

115 PAMPS-PDMAAm ダブルネットワークゲルの摩擦摩耗特性評価

Evaluation of Friction and Wear Properties of PAMPS-PDMAAm Double Network Hydrogel

○ 藤田 恭平 (室蘭工大院) 正 藤木 裕行 (室蘭工大)
 正 臺丸谷 政志 (室蘭工大) 塩崎 修 (室蘭工大)

Kyouhei FUJITA, Muroran Institute of Technology, Mizumoto-cho 27-1, Muroran-shi, Hokkaido
 Hiroyuki FUJIKI, Muroran Institute of Technology
 Masashi DAIMARUYA, Muroran Institute of Technology
 Osamu SHIOZAKI, Muroran Institute of Technology

Key words: Friction and wear, Pin-on-flat, In vitro, Natural articular cartilage, Artificial articular cartilage, Double network hydrogel

1. 緒 言

変形性膝関節症や慢性リウマチなどの患者に対して、膝関節を全て人工物で置き換える人工膝関節置換術が行われている。しかし、セラミックスと超高分子量ポリエチレン（以下 UHMWPE）の組合せからなる人工膝関節にはいくつかの問題点が指摘されている。その中で最も深刻な問題は、人工膝関節と生体組織の間で生じる緩みである。この問題の解決策として、人工膝関節を使わずに関節軟骨病変部位のみを人工軟骨で置換するという治療法が考えられている。しかし、人工軟骨に求められる条件は高強度、低摩擦、耐摩耗性、生体適合性、衝撃吸収能力など多くの条件があり、現在、人工軟骨として多くの研究が行われている PVA-H^{1),2)} (Poly Vinyl Alcohol Hydro-Gel) は、まだ臨床応用されていない。

近年、4種類の高強度低摩擦ダブルネットワークゲル^{3),4)} (以下 DNゲル) が開発された。なかでも PAMPS-PDMAAm DNゲルが生体内劣化特性⁵⁾、耐摩耗特性⁶⁾ から人工関節軟骨として期待できる材料であることがわかった。これを臨床応用するために本研究を含め様々な研究が行われている。

本研究では、人工軟骨を軟骨病変部位に置換した場合を想定し、人工軟骨と生体軟骨との摩擦を生体外 (in vitro) で再現して、PAMPS-PDMAAm DNゲルが生体軟骨に与える損傷の程度を明らかにすることを目的としている。したがって、生体内に近い環境で試験を行うことができるピン・オン・フラット型往復動摩擦摩耗試験装置を開発し、生体軟骨対生体軟骨、生体軟骨対 PAMPS-PDMAAm DNゲル、および生体軟骨対 UHMWPE の3種類の摩擦摩耗試験を行い、摩擦係数と摩擦による生体軟骨の損傷を比較、評価した。

2. 摩擦摩耗試験装置

本研究で開発した試験装置の概略図を Fig.1 に示す。回転アームの自重によって上部試験片に垂直荷重が発生し、下部試験片が左右に往復動すると、上部試験片との間に摺動が起こる。このときの摩擦力をリン青銅板に貼った4枚のひずみゲージ (共和電業製: KFG-1-350-C1-16) により測定した。本研究では Fig.1 の回転ピンに、左方向から力が加えられたときの摩擦力の方向を正、右方向を負とした。摩擦係数は 10 サイクル中での最大と最小の摩擦力の絶対値を平均し、垂直荷重で除した値とした。これらはパソコンによってリアルタイムで監視できるシステムになっている。試験環境は生体内の環境に近づけるために試験装置にヒータと防塵カバーを取り付け、潤滑液の温調と無菌環境を維持している。

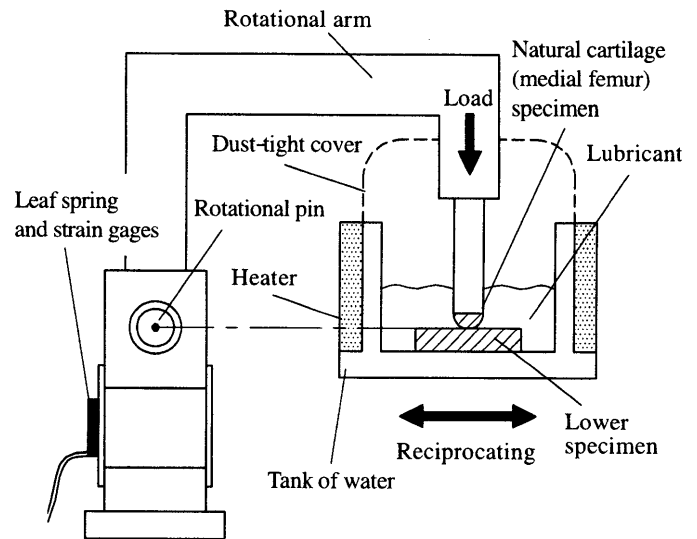


Fig.1 Schematic diagram of pin-on-flat type reciprocating friction and wear test apparatus

3. 試験方法

3-1 試験片 本研究では上部試験片を生体軟骨、そして下部試験片は生体軟骨、PAMPS-PDMAAm DNゲル、UHMWPEの3種類で摩擦摩耗試験を行った。生体軟骨には日本白色家兎の後肢膝関節を使用し、上部試験片に大腿骨内側顆、下部試験片に脛骨内側顆をそれぞれ用いた。

上部試験片は大腿骨を長さ40mmに切断しアルミパイプ (直径15mm, 長さ75mm) に、下部試験片の生体軟骨は脛骨の長さを25mmに切断しアクリル板に固定されたアルミパイプ (直径25mm, 長さ20mm) に、それぞれ樹脂 (OSTRON II) で固定した。なお、生体軟骨の試験片への加工はすべて滅菌状態で行った。

ポリ-2-アクリルアミド-2-メチルプロパンスルホン酸 (PAMPS) とポリジメチルアクリルアミド (PDMAAm) を用いた合成高分子から成る PAMPS-PDMAAm DNゲルは、厚さ8mmの板状のものから寸法40mm×25mm×8mmに切り出し、滅菌を行い使用した。

UHMWPE (日本メディカルマテリアル製) は、形状が75mm×25mm×5mm、摩擦摺動面を人工膝関節の仕上げ状態と同等に加工されたものを、オートクレーブ滅菌を行い使用した。

Fig.2に各下部試験片の固定方法を示す。(a)の生体軟骨は試験片が固定された板を、(b)のPAMPS-PDMAAm DNゲル

は摩擦摺動方向を拘束するアクリル製の固定治具を、そして(c)のUHMWPEは試験片を直接、水槽の底にネジで固定した。

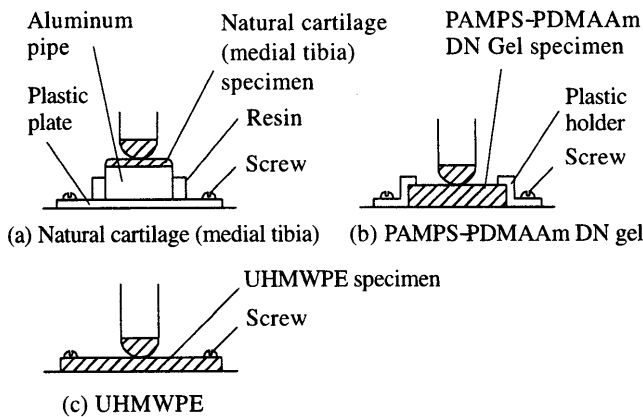


Fig.2 Fixing method of each lower specimen

3・2 摩擦摩耗試験 3・1節で述べた3種類の下部試験片を使用し摩擦摩耗試験を行った。試験条件を以下に示す。

- ・垂直荷重：4.5N (兎の体重約3.7kgfの1/8)
- ・ストローク：5mm (1サイクル10mm)
- ・サイクル周期：1cycle/s
- ・平均摺動速度：10mm/s
- ・総サイクル数：50×10⁴cycle
- ・培養潤滑液：DMEM培地
- ・培養潤滑液温度：37.0±1.0℃

試験後、上部試験片である生体軟骨（大腿骨内側顆）から組織標本を作製した。

4. 結果

4・1 生体軟骨(上部試験片)の顕微鏡観察 作製した組織標本の顕微鏡観察を行い、上部試験片である生体軟骨(大腿骨内側顆)の損傷の確認をした。対UHMWPEは重度の損傷、対PAMPS-PDMAAm DNゲルでは軽度の損傷が確認され、対生体軟骨においては損傷を確認できなかった。

4・2 摩擦摺動部の軟骨厚さ Fig.3 に各試験の摩擦摺動部分における最小の軟骨厚さを示す。

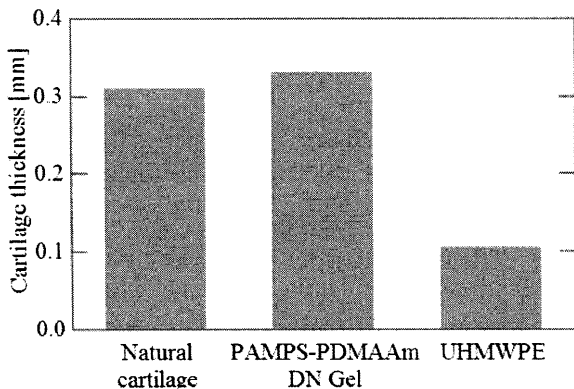


Fig.3 Cartilage thickness of upper specimen (medial femur) after the test

Fig.3に示すように、対UHMWPEが最も軟骨厚さが薄く、他の2つと明確な差が確認できた。対PAMPS-PDMAAm DNゲルは顕微鏡観察において軽度の損傷が観察されたが、対生体軟骨よりも軟骨厚さが厚い結果になった。こ

の原因は生体軟骨の個体差による影響であると考えられる。今後は個体差による差異をなくするために検体数を増やす必要がある。

4・3 摩擦係数 Fig.4 に各試験の摩擦係数の変動を示す。対UHMWPEの摩擦係数は変動が激しく0.24~0.34と高い値になった。これは上部試験片である生体軟骨(大腿骨内側顆)の摩耗が進行したためと考えられる。

対PAMPS-PDMAAm DNゲルの摩擦係数は、摺動回数の増加と共に緩やかに上昇し、0.07~0.14となった。上部試験片の損傷は軽度であったが、PAMPS-PDMAAm DNゲルに摺動方向の摩耗が確認できた。摩擦係数の上昇は、PAMPS-PDMAAm DNゲルの摩耗によるものだと考えられる。

対生体軟骨は摩擦係数の変動はなく安定しており、0.03と最も低い値になった。これは上部試験片の損傷が観察されなかったことから、摩擦摺動状態に変化がなかったためと推測される。

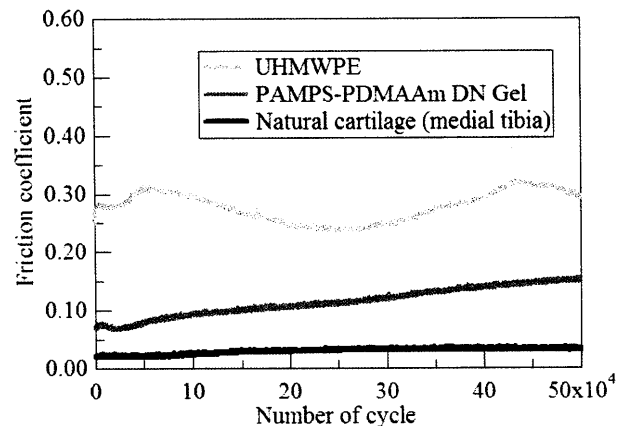


Fig.4 Variation of friction coefficient with number of cycle

5. 結言

開発した試験装置を用いて行った3種類の摩擦摩耗試験により、以下の結言が得られた。

- 1) PAMPS-PDMAAm DNゲルは摩擦係数、生体軟骨の損傷において、UHMWPEよりも優れている材料であり、生体軟骨に近い材料である。
- 2) 摩擦係数、生体軟骨の損傷を比較評価するうえで、個体差による差異をなくすために、今後検体数を増やす必要がある。

参考文献

- 1) 中嶋和弘 他：人工軟骨としてのPVAハイドロゲルの摩擦摩耗に及ぼす蛋白成分の影響。日本臨床バイオメカニクス学会誌 23(2002),311-315。
- 2) 熊谷一星 他：半関節形成術用人工関節軟骨 Poly (vinyl alcohol) Hydrogel のトライボロジ特性評価 (第2報)。日本臨床バイオメカニクス学会誌 25(2004),109-115。
- 3) Gong JP, Katsuyama Y et al. Double network hydrogels with extremely high mechanical strength. Adv Mater 15 (2003), 1155-8。
- 4) Kaneko D et al. Mechanically strong hydrogels with ultra low frictional coefficients. Adv Mater17(2005), 535-8。
- 5) 東千夏 他：4種類の高強度低摩擦ダブルネットワークハイドロゲルの生体内劣化特性の生体工学的評価。日本臨床バイオメカニクス学会誌 26(2005),197-204。
- 6) Yasuda K et al. Biomechanical properties of high-toughness double network hydrogels. Biomaterials26 (2005), 4468-75。