腰椎黄色靱帯の加齢に伴う力学的特性の検討

山口大学整形外科

上 野 宏 泰・田 口 敏 彦

豊 田 耕一郎・市 原 和 彦

河 合 伸 也

町立大和総合病院整形外科

河 野 清

Biomechanical Property of the Ligamentum Flavum with Age

Hiroyasu Ueno, Toshihiko Taguchi, Koichiro Toyota,
Kazuhiko Ichihara, and Shinya Kawai

Department of Orthopaedic Surgery,
Yamaguchi University School of Medicine,
Yamaguchi, Japan

Kiyoshi Kawano

Department of Orthopaedic Surgery,
Choritsu Yamato Hospital, Yamaguchi, Japan

We investigated changes in the biomechanical properties of the ligamentum flavum (L4/5) with age. The ligaments of young patients with herniations and elderly patients with lumbar canal stenosis (LCS) were studied. We used a very specific machine for tensile test: it can maintain the edges of the ligament; and the stress-strain curve is equal to that of the ligament itself that is separate from the bone. Comparison between the young and elderly showed no clear differential mechanical properties in the physiologic strain range and speed. This indicated that histological change does not influence ligament properties to a great extent, and disc narrowing (major changes with age) causes ligament shortening and disfunctioning.

Key words : ligamentum flavum (黄色靱帯), biomechanical property (力学特性), lumbar canal stenosis (腰部脊柱管狭窄症)

はじめに

黄色靱帯は、変性疾患においては後方圧迫要因となる。黄色靱帯の力学特性を検討し、加齢との関連について考察した。

目 的

腰部脊柱管狭窄症の黄色靱帯に着目した。加齢によ

る黄色靱帯の変性を報告した病理学的論文は以前より多数あるが、これを力学的特性から論じた論文は少ない。

若年者と老年者の黄色靱帯の力学特性を比較して、黄色靱帯の画像上のたぐれこみについて、その成因を予測した。すなわち力学特性に差があれば靱帯の弾性力の低下が主要因であり、差がなければ椎間板腔の狭小による靱帯長変化すなわち形態変化が主要因と考えられると仮定した。

方 法

試料は、術中摘出した黄色靱帯であり、骨形成的椎弓切除の際、黄色靱帯を椎弓付着部より一塊として丁寧に摘出した。椎間レベルは L4/5 間の黄色靱帯とした。

摘出後生食ガーゼに保存し、3 時間以内に引張り試験を行った。

試料は、黄色靱帯深層の硬膜側を使用、短冊状の角柱に作製した。厚さ幅は $1.5\text{mm} \times 1.5\text{mm}$ となるよう個々に計測し、長さは線維方向に一致させた。

実験装置は、直接靱帯を保持することが可能である特殊引張り試験器を使用した。

引張り条件として、より生理的運動に類似するように設定した。すなわち、自然長で靱帯を取り付け、速度はひずみ $0.05/\text{s}$ ・長軸に対し 30% のひずみを加え、破断はさせなかった。3 回繰り返した後のデータを使用した。断面積を測定し、単位面積あたりの応力-物質の硬さとひずみの関係-をコンピュータソフトで算出した。

対 象

60 才以上の腰部脊柱管狭窄症（以下 LCS）群 15 例を対象とした。コントロール群として、若年者 20 才代のヘルニア群 3 例とした。2 群間の応力-ひずみ

図1 ヘルニア群・LCS群の応力ひずみ曲線

曲線および弾性係数を比較検討した。統計学的処理は t 検定を用いた。

結 果

若年者のヘルニア群の応力-ひずみ曲線は、3 例とも正規分布を示し、個人差なくほぼ同様の曲線を得た。LCS 群 15 例もヘルニア群の曲線と類似していた（図1）。

これら 2 群について、0.3 までの各ひずみにおける

図2 各ひずみにおける弾性率の比較

図3 引張り試験機
500N ロードセルを使用、靱帯の直接保持を可能とした。

弾性係数—曲線の傾きを統計学的に比較検討した。各ひずみにおいて有意差は認めなかった(図2)。

これは若年ヘルニア群および老年 LCS 群を比較した本実験では、黄色靱帯の加齢変化に対して、力学的変化は有意には認めなかったことを意味した。

考 察

腰椎靱帯の力学特性は、諸家によりさまざまな機器によって測定され報告²⁾⁻⁵⁾されている。しかし、機器・引張り条件も異なり、単純に比較できない。1981年当時の引張り機器は、靱帯は骨付きで採取され、骨を機器に保持して行われている。厳密に言えば骨靱帯付着部の力学特性を含んでいることとなる。本実験は機器の改良により図3のように靱帯を直接保持することを可能にした。骨靱帯付着部の力学特性は膝靱帯損傷で注目され、速い速度では靱帯部の損傷で、遅い速度では骨部の損傷となりやすく、速度の条件により影響を受けやすい⁷⁾。また、過去の靱帯の力学特性はほとんどが破断点付近の応力で比較検討されている。1981年、Panjabi は腰椎靱帯における生理的ひずみを研究し、屈伸・側屈・回旋運動にても腰椎の全靱帯は最大20%のひずみ範囲内であったと報告⁸⁾し、腰椎バイオメカにおいて、この範囲内での三次元の力学特性を強調している。

本実験は黄色靱帯のみを生理的な速度および運動範囲内で検討したもので、過去に報告がない。

加齢による黄色靱帯の力学特性は、1963年に Nachemson が初めて報告¹⁾した。破断点付近において単位面積あたりの応力は加齢によって低下していることを報告した。しかし、生理的運動範囲内であるひずみ0.2以下に着目すると、曲線カーブに大きな差が出現していない。これは、本実験と同様の結果を示し、実験機器・条件は異なっているが、生理的範囲内では加齢による力学的変化に大きな差はないと考えられる。

加齢によって認められる黄色靱帯のたぐれこみは、変性による弾性力の低下というより、椎間板狭小によ

る形態変化の方が強く関連すると推察した。

しかし、加齢変化は病理学的に認めるので、引張り条件によっては力学的有意差が出現する可能性も考えられる。例えば、ひずみ速度を変化させたり、最も病理変性変化を認めるとされる⁶⁾骨靱帯付着部の力学特性の分析など、今後検討したい。

ま と め

①靱帯引張り機器の改良により、真の脊椎靱帯の力学実験を可能とした。

②腰椎黄色靱帯の応力ひずみ曲線と弾性係数を測定した。

③本実験において、生理的速度・運動範囲内では加齢による靱帯の力学特性は保たれていた。

参 考 文 献

- 1) Alf L. Nachemson, John H. Evans: Some Mechanical Properties of the third human lumbar Interlaminar ligament (Ligamentum Flavum). J. Biomechanics, 1 : 211-220, 1968.
- 2) Frank A.P. et al.: Biomechanical Properties of Human Lumbar Spine Ligaments. J. Biomechanics, 25 : 1351-1356, 1992.
- 3) G. A. Dumas, L. Beaudoin, G. Drouin: *in situ* Mechanical behavior of posterior spinal ligaments in the lumbar region. An *in vitro* study. J. Biomechanics, 20 : 301-310, 1987.
- 4) J.B. Myklebust, et al.: Tensile Strength of Spinal Ligaments. Spine, 13 : 526-531, 1988.
- 5) J. Chazal, et al.: Biomechanical Properties of Spinal Ligaments and a Histological Study of the Supraspinal Ligament in Traction. J. Biomechanics, 18 : 167-176, 1985.
- 6) Munechito Yoshida, et al.: Hypertrophied ligamentum flavum in lumbar spinal canal stenosis. Spine, 17 : 1353-1360, 1992.
- 7) O. Boachie-Adjei, P.G. Bullough: Atras of spinal diseases. The spinal ligament : 40-41, 1988.
- 8) Panjabi, M.M., Goel, V.K., Takata, K.: Physiological strains in the lumbar spinal ligaments: an *in vitro* biomechanical study. Spine, 7 : 192-203, 1982.