

原 著

Real-time Tissue Elastography による 野球肘内側側副靱帯の弾性定量評価

昭和大学医学部整形外科科学講座

西本 雄飛* 和田 一佐

岡田 智彰 稲垣 克記

東京明日佳病院

渡邊 幹彦

抄録：野球肘の診断には臨床上，理学的所見と共に画像診断が重要であるが，MRIなどの定性的な評価が中心で靱帯の弾性などを定量的に評価した方法は少ない．近年，超音波技術の進歩により組織の質的評価も可能になっている．その一つが超音波エラストグラフィーであり乳腺領域や甲状腺領域で臨床応用されている．運動器領域では腓腹筋挫傷，アキレス腱，烏口肩峰靱帯などが評価されている．今回，その技術を応用し，野球肘と診断された野球選手において，肘内側側副靱帯（以下MCL）の弾性を定量化することによって，損傷の程度や罹病期間などとの関係を調査し，復帰までの指標になる可能性があるか検討を行った．投球時に肘内側部痛を訴え，野球肘と診断された24名（平均年齢16歳）の野球選手を対象とした．方法は，超音波診断装置を使用し，探触子（L64）に定量化用音響カプラを装着，Real-time Tissue Elastographyにて測定を行った．計測肢位はGravity testに準じて前腕の自重を掛け，仰臥位，肩関節外転90°，肘関節屈曲30°最大回外位とした．適切な圧迫深度で周期的に端子を肘内側に圧迫させ，測定画像から得られたカプラの歪み値を対象組織（MCL）の歪み値で除したstrain ratio（以下SR）を算出し，5つの値のうち中央3値の平均値をSR値と定義し弾性を評価した．SR値は患側 3.11 ± 1.13 ，健側 2.48 ± 0.79 と有意差を認めた（ $p = 0.03$ ）．これらを骨片の有無で検討すると，裂離骨片あり群（ $n = 9$ ）では，SR値は患側 3.86 ± 0.73 ，健側 2.61 ± 0.91 と有意差を認めた（ $p = 0.006$ ）．裂離骨片なし群（ $n = 15$ ）では患側 2.66 ± 1.10 は健側 2.40 ± 0.72 と有意差を認めなかった（ $p = 0.45$ ）．裂離骨片なし群で発症後1か月未満とそれ以降で比べると1か月未満は患側と健側で有意差はなく，それ以降も有意差は認めなかったが，患側のみで比べると，発症後1か月未満と1か月以上で有意差を認めた．損傷靱帯は弾性が上昇しSR値は低値になると仮説をたてたが，結果は患側で健側より高く，損傷した靱帯は弾性が低下していると言える．裂離骨片なし群では健患側に差はなく損傷の有無によって弾性に違いはないと思われたが，裂離骨片あり群で患側SR値が有意に高く，裂離骨片の有無が靱帯の弾性に影響していた．また，発症後1か月未満の患側SR値と1か月以上の患側SR値を比較すると前者で有意に低値を示した．靱帯の弾性は損傷の時期に変化しており，急性期は弾性が上昇し，亜急性期～慢性期は弾性が低下している可能性がある．また，裂離骨片を伴うMCL損傷の野球肘では，靱帯の弾性低下が顕著であった．今後，肘MCL損傷の修復の過程をより正確に超音波エラストグラフィーで捉えることができるようになれば，肘MCL損傷の評価にさらに有用になると考えられる．野球肘の肘MCLは急性期で弾性が上昇し，亜急性期～慢性期になると低下していた．裂離骨片があると著明に肘MCLの弾性は低下していた．

キーワード：野球肘，肘内側側副靱帯，超音波エラストグラフィー

*責任著者

緒 言

野球肘は広義には投球スポーツによって生じる肘関節部の骨軟骨および靱帯・筋腱付着部などの障害であるが、大きく内側型、外側型、後方型に分けられ投球時に肘の痛みがあるのが特徴である。その診断は理学的所見と画像診断によるが、肘の靱帯の弾性を定量的に評価した方法は数少ない。近年、超音波技術の進歩により組織の質的評価も可能になっている。その一つが超音波エラストグラフィーであり、乳癌検診¹⁾や甲状腺疾患²⁾などで臨床評価に応用されている。運動器領域では、腓腹筋挫傷³⁾やアキレス腱⁴⁾、烏口肩峰靱帯⁵⁾などの評価に応用されて報告されている。和田らは、投球障害のない野球選手の肘内側側副靱帯（以下肘 MCL）の弾性を評価し報告した⁶⁾が、この報告は生理的な成長期の肘関節の MCL の弾性の定量評価である。本研究では、基質的疾患を有し野球肘と診断された野球選手の肘 MCL の弾性をエラストグラフィーにより定量的に評価し、靱帯の変性の障害度の特異性を明らかにすることを目的に計測調査を行った。

研究 方法

対象は初診時に投球での肘内側部痛があり、ストレステスト（Moving valgus stress test, Milking test）陽性で、MCL 付着部に圧痛があり、内側型野球肘と診断された 24 名（男性 24 名）の野球選手（投手 13 名、野手 11 名）で平均年齢は 16.2 歳（10 歳～20 歳）であった。野球歴は平均 8.5 年（3 年～12 年）で、部活やクラブチームに所属する選手でレレションレベルは除外した。また、肘の手術歴があり肘に傷があるものは皮膚の弾性変化が結果に影響を与える可能性が高いため除外した。

評価項目は

- 1) 理学所見；罹病期間（急性期 1 か月未満，陈旧例 1 か月以上），肘 MCL 圧痛の有無，Moving valgus stress test, Milking test の有無。
- 2) 画像所見；単純 X 線（肘正側 2 方向），ストレス X 線（仰臥位，肘屈曲 30°正面，1 kg 負荷（Gravity test に準ずる））を行い，裂離骨片の有無，不安定性の有無を評価した。
- 3) 超音波所見；超音波診断装置（日立製作所 Noblus）を使用し，探触子（L64）に定量化用音響

カプラ（図 1）を装着，Real-time Tissue Elastography（以下 RTE 法）を使用し測定を行った。同一検者にて行い，計測肢位は Gravity test に準じて前腕の自重を掛け，仰臥位，肩関節外転 90°，肘関節屈曲 30°最大回外位とした（図 2）。

B モードで MCL の前斜走線維（以下 AOL）を同定し，モードを RTE に切り替え，Strain graph の波形を参考にしながら，適切な圧迫深度で周期的に端子を圧迫させ測定した。測定対象は内側上顆より約 1 cm 遠位の AOL 実質上で，その直上にあるカプラとの歪みとの比で弾性を評価した（裂離骨片がある場合は骨片を含まない部位の AOL 実質を評価した）。測定画像から適切な 5 か所の画像を選び，



図 1 定量化用音響カプラ



図 2 計測姿位

Gravity test に準じて前腕の自重を掛け，仰臥位，肩関節外転 90°，肘関節屈曲 30°最大回外位とし，周期的に圧迫を加える。

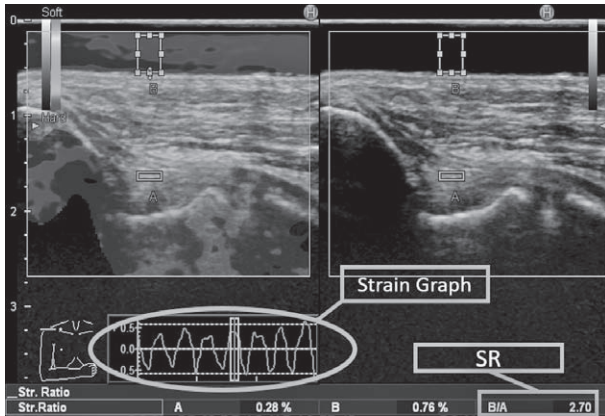


図3 RTE法で得られる画像(左上). Strain graphの波形を参考にしながら、適切な圧迫深度で周期的に端子を圧迫させ、カブラの歪み値を対象組織(MCL)の歪み値で除した strain ratio (SR) を算出。適切な5か所から3か所の平均値をSR値とした。

カブラの歪み値を対象組織(MCL)の歪み値で除した strain ratio を算出(図3)。中央3値の平均値をSR値とした。

評価はSR値と健患側の比較、裂離骨片の有無での比較、理学所見との比較を行い、さらに患側SR値と発症時期での比較を行い、統計学的処理はt検定およびMann-Whitney検定を使用し、危険率5%未満を有意差ありとした。

結 果

1) 理学所見と罹病期間

全例、投球時に肘内側痛を認め罹病期間は平均5.6か月(1か月未満～2年)(1か月未満6名, 1か月以上18名)であった。MCLに圧痛を認めたものは12名、圧痛を認めなかったものが12名であった。肘外反ストレステストであるMoving valgus stress testは陽性14名、陰性10名、Milking testは陽性10名、陰性14名であった。

2) 単純X線所見

肘関節正側2方向撮影にて裂離骨片を認めたものが9名、認めなかったものが15名であった。ストレスX線撮影にて左右差2mm以上ある例はなかった。

3) 超音波検査所見: SR値

全被験者のSR値を健患側で比較すると健側 2.48 ± 0.79 患側 3.10 ± 1.13 であり、患側SR値が有意に高かった($p = 0.03$)(図4)。裂離骨片の有無で比較

検討すると、裂離骨片あり群のSR値は健側 2.61 ± 0.91 、患側 3.86 ± 0.73 と有意に高かった($p = 0.006$)(図5)。裂離骨片なし群では健側 2.40 ± 0.72 、患側 2.66 ± 1.10 と有意差を認めなかったが高い傾向にあった($p = 0.45$)(図6)。靱帯損傷によってSR値は高くなる傾向があった。発症時期で比較してみると1か月未満(6名)は患側 1.85 ± 0.57 、健側 2.43 ± 0.8 と有意差はなかったが低値を示す傾向があり($p = 0.18$)、1か月以上も患側 3.19 ± 1.04 、健側 2.37 ± 0.72 であり有意差は認めなかったが高値を示す傾向にあった($p = 0.069$)。患側のみでの比較では、1か月未満では有意に低値と考えられた($p = 0.014$)(図7)。

患側SR値と理学所見の比較ではMCLに圧痛あり群 3.17 ± 1.03 、圧痛なし群 3.04 ± 1.27 ($p = 0.91$)、Moving valgus stress test 陽性群 3.18 ± 1.30 陰性群 2.99 ± 0.87 ($p = 0.60$)、Milking test 陽性群 3.23 ± 1.30 陰性群 2.98 ± 1.02 ($p = 0.56$)でSR値と理学所見には有意な相関を認めなかった(図8)。

考 察

野球肘(肘MCL損傷)は投球動作時に肘関節に外反ストレスが繰り返し加わることによって引き起こされると言われ本邦では肘MCL損傷の診断基準が報告⁷⁾されている。その診断と評価にはMCLに沿った圧痛やO'Driscollら⁸⁾が提唱したMoving valgus stress test, Milking testといった徒手検査の他に、画像評価としてストレスX線撮影, MRI, 超音波検査がある。ストレスX線撮影の有用性はすでに報告されており、健患側差で評価が推奨されている⁹⁾。また、肘内側に痛みがある野球競技選手に対してMRIの有用性¹⁰⁾も報告され、MRI T2強調画像で上腕骨側の高信号は撮影時期を問わず保存療法の成績不良因子との報告¹¹⁾もある。その一方で野球選手の肘MCL損傷において保存療法を行った場合、ストレスX線撮影の不安定性の程度やMRIでの異常所見は、いずれもスポーツ復帰と関連するとは限らないと報告¹²⁾もあり、画像所見の他に何らかの要因が治療成績に関わっていると考えられる。超音波検査では正常な肘MCLはfibrillar patternであり、損傷例ではfibrillar patternの不明瞭化やエコーの低下と腫脹が認められる。しかし、超音波検査での不安定性と肘MCL損傷は、肘痛・投球支

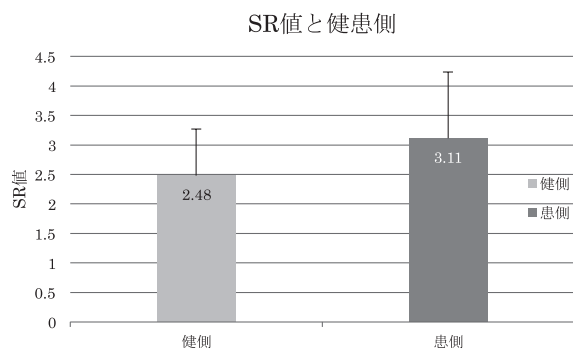


図 4 SR 値は患側で高く，健患側で有意差を認めた ($p = 0.03$).

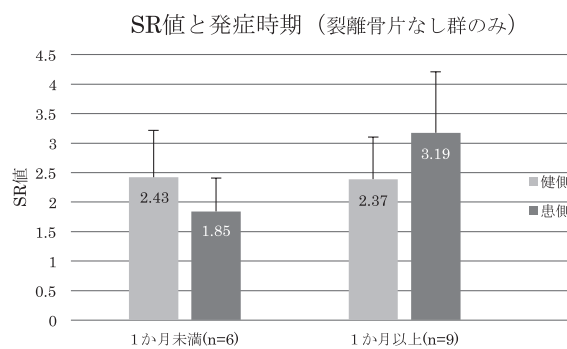


図 7 裂離骨片なし群のみで，発症から検査まで1か月未満と1か月以上でSR 値を比べると健患側に有意差を認めなかったが，それぞれの患側で比較すると有意差を認めた ($p = 0.014$).

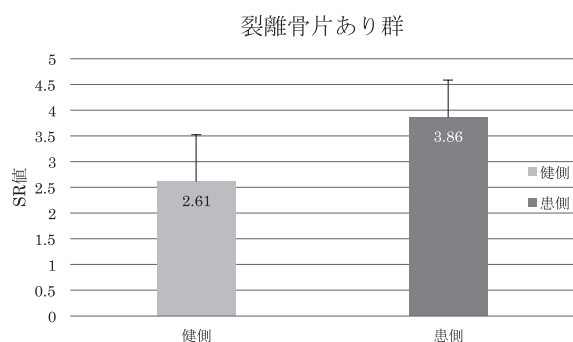


図 5 裂離骨片あり群のみはSR 値は有意差を認めた ($p = 0.006$).

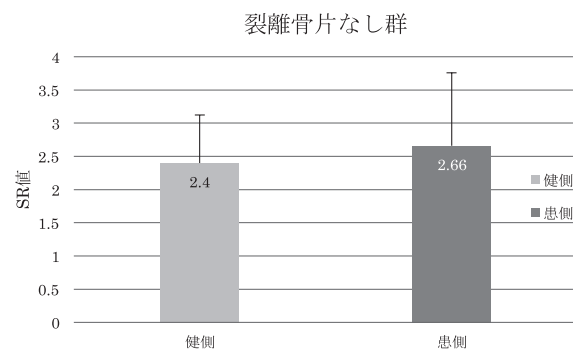


図 6 裂離骨片なし群のみはSR 値に有意差は認めなかった ($p = 0.45$).

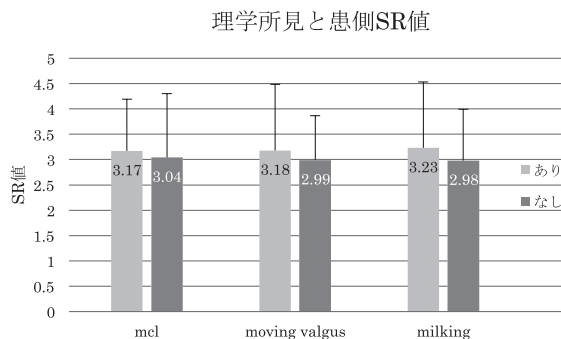


図 8 理学所見と患側SR 値に有意差は認めなかった (MCL に圧痛の有無 ; $p = 0.9$, Moving valgus stress test の有無 ; $p = 0.6$, Milking test の有無 ; $p = 0.56$, Mann-Whitney 検定).

障・自己評価に関係がないとの報告¹³⁾もある。また，野球選手の肘 MCL は一般的に肥厚するといわれており，成人の野球選手の MCL は非投球側と比べるとより厚く，中学生では差がないが高校生で差があり，高校生の時期から肥厚してくると考えられるが¹⁴⁾，その変化が病的なものか投球を続けた結果

起こる適応なのかは未だに不明である¹⁵⁾。また，内側の痛みと肘 MCL の走行は関連があるとの報告¹⁶⁾もある。現時点においては画像評価において肘 MCL 損傷を捕らえられても，投球再開の時期や運動強度などの決定には客観的な指標はなく，臨床的に判断するしかないのが現状である。

一方，肘 MCL 損傷の自然経過は超音波検査で評価されており，MCL に限局した低エコー領域が急性期から慢性期へと経過とともに中等度エコーへと変化し，さらにその境界が明瞭になると報告されている¹⁷⁾。つまり，肘 MCL 損傷において靱帯は炎症等の反応を惹起され，その修復過程などにおいて何らかの変化を起こしていると考えられる。そこで，組織の弾性を定量的に計測することが可能な超音波エラストグラフィーに着目し，肘 MCL 損傷における靱帯の弾性の定量化を試みた。超音波エラストグ

ラフィーは乳腺科領域において乳癌検診¹⁾に臨床応用され、内科領域では甲状腺²⁾や肝臓の評価などにも使用されている。運動器領域においても報告がなされており、定量化はされていないものの下腿腓腹筋の肉離れにおいて、初期は組織の歪みが大きいが修復過程で歪みが小さくなるとの報告³⁾や、アキレス腱の弾性の定量的評価を行い、変性がある腱では変性がない腱と比べ柔らかい⁴⁾、また肩関節の烏口肩峰靭帯の弾性を計測し年齢が高いほど硬い特性を持ち、肩腱板断裂群では同年齢より柔らかい特性を持っていたが、痛みのあるものでは痛みのないものより硬い特性がある⁵⁾などの報告があり、その他正中神経¹⁸⁾、膝蓋腱靭帯¹⁹⁾、腱鞘炎²⁰⁾なども評価され報告されるようになった。われわれは先行研究において、投球障害のない野球選手の肘 MCL の弾性評価した。その結果、投球側・非投球側いずれにおいても年齢に従い SR 値は増大し、投球側は非投球側と比較し SR 低値であり外反ストレス反復による靭帯の弛緩が考えられた⁶⁾。この結果に基づき今回野球肘と診断された野球選手の肘 MCL の弾性を評価した。一般的に肘 MCL 損傷では靭帯が緩くなっていると考えられており、野球肘では肘 MCL が弛み結果として SR 値は低値になると考えたが、仮説に反し高値であった。特に裂離骨片あり群において顕著であった。この結果から靭帯は損傷を受けその修復過程において癒着化やコラーゲン線維の乱れなどの変性が生じ、弾性は低くなると考えられた。また、裂離骨片あり群では SR 値が高いという結果から附着部の骨だけでなく靭帯実質の損傷の可能性が示唆される。ただし、裂離骨片があるということで靭帯の緊張が低下し、今回のような結果になった可能性もあり、さらなる検証が必要である。

発症時期では、受傷から 1 か月未満では患側 SR 値は低く、それ以後は患側 SR 値が高値になった。発症早期は靭帯が損傷を受け細胞レベルで浮腫などがおき靭帯の弾性が一旦健側と比較すると上昇し、炎症が収まり亜急性期～慢性期に入ると、今度はその修復の過程で癒着化などにより弾性が低下していると考えられた。理学所見と SR 値は相関が認められなかった。和田⁶⁾は損傷のない肘 MCL の投球側 SR 値は非投球側に比較して低値を示すと述べており、今回、理学所見上圧痛等が認めなくなった例でも SR 値が高値を示した症例ではまだ靭帯は治癒過

程にあると考えられた。

今回の研究には問題点がいくつかある。1 つは再現性の問題で、超音波検査では手技の習熟が大切であり、肘 MCL の AOL 成分を描出しても、SR 値を得るためには適切な圧迫深度と周期を保つのが必要で、この習熟にはある程度時間を要する。また複数の検者で行う場合は習熟度によっては検出された数値が変わってきてしまう可能性があり、誤差を生じる可能性がある。そのため、今回は 1 人の検者で検査を行い、検者間誤差を起こさないように配慮している。Elastography の評価方法には今回、研究で行った RTE 法のほかに、プローブによる圧迫を必要としない超音波ビームによる音響放射力を対象内部に与え、横波であるせん断波 (shear wave) を誘発し、shear wave の伝播速度から組織弾性を定量的に計測する shear wave 法 (SW 法) がある。SW 法であれば、周期的な圧迫を必要としないため、計測中にプローブがずれる可能性が低くなりより再現性は高くなる可能性があるが、SW 法で計測できる超音波装置が限られているという制限がある。また、骨端線閉鎖以前と閉鎖後の年齢層が対象に混在していることも問題点として挙げられる。骨の成熟度によって、投球動作による MCL への負荷が変化してくる可能性もあり、今後は骨成熟度と MCL 弾性との関係を見ていく必要がある。

今回、肘 MCL 損傷の靭帯の弾性を評価し定量化することによって、野球選手 MCL 障害の損傷程度や復帰に向けての指標となればと考えたが、今研究において SR 値における CUT-off 値は設けることはできなかった。CUT-off 値が設定できれば、今後損傷程度の指標や投球再開時期の決定など、また障害起こす前に運動強度を減らす指標などと言った予防にも応用できる可能性がある。

損傷した肘 MCL は修復の過程で靭帯実質の弾性が一度上昇したあと低下し硬くなる可能性があり、今後その修復過程をより正確に超音波エラストグラフィで捉えることができるようになれば、肘 MCL 損傷の評価においてさらに有用になると考えられた。

結 語

野球肘と診断された 24 名の野球選手の肘 MCL の弾性を、超音波エラストグラフィを用いて評価した。

野球肘の肘 MCL は急性期で弾性が一旦上昇し、亜急性期～慢性期になると低下していくと考えられた。理学所見上、ストレステスト等が陰性化しても靱帯実質の弾性は低下しており、治療過程にあると考えられた。また、肘 MCL 損傷において裂離骨片があると著明に肘 MCL の弾性は低下しており、裂離骨片だけでなく、靱帯実質損傷の可能性も示唆された。

倫理的配慮：倫理審査委員会を通過し、対象からのインフォームドコンセントは得られている。

利益相反

特記すべきことなし。

文 献

- 1) 日本乳腺甲状腺超音波診断会議編. 乳房超音波診断ガイドライン. 改訂第2版. 東京: 南江堂; 2008. pp133-137.
- 2) 田中久美, 福成信博, 伊藤公一, ほか. 甲状腺結節性病変における Real-time Tissue Elastography の有用性. メディックス. 2004;41:7-10.
- 3) 辻村 享. 肉離れの超音波診断について エラストグラフィー (組織弾性イメージング) を用いて. 日整外超音波研究会誌. 2007;18:19-22.
- 4) 山口智志, 山本陽平, 府川泰輔, ほか. 超音波エラストグラフィーを用いたアキレス腱の弾性の定量的評価. 日整外スポーツ医会誌. 2014;34:254-258.
- 5) 木島泰明, 皆川洋至, 富岡 立, ほか. 生体肩における烏口肩峰靱帯の弾性 超音波エラストグラフィーを用いた計測. 肩関節. 2008;32:357-360.
- 6) Wada K, Watanabe M, Tomita K, *et al.* Ultrasound elastographic assessment of the medial collateral ligament in the elbow joints of baseball players. *Showa Univ J Med Sci.* 2014;26:301-307.
- 7) 伊藤恵康. 肘関節のスポーツ障害. 日整会誌. 2008;82:45-58.
- 8) O'Driscoll SW, Lawton RL, Smith AM. The "moving valgus stress test" for medial collateral ligament tears of the elbow. *Am J Sports*

- Med.* 2005;33:231-239.
- 9) Lee GA, Katz SD, Lazarus MD. Elbow valgus stress radiography in an uninjured population. *Am J Sports Med.* 1998;26:425-427.
- 10) Gaary EA, Potter HG, Altchek DW. Medial elbow pain in the throwing athlete: MR imaging evaluation. *AJR Am J Roentgenol.* 1997;168:795-800.
- 11) 鈴木克憲. 野球選手の肘内側側副靱帯損傷 MRI 所見と予後. 日肘関節会誌. 2004;11:37-38.
- 12) 渡邊幹彦, 米川正悟, 服部麻倫, ほか. 野球選手の肘内側側副靱帯損傷に対する保存的治療のスポーツ復帰. 日整外スポーツ医会誌. 2012;32:271-275.
- 13) 原田幹生, 高原政利, 鈴木智人, ほか. 高校野球選手の肘障害. 日臨スポーツ医会誌. 2010;18:442-447.
- 14) Nagamoto H, Yamamoto N, Kurokawa D, *et al.* Evaluation of the thickness of the medial ulnar collateral ligament in junior high and high school baseball players. *J Med Ultrason (2001).* 2015;42:395-400.
- 15) Atanda A Jr, Averill LW, Wallace M, *et al.* Factors Related to increased ulnar collateral ligament thickness on stress sonography of the elbow in asymptomatic youth and adolescent baseball pitchers. *Sports Med.* 2016;44:3179-3187.
- 16) Sasaki J, Takahara M, Ogino T, *et al.* Ultrasonographic assessment of the ulnar collateral ligament and medial elbow laxity in college baseball players. *J Bone Joint Surg Am.* 2002;84:525-531.
- 17) 杉本勝正, 太田周介. 肘内側側副靱帯損傷の自然経過. 日整外超音波研究会誌. 1998;9:15-19.
- 18) 田中利和. 上肢の超音波診断 手根管症候群 エラストグラフィーを中心に. 整形外科. 2015;66:751-757.
- 19) 武長徹也, 後藤英之, 杉本勝正, ほか. 異なる2種類の超音波エラストグラフィを用いた膝蓋腱の弾性評価. 日整外超音波研究会誌. 2014;25:32-35.
- 20) 上原浩介. 筋肉・腱・靱帯 手指のエコー 腱・腱鞘を中心に. *Bone Joint Nerve.* 2014;4:325-333.

REAL-TIME TISSUE ELASTOGRAPHY ASSESSMENT OF MEDIAL COLLATERAL LIGAMENT ELASTICITY IN THE ELBOW JOINT OF BASEBALL PLAYERS WITH MEDIAL ELBOW PAIN DURING THROWING

Yuhi NISHIMOTO, Kazusa WADA,
Tomoaki OKADA and Katsunori INAGAKI

Department of Orthopaedic Surgery, Showa University School of Medicine

Mikihiko WATANABE
Tokyo Asuka Hospital

Abstract — We investigated the elasticity of the medial collateral ligament (MCL) in the elbow joints of baseball players who had medial elbow pain when they threw by using ultrasound elastography. We examined 48 elbows in 24 male baseball players (average age; 16 years old) with no history of operation. We used an ultrasonograph, an acoustic coupler for quantification and real-time elastography. Research subjects were in the supine position with their forearms in supination, elbow joint at 30° of flexion, and shoulder joint at 90° of abduction. We assessed the elasticity of the MCL in the elbow according to the strain ratio (SR). SR was calculated as follows: numerical values of coupler divided by numerical values of MCL. We defined SR values, average of the central 3 values in 5 values which we selected. SR values of the diseased side were higher than those of the healthy side ($p = 0.03$). In the 9 subjects with ossicle, SR values of the diseased side was higher than those of the healthy side in this group ($p = 0.006$). But in the other group, 15 subjects had no ossicle. There was no significant difference between SR values of the diseased side and SR values of the healthy side ($p = 0.45$). So we divided this group into two groups. One group was injured within one month (6 persons), and the other group was injured after more than a month (9 persons). SR values of the diseased side were lower in the former than in the latter group ($p = 0.014$). The elasticity of the ligament changes as a result of injury, and there is a possibility that the elasticity of the ligament increases for the acute phase and decreases from the sub-acute phase to chronic phase. In addition, the elasticity of the MCL in baseball players who had ossicle was markedly low.

Key words: baseball elbow, medial collateral ligament of the elbow, ultrasound elastography

〔受付：8月23日，受理：12月12日，2017〕