

肘関節周辺外傷術後患者の伸展可動域回復に対する 筋出力制御の影響

高橋里奈*1・3・佐野和史*2・大関 覚*2
石岡俊之*3・秋山洋輔*1・濱口豊太*3

キーワード：骨折, 肘関節, 伸展可動域制限

本研究は, 肘関節周辺外傷 (PTE) 患者のバイオフィードバック療法を含む後療法中に, 上腕二頭筋が随意収縮後に弛緩するまでの時間 (tMRC) が伸展可動域回復へ影響を及ぼすことを検証した. 術後患者28例 (50±18歳, 男13例, 女15例) を対象とし, 健側上腕二頭筋のtMRCの平均値に1SDを加えた値 (4.0秒) を基準とし, それよりも術後3週時点のtMRCが長い (delay) 群と基準値と差のない (prompt) 群に分け, tMRCと肘関節自動可動域を術後12週まで縦断的に比較した. その結果, delay群は術後3・5週時点で健側と比べ患側のtMRCが有意に長かった. また, 術後3・8週時点の伸展可動域は, prompt群はdelay群の角度より有意に大きく, 術後12週時点の自動arcはprompt群はdelay群の角度より有意に大きかった. PTEには上腕二頭筋が随意収縮した後に素早く弛緩できない状態があり, これが肘関節伸展制限の回復に影響を与える要因の一つと考えられた.

緒言

肘関節周辺外傷 (post-traumatic elbow: PTE) 術後は関節拘縮が生じやすく, 患者には肘伸展可動域が損失しやすい. 肘関節が拘縮しやすい理由は, 外傷に反応しやすい関節包の感受性, 関節接合部の高い一貫性, 側副靭帯などの複雑な解剖学的特徴に関連している¹⁾.

拘縮した肘関節の伸展可動域の改善には難渋することが多く, しばしば関節授動術や関節形成術などの拘縮解離術の適応となる. Aldridgeら²⁾は肘関節伸展可動域が拘縮によって損失した患者77例 (骨折50例の他, 単純脱臼, 脱臼骨折, 関節症, 感染, 頭部外傷, 腕神経叢損傷, 局所的な外傷を含む) に対し, 前方関節包切除術または切除術を施行したところ, 平均屈曲拘縮は術前52°から術後20°に減少し, 平均arcは術前59°から術後97°に増大したことを報告してい

る. また, Tanら³⁾は, 外傷後肘関節拘縮患者52例 (骨折による内固定施行32例, 拘縮解離術後3例, 肘関節閉鎖性外傷17例) のうち49例は術前arcが100°未満であったが, 前方・後方関節包切除術, 骨棘切除術, 関節形成術を施行し, arcは術前平均57°から術後平均116°に増大したと報告している.

PTE術後患者には, 後療法として患者の自動運動を促して関節拘縮を予防する必要がある. 肘関節術後患者の後療法には筋電図バイオフィードバック (BF) 療法があり, 屈曲可動域改善に効果があることが示されている⁴⁾. しかし, PTE術後患者は肘関節自動屈伸時に上腕二頭筋が過剰に収縮して弛緩しにくい状態が存在する⁴⁾. PTE術後患者には, 患側の上腕二頭筋を収縮させた後に随意的に弛緩させると, 健側と比較して最大収縮後の筋電位が筋弛緩を表す電位に低下するまでの時間が延長する現象がある (図1). この現象は, 肘関節運動を伴って上腕二頭筋を最大筋収縮させ

受理日 2019/01/21

*1 獨協医科大学埼玉医療センター リハビリテーション科 〒343-8555 埼玉県越谷市南越谷2-1-50

*2 獨協医科大学埼玉医療センター 整形外科

*3 埼玉県立大学大学院 保健医療福祉学研究所

た後に速やかに筋弛緩を行わせ、表面筋電図の筋電位が定値以下まで低下するまでに要する時間 (Time to Muscular Relaxation after Contraction: tMRC) を測定することで確認できる。PTE術後患者にみられる上腕二頭筋のtMRCの延長は、肘関節伸展可動域の改善を遅延させる危険因子であると考えられる。

そこで本研究はPTE術後患者を対象にtMRCが遅延した患者の関節可動域の回復を調査してtMRCが術後の回復に影響を与えているかについて検証した。

方法

1. 対象

2013年7月から2017年1月にPTEにより手術加療施行した患者のうち、骨端線が閉鎖していない者、両側上肢骨折者、BF療法の説明に理解が得られない者を除外した28例 (50±18歳, 男13例, 女15例) を調査対象とした。診断は、上腕骨遠位端骨折13例 (AO分類 A2: 1, A3: 1, B1: 4, B3: 1, C1: 1, C2: 1, C3: 4), 肘関節脱臼骨折6例 (後方脱臼+橈骨頭骨折: 4, 後方脱臼+鉤状突起骨折: 1, 肘頭後方脱臼骨折: 1), 肘関節脱臼7例 (StageⅢB: 1, ⅢC: 6), 橈骨頭骨折1例 (AO分類B2), 肘頭骨折1例 (AO分類B1) であった。患側は、利き手罹患15例, 非利き手罹患13例, 受傷から手術までの日数は6±6日, BF療法開始までの日数は14±6日であった。

2. 後療法

被験者には治療開始から自動運動と内外反を加えないように愛護的他動運動と物理療法を通常治療として実施し、追加してBF療法を術後12週まで実施した。両群ともに靭帯を修復した症例は側方動揺を防止するため、外側支柱付きのファンクショナルブレースを術

後6週まで可動域訓練時以外は終日装着させた。また、拘縮の強い症例には、術後6週から持続的矯正を開始した。日常生活動作においては、術後6週より軽作業を許可し、術後12週で手の使用制限を解除した。自主訓練は、後述するBF療法と同じ姿勢での自動運動を1回に3セット行うように指導した。その後、肘関節屈曲・伸展位の持続保持を自動介助で10~20分実施するように指導した。肘屈曲位保持は、術後早期や疼痛が強い、代償が生じやすい症例については臥位にて実施するように指導し、肩関節軽度屈曲位、肘屈曲位で自重を使うように指導した。肘関節伸展は座位で机の上に枕などを置き、その上に上腕を乗せ、前腕部を健側にて他動伸展する保持とした。

研究に先立ち、すべての被験者に口頭と書面による研究の説明を行い、書面による同意を得た。なお、本研究は、埼玉県立大学倫理委員会 (承認番号25513号) ならびに獨協医科大学越谷病院生命倫理委員会 (承認番号25015号) の承認を得た。

3. BF療法

BF療法は、表面筋電図はテレマイオDTS (Noraxon社製) を用い、被験者にモニターの筋電図波形を見せながら肘関節屈曲と伸展を、音声に合わせて10秒ずつ、10回連続の反復運動を1セットとした^{4,5)}。筋電図電極 (ブルーセンサー, Ambu社製) は、Surface EMG for Non-Invasive Assessment of Muscle: SENIAM⁶⁾ が推奨した位置を参考に、被験者の上腕二頭筋と上腕三頭筋の筋線維の長軸方向へ並行になるように貼付した。電極間距離は20mmとし、筋電図は安静椅座位にて測定した。実施プログラムは肘関節屈曲と伸展の運動に分け、各3セットを週3~5回実施した。肘関節屈曲の練習では、肘関節屈曲動作時に上腕二頭筋を収縮後弛緩させる練習を実施した。肘関

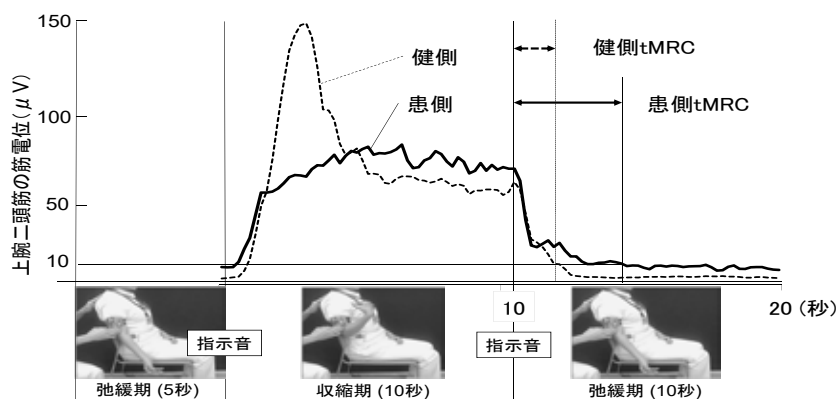


図1 Time to Muscular Relaxation after Contraction (tMRC) の測定方法

節伸展の練習では、肘関節伸展位にて上腕三頭筋を最大収縮させ、その後弛緩させる練習を実施した。また、肘関節伸展の練習は、手術のアプローチ方法や靭帯損傷などの状況により、術後3週以降より開始した症例が19例あった。

4. 測定項目

測定項目は、自動肘関節可動域（伸展，arc）と上腕二頭筋のtMRCとした。自動肘関節可動域は、術後1・3・5・8・12週時点で測定した。tMRCは、術後3・5・8・12週の時点で測定した。被験者情報として、年齢、性別、利き手、患側（利き手罹患）を取得した。

tMRCに用いる筋弛緩の基準値は、テレマイオDTSで測定した筋電位が $10\mu V$ 未満とした⁴⁾。tMRCは、被験者を5秒間安静にさせた後、指示音を合図に被験者に肘関節を自動屈曲させて最大随意収縮を10秒間維持させた。運動開始から10秒後に次の指示音があり、被験者には速やかに肘関節屈曲位から前腕を下垂と同時に上腕二頭筋を弛緩させ、上腕二頭筋の筋弛緩状態を10秒間測定した。この際、上腕三頭筋による測定中は被験者には筋電図モニターを見せず、指示音による合図のみで動作させた（図1）。tMRCは3回繰り返して測定し、その平均値を代表値とした⁴⁾。

5. 分析方法

tMRCが肘関節伸展可動域に影響を与えていることを検証するために、被験者を健側上腕二頭筋のtMRCの平均値に1SDを加えた値（4.0秒）を基準として、それよりも術後3週時点のtMRCが長い（deley）群と基準値と差のない（prompt）群とを比較した。肘関節自動屈伸時の上腕二頭筋のtMRC、自動伸展可動域、自動arcを従属変数とし、被験者間因子を群（deley, prompt）、被験者内変数を期間（術後3週、5週、8週、12週、関節可動域は術後1週を含む）とした2要因の反復測定分散分析を行った。多重比較検定にはBonferroni法を用いた。統計解析はSPSS Statistics Version 25 (IBM Japan) を使用し、統計学的有意水準は5%未満とした。

結果

1. deley群とprompt群の特性

両群の性別、年齢、利き手、患側の利き手割合に有意差はなかった（deley群：男6例、女9例、 50 ± 16

歳、患側利き手8例、非利き手7例。prompt群：男7例、女6例、 50 ± 21 歳、患側利き手7例、非利き手6例）。

診断は、deley群：上腕骨遠位端骨折8例（AO分類A2: 1, A3: 1, B1: 2, C2: 1, C3: 3）、肘関節脱臼骨折3例（後方脱臼+橈骨頭骨折: 2, 肘頭後方脱臼骨折: 1）、肘関節脱臼3例（StageIII B: 1, III C: 2）、尺骨骨折1例（AO分類B1）、prompt群：上腕骨遠位端骨折5例（AO分類B1: 2, B3: 1, C1: 1, C3: 1）、肘関節脱臼骨折3例（後方脱臼+橈骨頭骨折: 2, 後方脱臼+鉤状突起骨折: 1）、肘関節脱臼4例（StageIII C）、橈骨頭骨折1例（AO分類B2）であった。

2. 上腕二頭筋のtMRCの比較

両群の被験者間因子に健側tMRCを加えた群（deley群とprompt群の患側と健側）と時期（術後3・5・8・12週時点）による2要因の反復測定分散分析を行った結果、群と期間による交互作用 ($F_{[6.419, 111.264]}=21.826, p<.001$)、群 ($F_{[3.52]}=33.798, p<.001$) と期間 ($F_{[2.140, 111.264]}=27.260, p<.001$) による主効果を認めた。多重比較検定により、術後3週時点ではdeley群 (8.2 ± 2.6 秒) は、prompt群 (2.5 ± 0.7 秒) に比べ有意に患側tMRCが長かった ($p<.001$)。また、術後3週・5週時点のdeley群は、健側（術後3週: 1.9 ± 0.5 秒, 5週: 1.8 ± 0.6 秒）と比べて患側のtMRC（術後3週: 8.2 ± 2.6 秒, 5週: 3.6 ± 2.8 秒）が有意に長かった（3週: $p<.001$, 5週: $p=.013$, 図2）。

3. 肘関節自動伸展可動域の比較

肘関節自動伸展可動域を従属変数として群（deley,

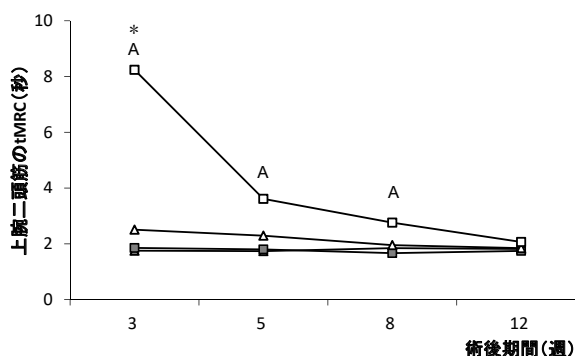


図2 delay群（15名、□患側、△健側）とprompt群（13名、■患側、▲健側）における肘関節自動屈伸時の上腕二頭筋のtMRC変化の比較

*vs. prompt群, A vs. 健患, post hoc, $p<.05$.

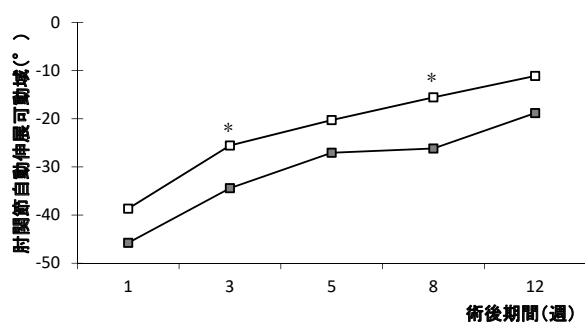


図3 delay群 (○15名) とprompt群 (■13名) の肘関節自動伸展可動域改善の比較

*vs. non-lag tMRC群, post hoc, $p < .05$.

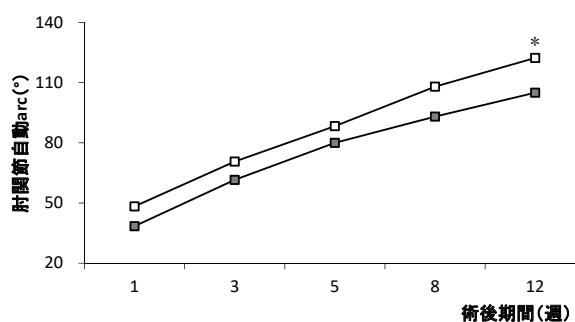


図4 delay群 (○15名) とprompt群 (■13名) の肘関節自動arcの改善の比較

*vs. prompt群, post hoc, $p < .05$.

prompt) と時期 (術後1・3・5・8・12週時点) の2要因の反復測定分散分析を行った。その結果、群と期間による交互作用はなかったが ($F_{[2,201, 57.232]} = .685, p = .352$), 群と ($F_{[1,26]} = 7.661, p = .01$) 期間 ($F_{[2,201, 57.232]} = 48.714, p < .001$) による主効果があった。多重比較検定により、術後3週と術後8週時点の伸展可動域において、prompt群の角度 (術後3週: $-25.0 \pm 9.4^\circ$, 8週: $-17.0 \pm 11.3^\circ$) はdelay群の角度 (術後3週: $-35.0 \pm 7.4^\circ$, 8週: $-25.4 \pm 8.8^\circ$) より有意に大きかった (術後3週: $p = .005$, 8週: $p = .04$, 図3)。

4. 肘関節自動arcの比較

肘関節自動arcを従属変数として群 (delayとprompt) と時期 (術後1・3・5・8・12週時点) の2要因の反復測定分散分析を行った結果、交互作用はなかったが ($F_{[2,218, 57.657]} = .632, p = .551$), 群と ($F_{[1,26]} = 4.322, p = .048$) 期間 ($F_{[2,218, 57.657]} = 123.742, p < .001$) による主効果を認めた。多重比較検定により、術後12週時点の自動arcにおいて、prompt群の角度 ($122.3 \pm 18.5^\circ$) はdelay群の角度 ($105.0 \pm 24.4^\circ$) より有意に大きかった ($p = .048$, 図4)。

考 察

本研究は、PTE術後患者のBF療法を含む後療法中に、tMRCを指標とした筋出力の制御が肘関節伸展可動域の改善へ影響を及ぼすことを検証した。PTE患者を術後3週時点の肘関節自動屈伸運動時の上腕二頭筋のtMRCにより2群 (delayとprompt) に分け、治療成績を比較した結果、delay群のtMRCは術後3週・5週時点において健側と比べ患側が有意に長かった。沖田⁶⁾は、ラット足関節尖足拘縮モデルの

ヒラメ筋において不動にして4週までは期間依存的に骨格筋の伸張性低下が顕著なることを報告している。膝拘縮の動物モデルでは、関節包の線維化は不動1週で有意に高くなり、不動4週以降はさらに高値を示すことが報告されている⁶⁾。術後3週時点で患側tMRCが健側よりも長い者では、健側と差のない者に比べて関節を構成する結合組織に変化が生じ、軟部組織の伸張性が低下していることが考えられる。

肘関節外傷後はほとんどの症例で伸展制限がみられ、肘関節の長期的な固定により拘縮が助長される¹⁾。関節の不動による組織学的変化に関して、伊藤ら⁷⁾は伸展障害の原因の一つに、前方関節包の肥厚があることを、外傷性肘関節拘縮術後の145例に関節授動術を行った際の術野から明かにしている。Chelseyら⁸⁾の肘拘縮動物モデルを用いた実験では、①6週固定のみ、②前方関節包切離+固定、③前方関節包・外側副韧带切離+固定の3群では、②と③に関節包の肥厚が顕著であったと報告している。慢性期の外傷後肘拘縮患者の関節包については、Hildebrandら⁹⁾やCohenら¹⁰⁾の研究では対照群に比べ関節包は有意に厚く、筋線維芽細胞が増殖している¹¹⁾。さらにHildebrandら¹²⁾は外傷後拘縮膝関節のウサギモデルを用いて、術後2・4・6週の時点で筋線維芽細胞数が対照膝と比べ有意に増加したことを報告した。つまり、外傷後拘縮の関節包には急性期においても慢性期と同様に筋線維芽細胞が増殖し、筋を含む軟部組織の伸張性が損なわれていると考えられる。加えて、肘関節は外傷や術中の侵襲により前方関節包に細胞組成変化が生じ、肥厚して肘関節伸展制限を引き起こすことが考えられる。

本研究では上腕二頭筋の患側tMRCが術後3週時点で健側と差がなければ、差がある場合と比べて伸展可動域とarcが改善しやすいことを示唆した。急性期か

ら速やかにtMRCを適正化して可動域練習を行うことは、細胞組織の異常な変化を抑えるかもしれない。しかし、術後早期の患者は外傷や手術による炎症により痛みが生じ、十分な自動運動が行えないことがある。tMRCの患側と健側の差が生じる様な筋収縮異常の機序には、①炎症メディエーターが化学受容器を刺激すると γ 運動神経の興奮を引き起こす、②筋紡錘の収縮、③I a線維が α 運動神経を興奮、II線維が α 運動神経と γ 運動神経を興奮、④筋収縮、⑤ γ 運動神経の興奮を助長というループが成り立ち、 α 運動神経の興奮が続いた結果、持続収縮状態に陥ることで関節可動域が制限されるという中野ら¹³⁾の説がある。肘関節術後患者は術後の固定後なるべく早期から可動域練習が開始されても、炎症メディエーターを介した筋収縮が生じて肘屈曲位が持続される。そのうち細胞組織が改編されて前方関節包が肥厚し拘縮が生じる。

前方関節包の線維構造は、内上顆より下外側に斜走し輪状靭帯に付着する線維、上腕骨鉤突窩近位より尺骨鉤上突起前面へと縦走する線維、それらと交わって横走する線維がある¹⁴⁾。中央部は比較的厚いが側方は薄く、前面は上腕筋に広く覆われている¹⁴⁾。外傷肘関節術後患者に対するBF療法は、筋を随意的に収縮して弛緩することを意識して反復させる自動関節可動域練習であり、術後速やかなtMRCの改善を目標に実施する。この方法は外傷肘関節術後患者の過剰な筋収縮を抑制し、表面筋電図を貼付している上腕二頭筋のみならず関節包を広く覆っている上腕筋を収縮・弛緩させたことも考えられる。

本研究はPTE術後患者の後療法にBF療法を早期から用い、肘関節運動時の筋出力の制御が肘関節伸展可動域の改善へ効果があることを示唆した。特に、恐怖感や疼痛が強い患者は自動運動が許可されても有効に行えないことが多いため、自動運動が許されている患者であれば、少なくとも術後3週時点までにはBF療法による筋出力制御下での肘関節運動を実施することが肘関節伸展可動域改善の一助となると考えられる。

本研究は、1) 各群の傷病や重症度の統制が十分でない点、2) 拘縮の原因を調査していない点、3) 調査期間が術後12週で終了している点で研究の限界を有する。肘関節術後患者の拘縮の要因については、超音波などによる軟部組織評価を加えて調査する必要がある。また、術式による影響を解析するには、症例数が必要となるためさらなる検証を要する。

結 語

1. 本研究は、PTE術後患者における筋出力の制御についてtMRCを指標としたとき、その健側と患側の差がある時と差がない時を比べてtMRCの肘関節伸展可動域改善への影響を検証した。
2. PTE術後患者の患側tMRCが、術後3週時点で健側と差がある場合、差がないときに比べて、伸展可動域とarcの回復が遅いことが示唆された。
3. PTE術後は、上腕二頭筋が随意収縮した後に素早く弛緩できない状態があり、これが肘関節伸展制限の回復に影響を与える要因の一つと考えられた。

利益相反の開示

本研究発表に関連し、開示すべきCOI関係にある企業等はありません。

文 献

- 1) Morrey B.F : The posttraumatic stiff elbow. Clinical orthopaedics and related research 431 : 26-35, 2005.
- 2) Aldridge JM 3rd, Atkins TA, et al : Anterior release of the elbow for extension loss. Journal of Bone and Joint Surgery - Series A 86(9) : 1955-1960, 2004.
- 3) Tan V, Daluiski A, et al : Outcome of open release for post-traumatic elbow stiffness. Journal of Trauma - Injury, Infection and Critical Care 61(3) : 673-678, 2006.
- 4) 高橋里奈, 佐野和史, 他 : 肘関節外傷・疾患術後患者におけるバイオフィードバック療法の有用性. 日ハ会誌 9(1) : 42-47, 2016.
- 5) 高橋里奈, 佐野和史, 他 : 肘周辺外傷術後患者のADL能力と上腕二頭筋の筋出力自己調節能, 痛み, 関節可動域との関連. 日手会誌 3 : 471-476, 2017.
- 6) SENIAM project : Recommendations for sensor locations on individual muscles, http://seniam.org/sensor_location.htm (閲覧日 : 2019.06.25).
- 7) 沖田 実 : 関節可動域制限の発生メカニズムとその治療戦略. 理学療法学 41(8) : 523-530, 2014.
- 8) 伊藤恵康, 鶴飼康二, 他 : 肘関節拘縮の病態と関節形成術. Monthly book of Orthopaedics 15(10) : 29-35, 2002.
- 9) Dunham ChelseyL, Castile RM, et al : Persistent motion loss after free joint mobilization in a rat model of post-traumatic elbow contracture. Journal of Shoulder and Elbow Surgery 26(4) : 611-618, 2017.

- 10) Hildebrand KA, Zhang M, et al : High rate of joint capsule matrix turnover in chronic human elbow contractures. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 439 : 228-234, 2005.
- 11) Cohen MS, Schimmel DR, et al : Structural and biochemical evaluation of the elbow capsule after trauma. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* 16(4) : 484-490, 2007.
- 12) Hildebrand KA, Zhang M, et al : Myofibroblast Numbers are Elevated in Human Elbow Capsules after Trauma. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 419 : 189-197, 2004.
- 13) Hildebrand KA, Zhang M, et al : Cellular, matrix, and growth factor components of the joint capsule are modified early in the process of posttraumatic contracture formation in a rabbit model. *Acta Orthopaedica* 79(1) : 116-125, 2008.
- 14) 中野治郎, 井上貴行, 他 : 関節可動域制限—病態の理解と治療の考え方, 沖田実, 1版. 東京, 三輪書店 : 152-158, 2008.
- 15) 飛弾 進, 内西兼一郎, 他 : 肘関節の軟部支持組織と機能解剖. *関節外科* 9(3) : 299-305, 1990.