手指のボタンホール変形とスワンネック変形に関する 三次元有限要素解析*

嶋脇 聡^{*1}, 酒井直隆^{*1}

Three-Dimensional Finite Element Analysis of Finger Boutonnière and Swan-Neck Deformities

Satoshi SHIMAWAKI^{*1} and Naotaka SAKAI

^{*1} Graduate School of Engineering, Utsunomiya University
7-1-2 Yoto, Utsunomiya-shi, Tochigi, 321-8585 Japan

Finger deformities refer to the symptoms where a flexed or extended joint becomes fixed in one direction and is prevented from returning to a normal state due to muscle or tendon abnormalities around the joint as a result of trauma or a pathological abnormality. The deformities exist in numerous forms, and their causes are known to be either a muscle imbalance or tendon rupture. We focused on the finger deformity forms of the boutonnière and swan-neck deformity. To clarify the formation mechanisms of these deformities, conventional studies have used cadaveric fingers whereas in this study we used the finite element method to model the mechanism of human finger flexion and extension (extensor tendons, flexor tendons, phalanges, tendon pulleys, and ligaments). Using this model, flexion angles of the distal interphalangeal (DIP) and the proximal interphalangeal (PIP) joint were calculated with conditions for a tendon (central band, lateral band, flexor digitorum superficialis tendon) rupture and tendon tension abnormalities. The results have shown that the conditions which most resembled the boutonnière deformity were those of the central band removal model, and the conditions which most resembled the swan-neck deformity were those of the flexor digitorum superficialis tendon removal model and the tendon tension abnormalities. These results are in agreement with those from clinical observations and cadaveric finger experiments, and demonstrated that the finite element method was effective for clarifying the mechanisms for finger deformity formations.

Key Words : Boutonnière Deformity, Swan-Neck Deformity, Finger Joint, Tendon, CT and MR Images

1. 緒 論

指外傷は日常生活やスポーツにおいて比較的高頻度で発生し、皮膚・爪・指節骨などの指を構成する要素が単独または複合的に損傷を受ける。手指の機能が外傷により制限されると、日常生活に大きな支障を与える。指外傷には、骨折、軟部組織損傷、爪部損傷、変形、靱帯損傷など^(1, 2)があり、それぞれ異なる原因と影響がある。ここで手指に生じる変形とは、関節周辺の筋または腱の異常によって、関節が一定方向に屈曲・伸展したまま固定して、正常状態へ復帰しない症状のことである。その変形形態は多数あり、その原因について筋力のバランス異常、腱断裂などが確認されている⁽³⁾。そのため、指外傷の受傷後の影響や受傷後の変形について調べることは、手指の変形に対する治療や予防において非常に重要であると考えられる。

ヒト指^(4, 7)の構成は、骨や爪などの硬組織と、皮膚や腱などの軟組織に区分される。指節骨は遠位から末節骨、

* 原稿受付 2011 年 12 月 11 日

^{*1} 正員, 宇都宮大学 大学院工学研究科 バイオメカニクス研究室
(〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2)

E-mail : simawaki@cc.utsunomiya-u.ac.jp

Fig.1 The phalanges and tendons in human finger

中節骨、基節骨と呼ばれ、末節骨と中節骨の間に遠位指節間関節（distal interphalangeal joint, DIP 関節と表記）と、中節骨と基節骨の間に近位指節間関節（proximal interphalangeal joint, PIP 関節と表記）がある。これらの関節は1自由度であり、屈曲・伸展運動を行う。これらの関節部では、2つの骨を側副靱帯にて接続する。屈曲・伸展運動を可能としているものが腱である。手掌面には、主に、深指屈筋腱と浅指屈筋腱があり、前者の停止点は末節骨底で、後者の停止点は中節骨底である。手背面には、主に、総指伸筋腱がある。これは基節骨底で3つに分かれ、中央は中央索となり中節骨底で停止し、両側は側索となり末節骨底で停止する。また、骨間筋と虫様筋が総指伸筋腱に停止する。屈筋腱は5つの環状腱鞘と3つのクロス状腱鞘で保護されている。腱鞘の役割はその中に含有された滑液により腱の駆動を助けるものである。5つの環状腱鞘の中で、A2 腱鞘は基節骨に、A3 腱鞘は中節骨近位に、A4 腱鞘は中節骨遠位に存在する。図1に正常なヒト指の指節骨と主な腱を示す。

本研究では、手指に生じる変形の中で典型的なボタンホール変形とスワンネック変形に着目した^(3,7,8)。

ボタンホール変形^(3,7,8)とは、PIP 関節屈曲と DIP 関節過伸展を伴う変形である（図2a）。この変形が起こる原因は、中央索の切創や皮下断裂などである⁽⁹⁾。関節リウマチによる PIP 関節の滑膜炎による原因もある⁽¹⁰⁾。中央索の断裂により PIP 関節の伸展力が低下するが、断裂直後であれば側索が PIP 関節の背側を通っているため、まだ伸展が可能である。しかしその後、指の屈曲運動により側索は掌側に移動して、PIP 関節の回転軸より掌側に移動した状態となる。この状態において側索は DIP 関節を伸展させる作用を有するので DIP 関節は伸展位となり、さらに浅指屈筋の力も加わって PIP 関節は屈曲位で固定される。

Fig.2 Finger deformities

次にスワンネック変形^(3, 7, 8, 11-13)とは、PIP 関節過伸展と DIP 関節屈曲を伴う変形をいう(図 2b)。主な原因は PIP 関節における伸筋力と屈筋力のバランス異常である。原因として、外在筋(総指伸筋)由来と内在筋(骨間筋と虫様筋)由来に分類できる。前者では、浅指屈筋腱が外傷や手術によって切断されたり、手関節などの屈曲拘縮により総指伸筋腱が強く牽引されたりすると、伸筋力と屈筋力のバランスが崩れて、変形を引き起こす。後者では、内在筋の拘縮やリウマチ様関節炎による内在筋の短縮により、PIP 関節が過伸展して変形を引き起こす。手指の運動は指伸筋、指屈筋、骨間筋、虫様筋のつり合いにより実施される。そのため、このつり合いが少しでも崩れると、容易に変形や拘縮を引き起こす。

腱断裂や腱張力の不均衡により、このような手指の変形が生じることが臨床的に知られていた。このような発生メカニズムの解明のために、従来は死体指を使用することがあった⁽¹⁴⁻¹⁷⁾。しかしながら、より簡便で容易に実験条件を変更できる数値解析による解明がいまだ行われていない。そこで、本研究では、有限要素法の手法を用いて、

Fig.3 Three-dimensional finite element model of the human finger.

ヒト指の伸展・屈曲機構（伸筋腱、屈筋腱、指節骨、腱鞘、靱帯）をモデル化した。このモデルを用いて、腱（中央索、側索、浅指屈筋腱）断裂時および腱張力異常時における DIP および PIP 関節屈曲角度を計算した。

2. 方 法

2.1 三次元指モデルの構築

2.1.1 指節骨モデルの作成⁽¹⁸⁾

本研究で用いた X 線 CT 画像撮影装置は、SIEMENS 社製 SOMATOM PLUS-4 であった。この CT 機は、回転スピード 0.5 秒/1 回転で 1mm 間隔による断面スライス画像の取得が可能な装置である。右手に外傷や既往歴の無い成人男性 1 名（年齢 22 才，身長 178.6cm，体重 68.5kg，体脂肪率 20.0%）に対して、各指節間関節を伸展位にて右手手関節より遠位に 1mm 間隔で CT 画像を取得した。本研究は、宇都宮大学ヒトを対象とした倫理審査委員会の許可を得た。撮影に先立ち、被験者に本研究の目的および内容を十分説明し、被験者から同意を得た。撮影された画像は DICOM ファイルとして出力された。ファイルサイズは 50mm×50mm で、pixel 数は 512×512 であった。断面スライス画像の DICOM ファイルを bitmap ファイルに変換したのち、輪郭検出用ソフトウェア SURFdriver (ver.3.5.6, David Moody and Scott Lozanoff) を用いて、指節骨（末節骨，中節骨，基節骨）の輪郭として 22.5deg 間隔で 16 点の交点を目視にて抽出した。得られた指節骨の輪郭データから、有限要素法解析ソフト ANSYS LS-DYNA (ver.10.0 サイバーネット社)を用いて、三次元指節骨モデルをボトムアップ方式で構築した。要素は 8 節点 6 面体要素であり、その数は 4159 であった。

2.1.2 腱、腱鞘、靱帯モデルの作成

本研究で用いた MRI 装置は Phillips 社製 Intera Achieva 1.5T であった。CT 画像撮影時の被験者に対して、各指節間関節を伸展位にて右手手関節より遠位に 1mm 間隔で MR 画像を取得した。撮影条件は、TR(repetition time)=1800msec, TE(echo time)=8msec とした。MR 画像のファイルサイズは 80mm×80mm で、pixel 数は 528×528 であった。MR 画像と文献^(4, 5, 19, 20)より腱、腱鞘、靱帯の位置を推定した。今回作成した腱は、伸展・屈曲運動に大きく関わる 3 つの腱（深指屈筋腱、浅指屈筋腱、総指伸筋腱）と、3 つの腱鞘（A2 腱鞘, A3 腱鞘, A4 腱鞘）である。指節骨が大きく離開することを防ぐために、DIP および PIP 関節の両側に側副靱帯を作成した。断面スライス画像において、腱モデルは 8 点、腱鞘モデルはアーチ状に 16 点、側副靱帯は 4 点の交点を決定した。

2.1.3 三次元指モデルの構築

作成した指節骨モデル、腱モデル、腱鞘モデル、靱帯モデルを統合して、三次元指モデルを構築した（図 3）。指節骨モデルと軟組織モデル（腱、腱鞘、靱帯）の接合部では節点を共有させて、剥離を生じない完全接合とした。指節骨、腱、靱帯、腱鞘のヤング率をそれぞれ $1.7 \times 10^4 \text{MPa}$ ⁽¹⁸⁾, $4.5 \times 10^2 \text{MPa}$ ⁽²¹⁾, $2.4 \times 10^2 \text{MPa}$ ⁽²¹⁾, 3.4MPa ⁽²²⁾と定義した。全ての材料のポアソン比を 0.3 と定義した。また、各骨モデル間の動摩擦係数を 0.005⁽²³⁾、腱鞘モデルと腱モデルの間の動摩擦係数を 0.04⁽²⁴⁾と定めた。骨モデルと腱モデルおよび、骨モデルと靱帯モデルの間の摩擦は無視した。

2.2 解析条件

今回の解析では、図 4 のように各腱モデルの末端面を近位方向へ平行に移動させる条件を与えることで腱モデルを牽引し、それによって各関節を動作させた。正常死体指を用いた実験⁽²⁵⁾において、筋収縮に伴う腱移動により、

Fig.4 Calculating condition

指の形が決定されることが知られている. 正常な腱動作として, 指伸展状態を実現するために, 総指伸筋腱を 4mm, 深指屈筋腱を 2mm, 浅指屈筋腱を 4mm 移動するように定義した. 基節骨モデルの近位側におけるエリアに全方向変位回転拘束を与えた.

緒論で述べたように, ボタンホール変形とスワンネック変形の発生要因として, 外傷などによる腱断裂および腱張力異常が考えられた. そこで, 腱断裂のシミュレーションとして, 図3の三次元指モデルから, ①中央索除去モデル, ②側索除去モデル, ③浅指屈筋腱除去モデルを作成した. さらに, 腱張力異常のシミュレーションとして, 総指伸筋腱の移動量を正常な移動量 4mm から 8mm まで 1mm 間隔で増加させた.

3. 結 果

3・1 指節間関節動作に及ぼす腱断裂の影響

図5に, ①中央索除去モデル, ②側索除去モデル, ③浅指屈筋腱除去モデル, ④正常モデルにおける腱牽引後の各指節間関節の動作を示す. 図5(d)の正常モデルでは, 腱がそれぞれ骨を牽引し合ってバランスを保ち, DIP 関節および PIP 関節にも大きな動作が生じなかった. 一方, 図5(a)の中央索除去モデルでは, PIP 関節の伸展を支えていた中央索が断裂したことにより浅指屈筋腱の牽引力で PIP 関節が屈曲し, さらに総指伸筋腱の牽引力が側索

Fig.5 Simulation results for the finger deformities.

Fig.6 Flexion angles of DIP and PIP joints. (a) Central band removal model; (b) Lateral band removal model; (c) Flexor digitorum superficialis tendon removal model; (d) Normal model.

を通して DIP 関節に集中したために DIP 関節が過伸展した。よって、ボタンホール変形の症状が確認された。また、図 5 (b)の側索除去モデルでは、総指伸筋腱の力が中央索に集中したが、総指伸筋腱と浅指屈筋腱の牽引力が釣り合っていたため、PIP 関節には大きな変化は見られなかった。しかし、側索の牽引力を喪失したため、深指屈筋腱の牽引力により DIP 関節が屈曲した。図 5 (c)の浅指屈筋腱除去モデルでは、浅指屈筋腱の牽引力が喪失したため、中央索の牽引力により PIP 関節が過伸展した。さらに、総指伸筋腱の牽引力が中央索に集中したためその牽引力における側索への分配が減少したことにより、深指伸筋腱の牽引力により DIP 関節が屈曲した。よって、スワンネック変形の症状が確認された。

図 5 (a)に示すように、各指節骨においてその両端面の中点を通る中心線を求め、隣接する 2つの指節骨の中心線のなす角度を屈曲角度として求めた。図 6に各モデルにおける DIP および PIP 関節の屈曲角度を比較する。中央索除去モデルでは DIP 関節で過伸展 33.5° 、浅指屈筋腱除去モデルでは PIP 関節で過伸展 27.5° であった。

3・2 指節間関節動作に及ぼす腱張力異常の影響

図 7に、正常モデルおよび側索除去モデルにおいて、総指伸筋腱の移動量を正常な移動量 4mm から 8mm まで 1mm 間隔で増加させた場合における DIP および PIP 関節の屈曲角度の変化を示す。図より正常モデルでは、移動

Fig.7 The change of the flexion angles of DIP and PIP joints as increasing of the tractive distance in two model (normal model and lateral band removal model).

量 6mm において、それまで均衡を保っていた伸筋腱牽引力と屈筋腱牽引力のバランスが崩れ、PIP 関節は過伸展位となり、DIP 関節は屈曲位をとった。移動量 6mm 以上において、移動量の増加に伴い PIP 関節の伸展角度は漸増した。図より側索除去モデルでも、移動量 6mm で牽引力のバランスが崩れ、PIP 関節は過伸展位となり、DIP 関節は屈曲位をとった。側索が断裂しただけでは指節間関節の変形は小さいが、それに加えて総指伸筋腱の腱張力が増加することで DIP 関節の屈曲、PIP 関節の過伸展変形が生じた。よって側索断裂に加えて指伸筋腱緊張増加でスワンネック変形が起きることが確認できた。

4. 考 察

過去において、死体指を用いたボタンホール変形の再現やその治療法の検討を行った研究がいくつか報告されている⁽¹⁴⁻¹⁷⁾。Hurlbut ら⁽¹⁴⁾は、中央索切離による中央索、側索、総指伸筋腱に生じるひずみを計測した。その結果、中央索断裂によりボタンホール変形が発生すると、中央索のひずみが平均 60%減少することを示した。一方、側索および総指伸筋腱のひずみに変化は見られなかった。Klasson ら⁽¹⁵⁾は、中央索切離後に、総指伸筋腱、骨間筋腱、深指屈筋腱、浅指屈筋腱に牽引力を加えて、PIP 関節の伸展力を計測した。その結果、中央索の再建により PIP 伸展力が回復することを示した。Rubin ら⁽¹⁶⁾は、中央索および骨間筋停止部の靱帯などの切離後に総指伸筋腱を牽引してボタンホール変形を確認した。Sarrafian ら⁽¹⁷⁾は、正常指に対して、総指伸筋腱を牽引した際の伸展機構（中央索、側索、総指伸筋腱など）のひずみを計測した。その結果、指伸展時における伸展機構のひずみ（張力）変化を示した。これらの研究において、各関節を任意の屈曲角度に固定するための特殊ジグが必要であり、さらに腱に生じるひずみ測定には特殊な機構および装置が使用されていた。また、実験条件（切離する腱、関節角度、牽引力など）を変更するためには実験装置を変更する必要があるため、設定変更が困難であった。しかしながら、有限要素法による数値解析を使用すれば、上記の死体指を使用した実験を実施することができ、さらに詳細な解析も可能である。一方で、数値解析の解析精度に関する課題がある。この課題の解決には精密なモデル作成が不可欠であり、MR 画像による軟組織モデルの構築が重要となってくると思われる。

本研究のシミュレーション結果をまとめると、ボタンホール変形に相似な変形を生じた条件は、中央索除去モデルであり、スワンネック変形に相似な変形を生じた条件は、浅指屈筋腱除去モデルおよび腱張力異常（正常モデルおよび側索除去モデル）であった。

緒論でも述べたように、ボタンホール変形の発症原因は外傷などによる中央索断裂であり、本研究の結果と臨床知見とは一致している。けれども、臨床では中央索断裂後すぐに変形が生じるのではなく、屈曲動作を実施するに伴い、側索が掌側へ移動することによって変形が進展する。本研究において、予め側索を掌側へ僅かに移動させておいたことと、総指伸筋腱を保持している指の皮下組織を構築していないことにより、直ちにボタンホール変形に相似な変形を生じたものと考えられる。しかしながら、力学的な発生メカニズムについて、両者はよく一致している。

スワンネック変形の発症原因は伸筋力と屈筋力のバランス異常であり、外在筋由来の場合、浅指屈筋腱切断による屈筋力の低下や、手関節などの屈曲拘縮により総指伸筋腱が強く牽引されることがある。本研究の結果と臨床知見とは一致している。また、内在筋由来の場合、内在筋（骨間筋と虫様筋）の過緊張により PIP 関節の過伸展を生じて、スワンネック変形が発症する。本研究では骨間筋と虫様筋を構築していないため本要因を確認することができないが、今後のモデル改良において、これらの筋もモデル化する予定である。

手指の変形に対する治療法として、保存的治療と手術的治療がある⁽⁹⁾。手術的治療法には種々の手法があり、臨床的にそれらの成績が評価されている^(15, 26, 27)。本研究で使用した三次元指モデルは臨床知見を良く再現できた。そこで、本モデルを用いて、これら手術手法の評価を行ったり、特殊な症例における手術シミュレーションを行ったりすることが可能であると思われる。

5. 結 論

本研究では、有限要素法の手法を用いて、ヒト指の伸展・屈曲機構（伸筋腱、屈筋腱、指節骨、腱鞘、靱帯）をモデル化した。このモデルを用いて、腱（中央索、側索、浅指屈筋腱）断裂時および腱張力異常時における遠位指節間関節（distal interphalangeal joint, DIP 関節）および近位指節間関節（proximal interphalangeal joint, PIP 関節）の屈曲角度を計算した。その結果、中央索除去モデルにおいて、DIP 関節が過伸展し PIP 関節が屈曲して、ボタンホール変形の形態を示した。側索除去モデルにおいて、DIP 関節のみ屈曲した。浅指屈筋腱除去モデルにおいて、DIP 関節が屈曲し PIP 関節が過伸展して、スワンネック変形の形態を示した。正常モデルおよび側索除去モデルにおいて、総指伸筋腱の移動量を増加させると、DIP 関節が屈曲し PIP 関節が過伸展して、スワンネック変形の形態を示した。これら条件における手指の変形は、臨床所見および死体指を用いた実験結果と一致しており、有限要素法を用いた本手法の妥当性が示された。

謝 辞

実験およびデータ整理に協力してくれた元宇都宮大学学生である本間英明君に謝意を表する。

文 献

- (1) 戸島忠人, 浜田良機, “指尖部損傷治療マニュアル 骨損傷 末節骨骨折”, *Monthly Book Orthopaedics*, vol. 17, No. 2 (2004), pp.64-70.
- (2) Degroot III, H., Mass, D.P., “Hand injury patterns in softball players using a 16 inch ball”, *The American Journal of Sports Medicine*, Vol. 16, No. 3 (1988), pp.260-265.
- (3) 石突正文, “手指の変形とその病態について”, *日手会誌*, Vol. 12, No. 6 (1996), pp.995-1001.
- (4) Kapandji, I. A., *カパンディ関節の生理学 I 上肢* (2006), pp.188-207, 医歯薬出版.
- (5) 坂井建雄, 松村譲児監訳, *プロメテウス解剖学アトラス解剖学総論／運動器系* (2008), pp.274-279, 医学書院.
- (6) 上羽康夫, *手その機能と解剖* (1970), pp.11-157, 金芳堂.
- (7) 中村利孝, 松野丈夫, 内田淳正, *標準整形外科学*, 第 10 版 (2008), pp.396-415, 医学書院.
- (8) Boyer, M.I., and Gelberman, R.H., “Operative correction of swan-neck and Boutonniere deformities in the rheumatoid hand”, *The Journal of American Academy of Orthopaedic Surgeons*, Vol. 7, No. 2 (1999), pp.92-100.
- (9) 杉田直樹, 生田義和, “指の伸筋腱損傷に対する後療法”, *Monthly book medical rehabilitation*, No. 67 (2006), pp.54-58.
- (10) 加藤博之, 内山茂晴, 山崎宏, 松田正之, 山崎秀, “RA による指ボタン穴変形の治療”, *関節外科*, Vol. 27, No. 1 (2008), pp.58-63.
- (11) 政田和洋, “スワンネック変形に対する手術”, *関節外科*, Vol. 27, No. 1 (2008), pp.64-69.
- (12) Swanson, A.B., and Michigan, R., “Surgery of the hand in cerebral palsy and the swan-neck deformity”, *The Journal of Bone and Joint Surgery*, Vol. 42A, No. 6 (1960), pp.951-964.
- (13) Chinchalkar, S.J., Lanting, B. A., and Ross, D., “Swan neck deformity after distal interphalangeal joint flexion contractures: a biomechanical analysis”, *The Journal of Hand Therapy*, Vol. 23, No. 4 (2010), pp.420-425.
- (14) Hurlbut, P.T., and Adams, B.D., “Analysis of finger extensor mechanism strains”, *The Journal of Hand Surgery*, Vol. 20A, No. 5 (1995), pp.832-840.

- (15) Klasson, S.C., and Adams, B.D., “Biomechanical evaluation of chronic boutonnière reconstructions”, *The Journal of Hand Surgery*, Vol. 17A, No. 5 (1992), pp.868-874.
 - (16) Rubin, J., Bozentka, D.J., and Bora, F.W., “Diagnosis of closed central slip injuries”, *The Journal of Hand Surgery*, Vol. 21B, No. 5 (1996), pp.614-616.
 - (17) Sarrafian, S.K., Kazarian, L.E., Topouzian, L.K., Sarrafian, V.K., and Siegelman, A., “Strain variation in the components of the extensor apparatus of the finger during flexion and extension”, *The Journal of Bone and Joint Surgery*, Vol. 52A, No. 5 (1970), pp.980-990.
 - (18) 嶋脇聡, 酒井直隆, 福田智史, “CT 画像から構築した三次元ヒト指尖部モデルの有限要素法による力学的変形解析”, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 71, No. 704 (2005), pp.204-209.
 - (19) 町田徹, CT/MRI 画像解剖ポケットアトラス, 第 3 版 第 3 巻 脊椎・四肢・関節, (2008), pp.396-415, メディカルサイエンスインターナショナル.
 - (20) 坂井建雄, 河原克雅, カラー図解人体の正常構造と機能, 全 10 巻縮刷版, (2008), pp.764-777, 日本医事新報社.
 - (21) Abe, H., Hayashi, K. and Sato, M., *Data Book on Mechanical Properties of Living Cells, Tissues, and Organs*, (1996), Springer-Verlag.
 - (22) Manske, P.R., and Lesker, P.A., “Strength of human pulleys”, *The Hand*, Vol. 9, No. 2 (1977), pp.147-152.
 - (23) 村上輝夫, “関節軟骨組織構造・軟骨細胞と関節のトライボロジー特性”, 生体医工学, Vol. 44, No. 4 (2006), pp.537-544.
 - (24) 内山茂晴, “屈筋腱一腱鞘間摩擦の定量化”, 日手会誌, Vol. 13, No. 1 (1996), pp.139-141.
 - (25) Gracia-Elias, M., An, K.-N., Berglund, L., Linscheid, R.L., Cooney III, W.P., and Chao, E.Y.S., “Extensor mechanism of the finger. I. A quantitative geometric study”, *The Journal of Hand Surgery*, Vol. 16A, No. 6 (1991), pp.1130-1136.
 - (26) 南川義隆, 中村誠也, 小川亮恵, 藤本啓治, 田中康之, “リウマチ性ボタン穴変形の治療成績”, 日手会誌, Vol. 14, No. 5 (1998), pp.887-891.
 - (27) 吉津孝衛, 牧裕, 坪川直人, “指 PIP 関節伸展障害に対する側索移行による再建の検討”, 日手会誌, Vol. 16, No. 2 (1999), pp.263-266.
-