

MRIによる正常肘内側側副靱帯前斜走線維描出のための肘関節屈曲角

Study of appropriate elbow joint flexion angle for depiction of the anterior bundle of the ulnar collateral ligament by MRI

鮎田 達郎¹⁾, 鷹野 稜²⁾, 馬見塚 尚孝 (医師)³⁾, 安達 玄 (理学療法士)⁴⁾

1) 株式会社メディアーク

2) 新百合ヶ丘総合病院

3) ベースボールアンドスポーツクリニック

4) 早稲田大学スポーツ科学研究センター

Key words: MRI, UCL, elbow, baseball, sports

【Abstract】

The purpose of this study was to clarify the elbow flexion angle for depiction of the Ulnar Collateral Ligament (UCL) by elbow joint MRI.

For six healthy volunteers, UCL images were captured at four different flexion angles (0° extension position, 10° flexion position, 20° flexion position, 30° flexion position). The visual evaluation of UCL was performed based on the average preference of the observer and compared by the one-way analysis of variance (ANOVA). As a result, the average preference of the flexion position was significantly higher than that of the extension position, and the 10° flexion position tended to be particularly higher among the four flexion angles. The results suggest that the flexion position is more suitable for UCL visualization by MRI than the extension position. Furthermore, it is suggested that the 10° flexion position is more suitable.

【要 旨】

本研究では、肘関節MRIで肘内側側副靱帯（UCL）の描出のための肘関節屈曲角を明らかにすることを目的とした。

健康ボランティア6人を対象として、4通りの肘関節屈曲角（伸展位、10°屈曲位、20°屈曲位、30°屈曲位）で肘関節MRIを撮像した。UCLの視覚評価は観察者の平均嗜好度で行い、一元配置分散分析で比較した。その結果、伸展位よりも屈曲位の平均嗜好度が高くなり、屈曲位の中でも10°屈曲位が高い傾向にあった。MRIによるUCLの描出には、肘関節伸展位に比べ屈曲位が適しており、中でも10°屈曲位がより適していることが示唆された。

1. 緒 言

野球におけるスポーツ障害の中でも肘関節に関する障害は多く、特に肘内側側副靱帯（Ulnar Collateral Ligament 以下、UCL）前斜走線維損傷の頻度が高い¹⁾。

近年、MRIの画質が向上し、UCL損傷の診断および治療方針の決定においてその有用性は高まりつつある^{2~7)}。

通常、肘関節MRIの断面は伸展位で撮像され、UCLの観察には冠状断による形態評価が行われる⁸⁾。しかし、解剖学的にUCL前斜走線維は上腕骨内側上顆下極のやや前方より起始し尺骨鉤状結節に停止するため

(Fig.1)、伸展位では靱帯の走行と上腕骨内側上顆附着部骨表面との角度が接線方向に近くなり、附着部の損傷評価の難易度が上がるものと推察される。

一方、これまでUCL前斜走線維の撮像法に焦点を当てて書かれた文献は渉猟し得た限りないが、われわれはUCLを目的に撮像する際、屈曲することで上腕骨内側上顆附着部の描出が改善することを経験上確認しており、肘屈曲がUCL前斜走線維の描出を向上させると考えた (Fig.2、矢印部：0°は附着部にかけて不明瞭で

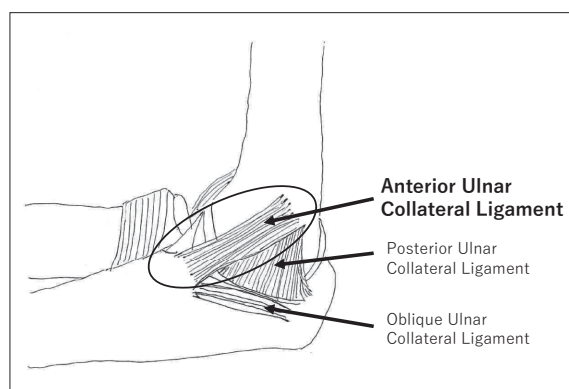


Fig.1 Anatomy of Ulnar Collateral Ligament.

FUNADA Tatsuro¹⁾, TAKANO Ryo²⁾,
MAMIZUKA Naotaka³⁾, ADACHI Gen⁴⁾

1) Mediark Inc.

2) Shin-yurigaoka General Hospital

3) Baseball & Sports Clinic

4) Waseda Institute for Sport Sciences

Received March 10, 2021; accepted February 15, 2022

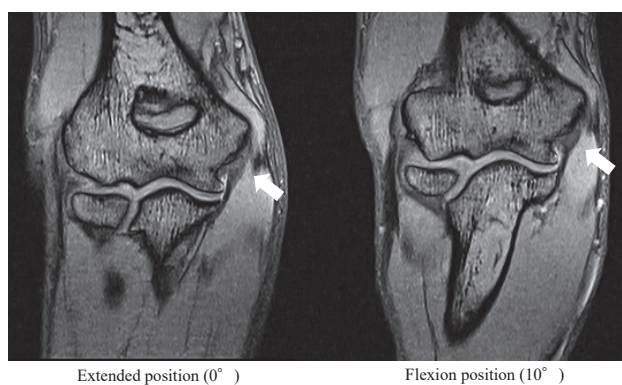


Fig.2 Depiction ability of medial attachment of humerus.



Fig.3 Dedicated MRI and imaging position.

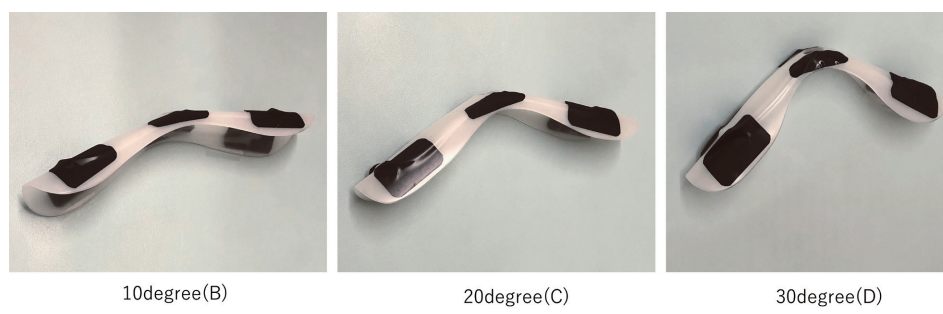


Fig.4 Fixture for bending.

あるが、10°では付着部までの連続性が保たれている)。

本研究は、UCL前斜走線維の描出を改善する肘関節屈曲角を検討することを目的とした。

2. 方 法

2-1. 対象

対象者は健常ボランティア27～44歳の6人(男性5人、女性1人)であり、検査の目的・内容・不利益等を十分に説明し、同意を得た上で撮像を実施した。病歴のない右肘関節を対象とした。なお、当該施設において倫理承認を得て実施した。

2-2. 使用機種と撮像条件

撮像は、臨床用MRI装置(O-scan, Esaote, Italy, 0.31Tesla)(Fig.3)で行った。本装置は四肢専用臨床用MRIで、撮像する四肢のみガントリー内に挿入するという特徴があり、一般の臨床用MRIに比べて関節屈曲角度の設定の自由度は小さい。本研究では、自作の肘装具(材料・材質:ポリプロピレン、制作方法:各角度の肘関節の模型(石こう)を作成し、熱した素材を沿わ

せて真空成型と切削を行い制作)(Fig.4)を装着して撮像可能であった肘屈曲0°、10°、20°、30°の4条件を検討した。画像の取得は、対象をそれぞれの装具を使用し、前腕を回内外中間位で設置して行った。撮像シーケンスは、T₂*強調像(SPGR:TE=14msec, TR=570msec, FA=40, Acquisition Matrix=352×256, Reconstruction Matrix=512×512, FOV=180×180, Thickness=2mm, Slices=15)で斜冠状断を撮像して評価を行った。撮像断面の設定は横断像で上腕骨遠位を目安に内外顆を結ぶ線を基準に、矢状断像で内側上顆から鉤状突起を結ぶ線を基準に設定した。また撮像者によるバイアスを可能な限り避けるため、同一検査者が撮像した。なお、全ての画像は連結不可能匿名化を行い、評価画像として用いた。

2-3. 検討方法

検討は、シェッフェの一对比較法(中屋の変法)⁹⁾を採用し、一元配置分散分析を行った。各対象者において屈曲角が0°の画像をA、10°の画像をB、20°の画像をC、30°の画像をDとし、AB、AC、AD、BC、BD、CDの組み合わせを順不同で2つの異なったスライス

グループ (15slices/group) を並べ、観察者が画像切り替えを行い観察実験を行った。良しあしの基準は解剖学的にUCLの連続性が確認できるかどうかを評価基準とし、画質の良しあしは不問とした。観察者は日常的にMRIを取り扱う診療放射線技師3人であり、対象者とは別の者であった。観察者には検討の目的や解析方法を十分に説明し、研究参加の同意を得た上で評価付与を実施した。スコアリングは7段階で行い、左が右の画像に比べ非常に良いを3点、左が良いが2点、左が少し良いが1点、同等が0点、右が少し良いが-1点、右が良いが-2点、右が非常に良いが-3点として実施した。

2-4. 評価方法

それぞれの対象者に対し、評価より集計表を作成して平均嗜好度 α_i を式(1)で算出し、肘関節屈曲角の違いによる差を比較した。ここで、 t は試料数(=4)、 i は左に提示された試料、 j は右に提示された試料、 N は観察者数(=3)である。

$$\text{平均嗜好度: } \alpha_i = \frac{1}{2tN} (x_i \dots x_j) \dots \dots \dots (1)$$

各平均嗜好度の差が有意であるかどうかの判断には、全体の比較にKruskal-Wallis検定を行い、下位検定にはSteel-Dwassの多重比較を行った。また対象者別の平均嗜好度については主効果 S_α (2)、主効果×観察者差 $S_{\alpha(B)}$ (3)、組み合わせ効果 S_γ (4)、総平方和 S_T (5)、誤差 S_e (6)からヤードスティック値 y (7)を求め、隣接する $\alpha_i - \alpha_j$ の95%信頼区間を求めた。ここで、 k は観察者番号である。なお、統計解析には統計解析ソフトR(4.0.3 binary for macOS)を用いた。

$$\text{主効果: } S_\alpha = \frac{1}{2tN} \sum_i (X_{i..} - X_{i.})^2 \dots \dots \dots (2)$$

主効果×観察者差:

$$S_{\alpha(B)} = \frac{1}{2t} \sum_i \sum_k (X_{i.k} - X_{i.})^2 - S_\alpha \dots \dots \dots (3)$$

組み合わせ効果:

$$S_\gamma = \frac{1}{2N} \sum_i \sum_{j>i} (X_{ij.} - X_{ji.})^2 - S_\alpha \dots \dots \dots (4)$$

$$\text{総平方和: } S_T = \sum_i \sum_j \sum_k X_{ijk}^2 \dots \dots \dots (5)$$

$$\text{誤差: } S_e = S_T - S_\alpha - S_{\alpha(B)} - S_\gamma - S_\sigma - S_{\sigma(B)} \dots (6)$$

$$\text{ヤードスティック値: } y = q \times \sqrt{\frac{\sigma^2}{2tN}} \dots \dots \dots (7)$$

3. 結果

3-1. 平均嗜好度

各対象者における平均嗜好度と分散分析結果をTable 1に、角度別の平均嗜好度を箱ひげ図(Fig.5)に示す。

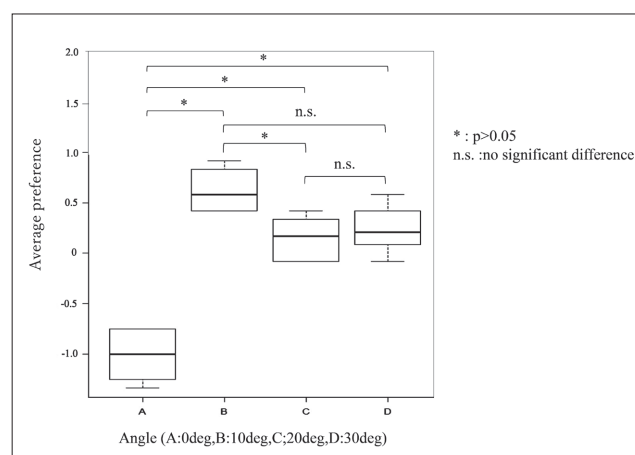


Fig.5 Average preference for each flexion angle.

Table 1 Average preference and ANOVA results for each Participant

	Participant 1	Participant 2	Participant 3	Participant 4	Participant 5	Participant 6	Median
A (0°)	-1.33	-1.25	-0.92	-0.75	-0.75	-1.08	-1.00
B (10°)	0.83	0.92	0.42	0.42	0.75	0.42	0.58
C (20°)	-0.08	0.25	0.42	-0.08	0.08	0.33	0.17
D (30°)	0.58	0.08	0.08	0.42	-0.08	0.33	0.21
S_α (P-value)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.06	<0.01	

平均嗜好度の中央値は屈曲角 A (0°) で -1, B (10°) で 0.58, C (20°) で 0.17, D (30°) で 0.21 であり (Table 1), A (0°) に対して B (10°), C (20°), D (30°) に有意差を認め, B (10°), C (20°) 間にも有意差を認めた (Fig.5). 対象者別の分散分析 (S_a) より, 対象者 No.1, 2, 3, 4, 6 は全体として有意な差を認めた (Table 1).

3-2. 各対象者の尺度値間差

それぞれの対象者で求められた平均嗜好度間の 95% 信頼区間を Table 2 から Table 7 に示す. ここ

で, 尺度値間差とはそれぞれの屈曲角間の評点差を表したものである. 対象者 No.1, 2, 4, 6 は角度 A (0°) に対して B (10°), C (20°), D (30°) に有意な差を認めた. 対象者 No.3 では B (10°), C (20°) 間には有意な差を認めなかったが, B (10°), C (20°) は A (0°) に対して有意な差を認め, 対象者 No.4 は B (10°), D (30°) 間には有意な差を認めなかったが, B (10°), D (30°) は A (0°), C (20°) に対して有意な差を認めた. 対象者 No.5 は A (0°), B (10°) 間に有意な差を認めた.

Table 2 95% confidence interval between mean preferences in Participant 1

	$\alpha_i - \alpha_j$	$(\alpha_i - \alpha_j) + y$	$(\alpha_i - \alpha_j) - y$	Significant difference
A-B	-2.17	-1.42	-2.91	*
A-C	-1.25	-0.51	-1.99	*
A-D	-1.92	-1.17	-2.66	*
B-C	0.92	1.66	0.17	*
B-D	0.25	0.99	-0.49	n.s.
C-D	-0.67	0.08	-1.41	n.s.

Table 3 95% confidence interval between mean preferences in Participant 2

	$\alpha_i - \alpha_j$	$(\alpha_i - \alpha_j) + y$	$(\alpha_i - \alpha_j) - y$	Significant difference
A-B	-2.17	-1.23	-3.10	*
A-C	-1.50	-0.56	-2.44	*
A-D	-1.33	-0.40	-2.27	*
B-C	0.67	1.60	-0.27	n.s.
B-D	0.83	1.77	-0.10	n.s.
C-D	0.17	1.10	-0.77	n.s.

Table 4 95% confidence interval between mean preferences in Participant 3

	$\alpha_i - \alpha_j$	$(\alpha_i - \alpha_j) + y$	$(\alpha_i - \alpha_j) - y$	Significant difference
A-B	-1.33	-0.29	-2.38	*
A-C	-1.33	-0.29	-2.38	*
A-D	-1.00	0.05	-2.05	n.s.
B-C	0.00	1.05	-1.05	n.s.
B-D	0.33	1.38	-0.71	n.s.
C-D	0.33	1.38	-0.71	n.s.

Table 5 95% confidence interval between mean preferences in Participant 4

	$\alpha_i - \alpha_j$	$(\alpha_i - \alpha_j) + y$	$(\alpha_i - \alpha_j) - y$	Significant difference
A-B	-1.17	-0.67	-1.66	*
A-C	-0.67	-0.17	-1.16	*
A-D	-1.17	-0.67	-1.66	*
B-C	0.50	1.00	0.00	*
B-D	0.00	0.50	-0.50	n.s.
C-D	-0.50	0.00	-1.00	*

Table 6 95% confidence interval between mean preferences in Participant 5

	$\alpha_i - \alpha_j$	$(\alpha_i - \alpha_j) + y$	$(\alpha_i - \alpha_j) - y$	Significant difference
A-B	-1.50	-0.07	-2.93	*
A-C	-0.83	0.60	-2.26	n.s.
A-D	-0.67	0.76	-2.10	n.s.
B-C	0.67	2.10	-0.76	n.s.
B-D	0.83	2.26	-0.60	n.s.
C-D	0.17	1.60	-1.26	n.s.

Table 7 95% confidence interval between mean preferences in Participant 6

	$\alpha_i - \alpha_j$	$(\alpha_i - \alpha_j) + y$	$(\alpha_i - \alpha_j) - y$	Significant difference
A-B	-1.50	-0.86	-2.14	*
A-C	-1.42	-0.78	-2.05	*
A-D	-1.42	-0.78	-2.05	*
B-C	0.08	0.72	-0.55	n.s.
B-D	0.08	0.72	-0.55	n.s.
C-D	0.00	0.64	-0.64	n.s.

3-3. 結果のまとめ

全体の平均嗜好度は、屈曲角B (10°), C (20°), D (30°) において、A (0°) と比較し平均嗜好度が有意に高かった。また中でも屈曲角B (10°) は0.58と中央値が高く、C (20°) と比べても優位に高い結果となった。

対象者ごとの尺度値間差では、全ての対象者において屈曲角B (10°) がA (0°) に対して優位に高く、屈曲角A (0°) はC (20°) に対して6人中5人、D (30°) に対して6人中4人で低かった。

これらは屈曲位が伸展位に対して平均嗜好度が高く、中でも10°が一番良いことを示している。

4. 考 察

4-1. 屈曲位の方がよかった理由

解剖学的には、前斜走線維は上腕骨内側上顆のやや腹側に付着していることが報告されている。肘関節が伸展位であればあるほど、靱帯の走行と骨表面が接線方向となりやすい。このため肘関節を屈曲させた方が、靱帯起始部の状態を描出しやすくなると推察する。

また伸展位 (0°) では、UCL前斜走線維の解剖学的位置関係が関節をまたいで過伸展し、背側に巻き込むような配置となり描出が不明瞭になるためと解釈でき、屈曲位を採用することでこの状態が解消し、観察者にとって連続性を確認しやすい画像となったためと考えられる。

4-2. 適正な屈曲角

本研究で採用したシェッフェの対比較法は、主効果などの構造モデルを仮定し分散分析を行う手法¹⁰⁾であり、平均嗜好度による差を尺度として用いる。人間の視覚を測定器として用いる分析型官能検査では、バラツキが小さく物理的測定値と非常に相関の高い結果が得られる¹¹⁾と報告される。

本研究では、全ての対象者において屈曲角B (10°) は、屈曲角A (0°) に比べて有意に平均嗜好度が高く、屈曲角B (10°), C (20°), D (30°) の間では規則性が確認できなかった。しかし、総合点では屈曲角B (10°) の評点が高く、C (20°) に対して有意な差を認めており、わずかな違いを観察者それぞれが表現し総合的に屈曲角B (10°) の評点が高くなったと推察

する。

4-3. 研究の限界点

最後に本研究の限界を述べる。1点目に画像サンプリングである。今回は横断像で上腕骨遠位を目安に内外顆を結ぶ線を基準に、矢状断像で内側上顆から鉤状突起を結ぶ線を基準に撮像を行った。しかし、目視で実施している以上、断面設定時のバイアスは排除されない。また健常者の同一側肘を対象としているが、個人の持つ解剖学的位置関係についても考慮すべきである。

2点目に撮像時の補助具である。本研究において作成した補助具では、小児など腕の径が小さい対象者の場合はスポンジなどの固定具を前腕・上腕側に入れて設置する必要がある可能性があり、また競技スポーツを行っている対象者の場合は腕の筋の膨隆により補助具が不適合になる場合が考えられる。体表面で補助する補助具は再現性にある程度の限界があるため、加味して撮像および診断をすべきであると考ええる。対策として、同じ角度でサイズ違いの補助具を用意すると、より再現性に富んだ検査の実現が可能になると考える。

3点目には他撮像断面に与える影響である。本研究では冠状断による描出能を検討したが、矢状断および横断面について検討していない。屈曲の度合いによっては他断面に影響を及ぼす可能性があるため、今後、検討の余地がある。

また4点目として、本研究では患者を対象としていない点を挙げる。実際に罹患した患者では、UCL断裂に伴い付着部がシフトすることが考えられるため、患者画像によるさらなる検討が必要である。

5. 結 論

正常肘UCL前斜走線維を描出するためのMRI冠状断撮像は、伸展位に比べて屈曲位による描出能が高い。また本研究では、屈曲角10°, 20°, 30°の中では10°で描出能が向上することが示された。

利益相反

著者の1人は株式会社メディアークに所属する社員である。

表の説明

Table 1	各対象者における平均嗜好度と主効果の分散分析結果
Table 2	対象者1における平均嗜好度間の95%信頼区間
Table 3	対象者2における平均嗜好度間の95%信頼区間
Table 4	対象者3における平均嗜好度間の95%信頼区間
Table 5	対象者4における平均嗜好度間の95%信頼区間
Table 6	対象者5における平均嗜好度間の95%信頼区間
Table 7	対象者6における平均嗜好度間の95%信頼区間

図の説明

Fig.1	UCLの走行
Fig.2	上腕骨内側上顆付着部骨表面の描出能
Fig.3	使用装置と撮像体位
Fig.4	屈曲固定具
Fig.5	屈曲角ごとの平均嗜好度

参考文献

- 伊藤恵康：肘関節のスポーツ障害. 日整会誌, 82, 45-58, 2008.
- Mirowitz SA, London SL: Ulnar collateral ligament injury in baseball pitchers: MR imaging evaluation. Radiology, 185, 573-6, 1992.
- 馬見塚尚孝, 平野 篤, 山崎正志：小児整形外科疾患 診断・治療の進歩：診断・評価の進歩 MRI 投球肘障害の高分解能MRI (解説/特集). 別冊整形外科 (0287-1645), 64号, P2-6.
- 井汲 彰, 馬見塚尚孝：いわゆるテニス肘・ゴルフ肘の診かた：上腕骨外側・内側上顆炎に対する高分解能MRI. Orthopaedics (0914-8124), 28巻9号, P15-20, 2015, 09.
- 塚越祐太, 馬見塚尚孝, 小川 健, 万本健生, 平野 篤, 山崎正志：学童期初発野球肘内側障害のMRI. 日本整形外科スポーツ医学会雑誌 (1340-8577), 37巻2号, P154-157.
- 吉沢知宏, 馬見塚尚孝, 小川 健, 万本健生, 平野 篤, 山崎正志：学童期再発野球肘内側障害のMRI. 日本整形外科スポーツ医学会雑誌 (1340-8577), 38巻2号, P112-116.
- Miller TT, Adler RS, Friedman L: Sonography of injury of the ulnar collateral ligament of the elbow-initial experience. Skeletal Radiol, 33, 386-91, 2004.
- Hurd WJ, Eby S, et al.: Magnetic Resonance Imaging of the Throwing Elbow in the Uninjured, High School-Aged Baseball Pitcher. Am J Sports Med, Apr; 39(4), 722-8, 2011.
- 中前光弘：統計的官能検査法の理論と放射線技術科学への応用—Scheffé (シェッフェ) の一対比較法を中心に—. 日放技学誌, 1502-1506, 2010.
- Scheffé H: An analysis of variance for paired comparisons. J Amer Stat Assoc, 47, 381-400, 1952.
- 中前光弘, 森岡雅幸, 河合寿夫, 他：視覚評価の信頼性について—分析形および嗜好形評定実験の特性と問題点. 日放技学誌, 53(10), 1525-1529, 1997.