

212 人工関節摺動面の潤滑特性向上に関する基礎的研究

北海道大学工学部 ○井久保圭一 西村生哉 下岡聡行 勇田敏夫

要旨

人工関節摺動面に対し、潤滑特性に優れた独自の表面形態、および表面の改質を提案した。これらを施した試料に対して摩擦摩耗試験をおこなった結果、その潤滑性能に関して優位性が確認された。

1. 緒言

現在、人工関節は股関節、膝関節などにおいてさまざまな型が存在しているが、基本的な型はほぼ確立しているようである。また、材料の面では骨頭およびソケットが、金属あるいはセラミックスと超高分子量ポリエチレンの組合せからなるのが一般的となっている。これら材料面での新素材活用に加え、構造上および手術法の改善などにより、人工関節の性能は向上してきた。しかしながら、摺動面の摩耗や人工関節と骨の間の緩みなどの問題にたいしては今なお、十分な解決が得られていない¹⁾²⁾。そこで本研究では、人工関節の摺動面に表面改質を行い、さらに潤滑特性に優れた表面構造を開発することでこの摩耗を減少させることを目的としている。今回、潤滑面に凹凸パターンを付加することを提案し、基礎実験により、この摩擦摩耗に関する優位性についての検討を行なったので報告する。

2. 装置と方法

今回の摩擦摩耗試験は人工関節のソケットとして広く用いられている超高分子量ポリエチレン(UHMWPE)と生体適合性に優れた窒化チタンを蒸着した試料の間でおこなった。

2-1 摩擦摩耗試験装置

図1に装置内の接触部分の概略図を示す。軸に回転を与えることにより、回転軸に取り付けられたUHMWPEと試料の間で摩擦摩耗試験をおこなえる。また、試料取付台に発生する摩擦力による回転方向の荷重をロードセルで測定し、摩擦力の経時変化を観察することができる。

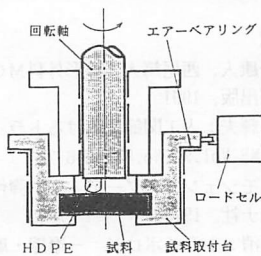


図1 摩擦摩耗試験装置の接触部分概略図

2-2 超高分子量ポリエチレンとステンレス試料

図2は鏡面仕上げしたステンレス試料と接触部分を20Rの球面に仕上げたUHMWPEを示す。球面仕上げにした理由は片当りなど不安定な要素をなくし、極めて小さな点で接触させることで試験毎の格差なく接触面の摩擦状態を観察できるようにするためである。

2-3 凹凸パターンの作成

パターン作成はフォトリソグラフィによりおこなった。ネガマスクはパターンをコンピュータを用い作図し、それを縮小写真撮影することで得た。これを用い、表面にレジストを塗ったステンレス試料(ラッピングおよびバフ仕上げ済み)に露光、現像、エッチングの行程を経てパターンを形成した。その表面に窒化チタンをスパッタ蒸着し試験試料とした。図3に径0.2mm-ピッチ0.4mmのパターンを示す。また、パターンの凹凸はレジストのネガ、ポジタイプの使用で選択できる。今回の試験ではパターンの大きさは径0.1, 0.2, 0.3mmを用意し、深さは3μm程度、窒化チタンの膜厚は3~4μmとした。



図2 ステンレス試料とUHMWPE

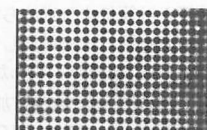


図3 パターン(径0.2mm-ピッチ0.4mm)

2-4 試験条件

荷重: 1.00 kgf 1.50kgf
試験開始時接触面積³⁾: 0.16 mm² (1.00 kgf)
0.24 mm² (1.50 kgf)

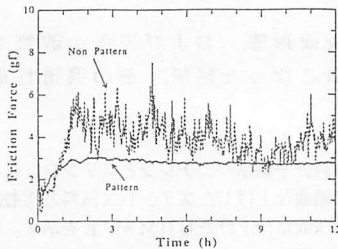
回転数: 300 rpm

試験時間: 12 h

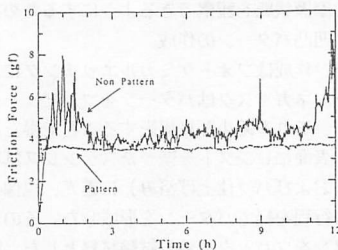
3. 結果および考察

摩擦摩耗試験実行中の摩擦力の変化を図3、図4に示す。パターンを付加しない試料を使用した場合、摩擦力の変動が大きく、不安定であった。しかし、パターンを付加した試料を使用した場合、その摩擦力は付

加しない場合と比較して、低く、非常に安定した状態が続いており、明かにパターンを付加した場合に優位性が見られる。これより、パターンを付加することにより潤滑効果が向上するものと考えられる。



(1.00 kgf)



(1.50 kgf)

図4 摩擦力の経時変化

図5に試験後の窒化チタン膜表面の様子を示す。試験開始前、荷重を加えただけの状態での接触幅は0.5mm程度と計算により求められているが、写真において傷の幅が2mm近くまで増加しているのは、摩耗によりUHMWPEの球面がくずれたことによる。これらを比較する限り、パターンを付加した場合にわずかに優位性が確認された。図6、図7は試験後のUHMWPE表面の様子を示す。図6において傷の大きさ等からその優位性を判断するのは難しいが、その傷の付き方に明かな相違が見られた。表面を拡大して比較するとパターンを付加しない試料を用いた場合、その潤滑状態の低下により表面はひどく荒れてピッチングが生じているのが観察された。これは凝着摩耗がおきたことによると考えられる。一方、パターンを付加した試料を用いた場合、そのような表面の荒れは少なく、潤滑性能に優れていることがうかがえる。また、図7はさらに拡大したものであるが、パターンを付加しない場合に窒化チタンの摩耗片が多く観察された。写真上白く光って見えるのがこれに相当する。これは局所的に高い接触圧力を生じさせ、加速度的に摩耗を増加させることになる⁴⁾。

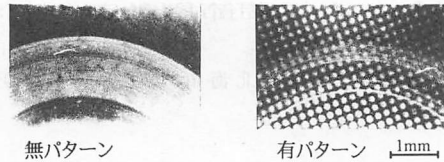


図5 試験後の窒化チタン表面

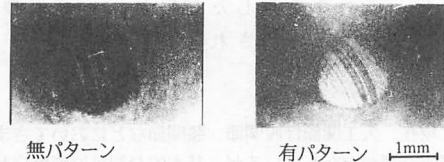


図6 試験後のUHMWPE表面

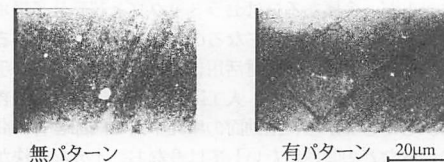


図7 試験後のUHMWPE表面

以上の結果は、パターンを付加することにより、摩耗に多大な影響を及ぼす摩耗片を逃げ込ませるスポットを与えることになること、潤滑剤も同様にスポットに入り込み、接触面間の潤滑効果を高めることになると考察される。

4. 結論

今回の基礎実験により、UHMWPEと窒化チタンからなる摺動面において、窒化チタンの表面をパターン状にすることは、その潤滑性保持機能から有効であることが認められた。今後、摺動面の形状、潤滑液の性質、かかる荷重等に対して適切なパターンの大きさ、および深さ等について検討する必要があるが、この基礎研究の結果から生体環境に最適な表面構造を開発することにより、人工関節における摩耗をよりいっそう減少させる可能性が十分にあると考えられる。

参考文献

- 1) 伊丹康人、西尾篤人：整形外科MOOK人工関節 金原出版、1991
- 2) 村上輝夫：人工関節におけるトライボロジー J. JSME Vol.1.92, No.844, 206-211
- 3) ティモシェンコ、グーディア：弾性論 コロナ社、1973
- 4) 松原清：トライボロジー - 摩擦・摩耗・潤滑の化学と技術 - 産業図書、1981