OS10-03

Optical Coherence Tomography を用いた 組織内流動特性の断層可視化による基礎的検討

Basic Study on Tomographic Visualization of Flow Characteristics inside Tissue using Optical Coherence Tomography

○学 平田 智之^{*1}, 井上 敬介^{*2},正 佐伯 壮一^{*2}, 塚原 義人^{*3}Tomoyuki HIRATA^{*1}, Keisuke INOUE^{*2},Souichi SAEKI^{*2} and Yoshito TUKAHARA^{*3}^{*1} 名城大学大学院 Graduate School of Science and Technology, Meijo University^{*2} 名城大学 Faculty of Science and Technology, Meijo University^{*3} 日本シグマックス株式会社 NIPPON SIGMAX inc

Key Words : Osteoarthritis, Optical Coherence Tomography, Optical Coherence Doppler Velocigraphy, Viscoelasticity, Permeability, Cartilage

1. 緒言

超高齢化社会を迎え、変形性膝関節症（OA）⁽¹⁾等のロコモティブシンドロームによる労働力低下問題が取り立たされ、有効な初期 OA 診断法の確立が求められている。本研究では OCT を用いて荷重負荷における組織内流動特性の断層可視化評価を行い、軟骨組織の力学特性診断への有効性について検討する。

2. 実験

ドップラーOCT（OCDV）⁽³⁾は光干渉断層法（OCT）光学系によって構成され、低コヒーレンス干渉信号にヒルベルト変換と隣接自己相関法に基づく周波数位相解析の適用によって、組織液の流動速度または組織変位速度をドップラー変調周波数としてマイクロ断層可視化することができる。本研究では、荷重負荷デバイスとして圧縮試験機を利用し、荷重負荷と同軸にて組織内流動速度をマイクロ断層可視化する OCDV システムを構築した。OCDV の奥行分解能は 7.5 μm である。参照アームにおけるレゾナントミラーの共振周波数は約 4.0kHz で、これが奥行き断層走査レートとなる。圧縮試験機は圧縮量 100 μm 、圧縮速度 100 $\mu\text{m}/\text{sec}$ で荷重付加する、撮影方法は同一軸連続計測（M モード）で行った。サンプル組織としてブタ関節軟骨を用い、比較対象にコラゲナーゼ酵素処理を 2 時間施した模擬変性軟骨にも適用した。

3. 実験結果および考察

組織形態断層分布の時間変化を観察すると、正常軟骨に比べ模擬変性軟骨の組織変位量は大きいことが定性的に確認できた。ドップラー速度断層像からは、軟骨組織もしくは組織液が表面に向けて運動していることが可視化され、正常軟骨の中層では約 20 $\mu\text{m}/\text{sec}$ であるに対し変性軟骨では約 50 $\mu\text{m}/\text{sec}$ と 2 倍以上高いことが分かった。更にドップラー速度は奥行き方向に分布し、軟骨表層は中層に比べ低く大きなひずみが発生していることが確認された⁽¹⁾。これらは模擬変性軟骨ではコラーゲン線維の破壊やプロテオグリカンの離脱によって、弾性特性が低下したことが原因と考えられる。応力緩和開始から約 0.5[s]におけるドップラー速度は、正常軟骨は 5 $\mu\text{m}/\text{sec}$ 以下と直ぐに運動停止するのに対し、模擬変性軟骨では 20 $\mu\text{m}/\text{sec}$ 程度と大きかった。これは相互相関法による組織ひずみ速度の計測結果⁽¹⁾と同様であり、組織透水性の向上すなわち粘性特性の低下が原因と考えられる。

4. 結言

本研究では、OCT を用いて荷重負荷における組織内流動特性の断層可視化評価を行い、組織力学特性診断を行った。本手法の軟骨組織力学特性診断の有効性が示唆された。

文 献

(1) Nakamura S., et al, BMC Musculoskeletal Disord 20, 417(2019)

(2) 佐伯 壮一 他, 日本流体力学会誌 38 巻第 4 号 pp275-282.