摩耗量は、実験前後の試料の重量差を精密直示天秤で測定し求めた。また、潤滑液には精製水と人間の体液に近い生理食塩液の 2 種類を用いた。

3. 実験結果および考察

図 2 に HDPE の比摩耗量と面間圧力の関係を示す。これより、HDPE と組み合わせた Ti, ZrO₂, GAP-M の 3 種類のスライダは、面間圧力を増加させると比摩耗量は減少傾向にあることが確認できる。この要因について検討してみる。

まず 1 つ目の要因として、HDPE とスライダの揺動運動によって摩擦が増加し、粗さが増大したと考えられる。これは、表面の算術平均粗さを測定した時、実験前より実験後の方が、HDPE、スライダともに増大しているという結果が得られた。よって、算術平均粗さの増大により、組み合わせ表面の互いに接触している面積が減少し、その総和である真実接触面積が減少し、摩耗量が抑えられたと推測できる。

また、潤滑液を精製水とした場合は、面間圧力の増加による比摩耗量の変化は少ないが、生理食塩液とした場合は、比摩耗量の減少が大きくなった。しかし、精製水を用いた時よりは比摩耗量は多くなった。

次に 2 つ目の要因として、実験前と実験後の摩擦面の変化が考えられる。図 3 に実験前の GAP-M の摩擦面顕微鏡写真、図 4 に実験後の摩擦面顕微鏡写真を示し比較してみる。実験前の図においては、黒い斑点が見受けられる。この斑点が空孔である。これは、潤滑液で隔たれ、真実接触部が空孔に急接近する際に、空孔内の潤滑液に粘性による圧力が発生する現象が起こるスクイーズ膜効果により、面間圧力が増加すると比摩耗量が抑えられたと考えられる。

図 5 より、Ti の摩擦面には、空孔がなく、ほとんど HDPE の移着膜に覆われ、このため、真実接触面積が増加し、比摩耗量の減少量が小さくなったと考えられる。

また、図 6 より、ZrO₂ の摩耗面は、空孔が少ないことが確認できる。さらに、HDPE の移着膜は少なく、真実接触面積の増加は少ないと思われ、スクイーズ膜効果との相乗効果により、比摩耗量の減少率が大きくなったと考えられる。

4. まとめ

以上の実験結果より、次のようにまとめられる。

1. 各スライダに対する HDPE の比摩耗量は、面間圧力の増加に対して減少する傾向にある。
2. 生理食塩液のような人間の体液に近い成分では、面間圧力が増加するほど比摩耗量が減少してくる。

5. 参考文献

- [1] 高橋博正：人工関節材料としての Ti, ZrO₂, GAP-M の面間圧力に対するトライボロジー特性, 日本設計工学会 2010 秋季研究発表講演会, 2010
- [2] 菅野英紀, 中川博貴, 高橋博正：Ti, ZrO₂, GAP-M を相手材とした時の人工関節材料の耐荷重性, 平成 21 年度理工学部精密機械工学科卒業論文, 2009

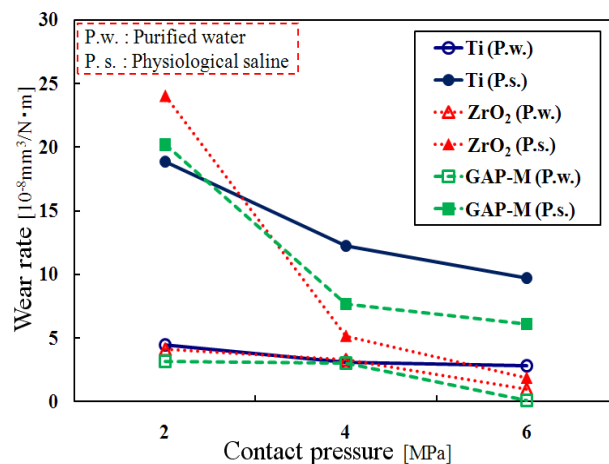


Figure 2. Relationship between wear rate and contact pressure of HDPE

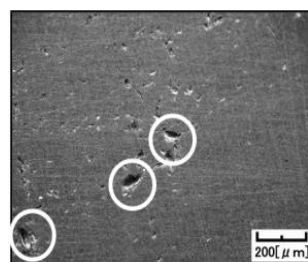


Figure 3. GAP-M (Before experimental)

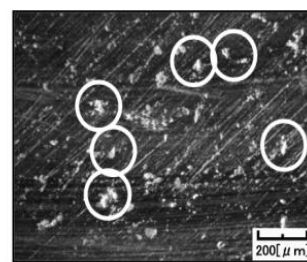


Figure 4. GAP-M (6MPa) (After experimental)

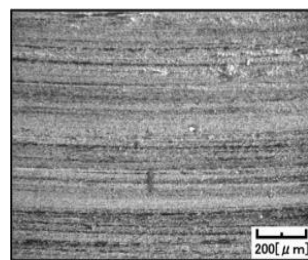


Figure 5. Ti (6MPa) (After experimental)

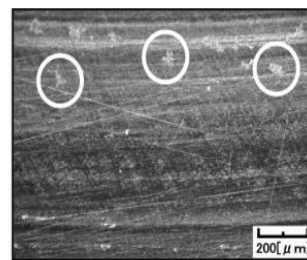


Figure 6. ZrO₂ (6MPa) (After experimental)