

ばかりでなく、運動時の呼吸促進、血圧上昇にもかかわっていることが知られていた。筆者らのポリモーダル受容器は運動時のそれらの反応にもかかわっていると考えている。ポリモーダル受容器に最も強力な興奮作用を示す高張食塩水が最も強力な呼吸促進作用を示し、次に強い興奮作用をもつ高カリウム液 (60 mM) とブラジキニンが、高張食塩水と比べればかなり弱いと同程度の呼吸促進を引き起こしたことが根拠である<sup>10)</sup>。一方、Menseらのグループは、強い機械刺激に反応しブラジキニンなどの発痛物質に反応する侵害受容器のほかに、筋収縮や伸張によって興奮するが局所的な圧刺激にはあまり感受性の高くない受容器が細径線維のなかにあると報告している<sup>9)</sup>。これが筋の仕事量を検出し運動時の呼吸促進、血圧上昇にかかわる ergoreceptor ではないかといっている。しかしその後この受容器についての研究はない。MenseらはC線維受容器の中にさらに、低閾値機械受容器と温度受容器を区別している。しかし、後の実験では侵害受容器と低閾値機械受容器の間に発痛物質に対する感受性にあまり顕著な差が見られていない。筋のように三次元的な広がりのある構造体において、表面から与えた機械刺激や熱刺激に対する反応閾値から受容器タイプを区別するのは無理がある。別な刺激方法、反応性の調べ方が必要だろう。

### 筋の痛みモデルと痛み受容器活動の変化

**カラゲニン筋炎：**筋の痛みモデルとしては炎症モデルが最もよく使われてきた。Menseらは起炎剤であるカラゲニンを筋肉内投与して起こした急性の炎症で、筋のA $\delta$  (III群)、C (IV群) 線維の自発放電活動が上昇し、C (IV群) 線維の機械反応閾値の低下を観察し

ている<sup>1)</sup>。

**酸注入による中枢性痛覚過敏モデル：**最近Slukaらは、一側の腓腹筋に酸を2回、5日間をおいて注入することにより、30日間にもわたって、しかも両側の足底皮膚に機械痛覚過敏を生じることを報告している<sup>11)</sup>。このモデルでは筋に酸を注入しているが、筋には何ら組織損傷は残っていないという。また、筋に痛覚過敏が生じているかどうかをSlukaらは調べていない (明治鍼灸大学の伊藤和憲氏からの個人的情報によれば、筋に機械痛覚過敏は生じていないという)。筋の細径求心線維のなかには酸に反応するものもあるので<sup>4)</sup>、その興奮が脊髄に可塑的な変化を起こしたものであろう。つまり、このモデルは筋の刺激によって生じる中枢性痛覚過敏のモデルである。筋の細径性求心神経の入力は皮膚のそれに比べ強力な中枢性感作効果をもつことが以前より知られており<sup>12)</sup>、それを顕著に表した例といえる。

**遅発性筋痛：**不慣れな運動後に生じる遅発性筋痛 (DOMS) はほとんど誰でも一度ならず経験する痛みである。DOMSは筋が伸張を受ける状態で収縮する場合 (伸張性収縮、遠心性収縮ともいわれる) に最もよく生じることが知られている。たとえば、山を下る場合の大腿四頭筋の収縮がこれに当たる。自発痛はほとんどなく、圧痛が顕著である。この筋痛は運動後1日以上たって起こり (遅発性)、運動後3日から遅くとも7日後には消失する。この意味では生理的であると考えられ、多くの人には鎮痛剤を飲むこともなく、医療の対象となることもない。しかし、トレーニングを続ける場合にはケガのもととなることもありうるし、また慢性的な痛みの潜在的な原因となっている可能性もある。

ラットやマウスに伸張性収縮がかかる下り

坂トレッドミル走行をさせ、ヒトで DOMS が生じる時期に、筋線維の断裂、Z 帯の破壊などの形態学的変化、血中クレアチニンキナーゼ (CK)、乳酸脱水酵素 (LDH) などの上昇が起こることが報告されている。これらのデータに基づいて次のような機構が考えられている。まず、筋運動による筋細胞膜や結合織の破壊の結果、カルシウムの細胞内への流入が起こる。これにより細胞内呼吸が阻害されてカルシウム汲み出しが阻害され、さらに細胞内カルシウム増大が起こる。その結果、Z 帯やトロポニン、トロポミオシンなどを分解する蛋白分解酵素の活性が上昇し、筋形質の破壊が進み、筋細胞から LDH、CK などが血中へ流出する。破壊された筋形質は食細胞を誘引し、肥満細胞の活性化を起こす。この肥満細胞や食細胞が放出する炎症メディエーター、サイトカイン等が浮腫や痛みを起こすと考えられている。嫌氣的代謝の結果生じる乳酸はこれらの原因ではない。遅発性筋痛は、運動前にシクロオキシゲナーゼ阻害剤である消炎鎮痛薬を摂取することによりある程度抑制されるという報告が、無効という報告よりも多い。一方、運動後の消炎鎮痛薬の効果については否定的なものが多い。DOMS の発生過程にはプロスタグランジンがかかわっているのかもしれない。その他、発生機構に関する仮説については文献 2 の総説を参照されたい。

しかし、これらの動物で実際に筋の圧痛 (機械痛覚過敏) が生じているか、何がそれを起こしているか、などの点について調べた研究はない。また、なぜ遅発性筋痛は運動後 1 日から 2 日の潜時をもって生じるのか不明である。このような痛みの機構を調べるには、動物のモデルを作り、それをを用いて調べることが重要であると考えられる。そこで、筆者

らはラットの後肢下腿筋に電気刺激を与えて収縮させると同時に伸張させて (図 2A)、その前後で筋圧痛閾値を調べた。覚醒した動物で筋の圧痛を調べるには、常に皮膚を介して刺激しなければならないという問題点がある。そこで、加えた圧が深部まで及ばない先端径の小さな von Frey 毛 (直径 0.5 mm) と、刺激子の先端が鈍な円錐状で圧変化が深部まで及ぶ Randall Selitto 法とを組み合わせ調べてみた。その結果、伸張性運動負荷 1~3 日目に、Randall Selitto 法の刺激子を運動負荷筋 (長指伸筋) 上の皮膚から押し当てたところ、圧痛閾値は低下していた。一方、同じ皮膚部位を von Frey 毛で測ったところ圧痛閾値に変化は見られなかった。これらの結果を総合すると、運動負荷を受けた筋に圧痛閾値の低下があることがわかった<sup>14)</sup>。

圧痛の存在をさらに確認するため、刺激を受けた神経経路に沿って刺激後 30 分から 2 時間以内に出現する最初期遺伝子の産物 c-Fos の発現を調べてみた。伸張性運動負荷 2 日目に動物の脊髄後角に発現する c-Fos の数はわずかであった。一方、伸張性運動負荷 2 日目に 30 分間筋の圧迫刺激 (疼痛閾値の約 1.6 倍の強さ) を受け (麻酔下で実施)、その 2 時間後に灌流固定された動物では、脊髄後角の、特に細径侵害受容器線維が入力している表層 (I, II 層) に限局して c-Fos の発現の増加が見られた (図 2B)<sup>14)</sup>。筋の圧迫刺激を 30 分間受けただけの動物では c-Fos の増加は見られないので、麻酔下では使った圧迫刺激はこの経路を活性化しないという結果であった。それに対し、2 日前に伸張性収縮を受けた筋を圧迫すると c-Fos が増大したことから、機械痛覚過敏状態になっていることが推定された。また、2 日前に伸張性収縮のみを負荷された動物で c-Fos 発現の増大がない

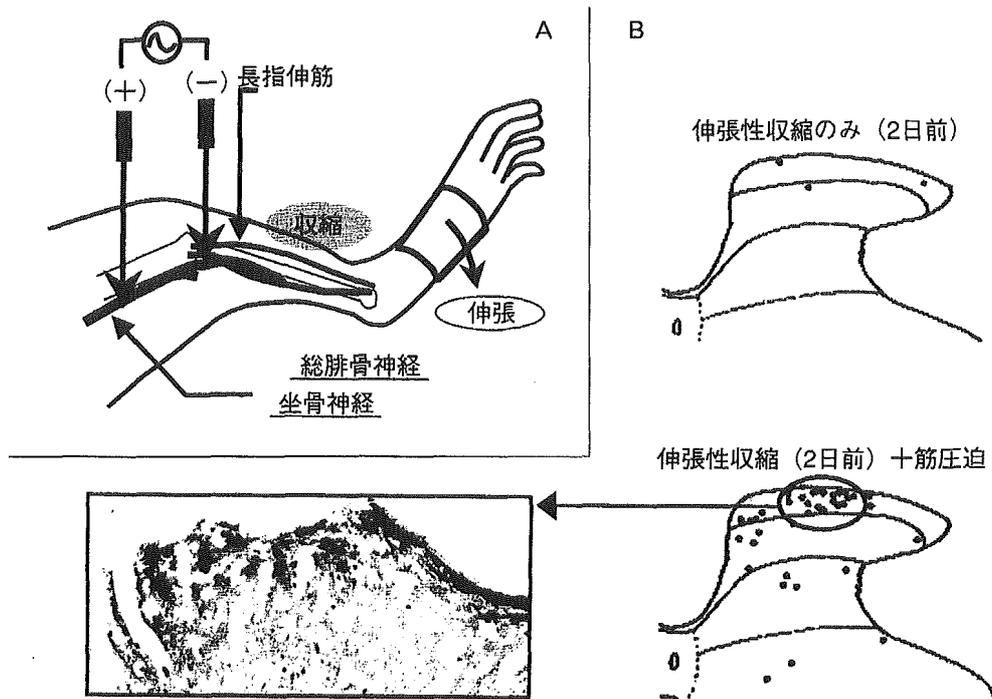


図2 遅発性筋痛モデルの作成法（模式図）と脊髄後角における c-Fos 発現

A：遅発性筋痛モデルの作成法（模式図）。経皮的に2本の電極を坐骨神経近傍に挿入し、電気刺激し（50 Hzで1秒間刺激、これを4秒ごとに500回繰り返す）、下腿筋（主に長指伸筋）を収縮させる。それと同期して後肢を伸展させる。

B 右上：2日前に伸張性収縮を负荷した動物のL4脊髄後角のc-Fos発現（Camera lucidaにより描画したもの。右下図も同じ）。c-Fosを発現した細胞はほとんど見られない。

B 右下：2日前に伸張性収縮を负荷し、灌流当日に筋圧迫（160 g、30分間）を行った動物のL4脊髄後角のc-Fos発現。脊髄後角表層（I、II層）に多くのc-Fos陽性細胞が見られる。

B 左下：右下図の○で示した部分の顕微鏡写真。黒く米粒様に見えるのがc-Fosを発現した神経細胞の核。

という所見は、遅発性筋痛では自発痛がほとんどないという所見と一致するものであった。

このように運動负荷後に機械痛覚過敏を呈する動物から筋を神経とともに取り出し、単一のC線維受容器活動を *in vitro* で調べた。対象動物のC線維受容器と比べて自发放電には差がなく、機械反応閾値が低下し、同じ機械刺激に対する反応の大きさが増大していた<sup>15)</sup>。その他の反応性にはあまり顕著な差が見られなかった。これより、伸張性収縮负荷後に生じる機械痛覚過敏は、C線維受容器の反応性変化が大きな役割を担っていると考えられる。この変化を生じる機構の解析は今後

の実験に待たねばならない。

ところで、本特集で川喜田健司氏が述べているように、この筋痛モデルの筋には硬結が生じている<sup>5,6)</sup>。1週間以内に消失するという点を除いて、本モデルは肩こりその他の筋痛に見られる現象をかなりよく再現している。本モデルの痛みは消失までの時間が短い、筋を虚血状態にする、寒冷ストレスを负荷する、などにより遷延させうることがわかっており<sup>13)</sup>、かなり臨床的な筋痛に近いモデルになると考えられる。筋の痛みの研究はまだ数が少ないが、今後より臨床的な慢性的筋痛に近いモデルが生まれ、その神経機構の理解が深まることを期待したい。

## 文献

- 1) Berberich P. et al : Effects of a carrageenan-induced myositis on the discharge properties of group III and IV muscle receptors in the cat. *J Neurophysiol.* **59** : 1395–1409, 1988.
- 2) Cheung K. et al : Delayed onset muscle soreness : treatment strategies and performance factors. *Sports Med.* **33** : 145–164, 2003.
- 3) Doubell T. et al : The dorsal horn : state-dependent sensory processing, plasticity and the generation of pain. In : Wall PD., Melzack R., ed., *Textbook of pain.* Churchill Livingstone, Edinburgh, London, New York, Philadelphia, St. Luis, Sydney, Toronto, pp 165–181, 1999.
- 4) Hoheisel U. et al : Acidic pH and capsaicin activate mechanosensitive group IV muscle receptors in the rat. *Pain* **110** : 149–157, 2004.
- 5) Itoh K. et al : Effect of indomethacin on the development of eccentric exercise-induced localized sensitive region in the fascia of the rabbit. *Jpn J Physiol.* **52** : 173–180, 2002.
- 6) Itoh K. et al : A proposed experimental model of myofascial trigger points in human muscle after slow eccentric exercise. *Acupunct Med.* **22** : 2–12, 2004.
- 7) Julius D. et al : Molecular mechanisms of nociception. *Nature* **413** : 203–210, 2001.
- 8) Kumazawa T. et al : Thin-fibre receptors responding to mechanical, chemical, and thermal stimulation in the skeletal muscle of the dog. *J Physiol. (Lond)* **273** : 179–194, 1977.
- 9) Mense S. et al : Different types of slowly conducting afferent units in cat skeletal muscle and tendon. *J Physiol. (Lond)* **363** : 403–417, 1985.
- 10) Mizumura K. et al : Reflex respiratory response induced by chemical stimulation of muscle afferents. *Brain Res.* **109** : 402–406, 1976.
- 11) Sluka KA. et al : Unilateral intramuscular injections of acidic saline produce a bilateral, long-lasting hyperalgesia. *Muscle Nerve* **24** : 37–46, 2001.
- 12) Sugiura T. et al : Bradykinin lowered the threshold temperature for heat activation of vanilloid receptor 1. *J Neurophysiol.* **88** : 544–548, 2002.
- 13) Taguchi T. et al : A combination of eccentric muscle exercise and repeated cold stress (RCS) induced prolonged hyperalgesia — an attempt to develop an animal model of chronic muscle pain. *Environ Med.* **46** : 74–76, 2002.
- 14) Taguchi T. et al : Existence of muscular tenderness revealed by behavioral pain test and c-Fos expression after eccentric muscular contraction in rats (Abstract). 2003 Abstract Viewer/Itinerary Planner. Society for Neuroscience : Program No. 66.5, 2003.
- 15) Taguchi T. et al : Augmentation of the mechanical response of C-fiber sensory receptors recorded from rat muscle-nerve preparation in vitro after eccentric contraction (Abstract). *Jpn J Physiol.* **54** : S174, 2004.
- 16) 富永真琴 : 生体はいかに温度をセンスするか—TRP チャネル温度受容体—. *日本生理学雑誌* **65** : 130–137, 2003.
- 17) Woolf CJ. : Relative effectiveness of C primary afferent fibers of different origins in evoking a prolonged facilitation of the flexor reflex in the rat. *J Neurosci.* **6** : 1433–1442, 1986.

---

## **Involvement of the pronator muscle for "Pulled elbow": anatomical and histological investigation.**

**Yosuke Shiraishi \* \*\*, Masaya Yasui \* \*\*\*, Norimichi Mori \*\*\*\*, Yasuo Sugiura \***

**Key Words:** pulled elbow, childhood, supinator, gross anatomy, histology

### **Abstract**

In young children, "Pulled elbow" or "Nursemaid elbow" is common pediatric injury that occurs when axial traction is applied to an arm while the elbow is extended and the forearm is pronated. In most cases, closed reduction can be performed by supinating the forearm and flexing the elbow. Annular ligament displacement that is also termed radial head subluxation really occurs in adults. Frequently, surgical reduction is required for reduction of the subluxated radial head in childhood. Anatomical details of the mechanism of pulled elbow is remain unknown. Gross observations of elbow joints of three human fetuses (fetal age; 5, 6, 7 month) were anatomically and histologically, and adult cadavers (84, 73, 87 years) were grossly observed anatomically. It is suggested that the pronator muscle is involved in radial head subluxation in young children.

---

\* Department of Functional Anatomy and Neuroscience, Nagoya University Graduate School of Medicine

\*\* Vocational School of Shinjuku Acupuncture, Moxibustion, and Judo-Therapy

\*\*\* Yoneda Clinic

\*\*\*\* Yoneda Hospital

## 肘内障の発生機序に対する解剖学的組織学的検討

白石 洋介\* \*\*, 安井 正佐也\* \*\*\*, 森 範倫\*\*\*\*, 杉浦 康夫\*

(\*名古屋大学大学院医学系研究科機能構築医学専攻機能形態学講座機能組織学分野

\*\*小倉学園 新宿鍼灸柔整専門学校 研究部 \*\*\*米田クリニック

\*\*\*\*医療法人 米田病院)

key words : 肘内障, 幼小児, 回外筋, 解剖学, 組織学

## 要 約

幼小児の肘内障は、両親やベビーシッターなどが子供の手を急に引っ張った時に生じることが多いことから、"Nursemaid's Elbow" または "Pulled Elbow" とも呼ばれている。発生肢位のほとんどが前腕回内、伸展位であることはほぼ一致した見解である。稀に成人でも発生し、幼小児でも徒手整復が困難な例もあり、時に外科的に対処されることもあるが、肘内障発生メカニズムについては未だ解剖学的に明らかでない。ヒト胎児固定遺体3体(胎齢5、6、7ヶ月)の肘関節を解剖学的組織学的に、成人固定遺体3体(73、84、87歳)の肘関節を解剖学的に観察し、幼小児における肘内障の発生メカニズムについて比較検討した。胎児遺体では前腕回内で橈骨を遠位に牽引することで、輪状靭帯外側から前方部の線維があきらかに関節内に引き込まれ、輪状靭帯より遠位の関節包と共に腕橈関節内に嵌入することが観察された。回外ではこの現象は生じなかった。胎児の輪状靭帯は橈骨頭の頸部を覆っておらず、回外筋が厚く輪状靭帯を含み、靭帯より遠位の関節包外側から前方に広範囲に付着していた。成人では、回内で橈骨が遠位方向に若干の動きを生じたが、胎児で観察された関節包の陥入は観察されなかった。成人の輪状靭帯は外側靭帯とともに橈骨頭頸部に達しており、回外筋は一部輪状

靭帯を含むそれより遠位に薄く付着しており、腕橈関節の支持性は輪状靭帯と外側靭帯に依存していた。幼小児の肘内障の発生に対する回外筋の関与が示唆された。

## 1. はじめに

"Nursemaid's Elbow or Pulled Elbow" とも呼ばれている幼小児の肘内障は、日常診療において遭遇する機会が多い。両親やベビーシッターなどが子供の手を急に引っ張った時に生じることが多いことから、肘内障発症時の肢位は前腕回内、伸展位が多い(Salter et al. 1971) ことはほぼ一致した見解である。ほとんどは徒手整復できるが、稀に徒手整復が困難な例もあり、その場合、外科的に対処されることもある(Steven et al. 1992)。これまで肘内障に関する臨床的報告は多く、また病理学的解剖学的検討も成されてきた。稀に、成少年でも小児の肘内障に相当する肘関節脱臼が生じる場合もあり(望月真人 1982; 稲垣泰司 2002)、肘内障の発生メカニズムについては未だに議論の余地が残されている。今回、ヒト胎児固定遺体3体(胎齢5、6、7ヶ月女児)の肘関節を解剖学的組織学的に、成人固定遺体3体(男性84歳、女性73歳、87歳)の肘関節を解剖学的に観察し、肘内障の発生メカニズムについて検討した。結果、胎児遺体では前腕回内で橈骨を遠位に牽引すること

で、腕橈関節内に輪状靭帯外側から前方部がそれより遠位の関節包と共に嵌入することが観察された。回外ではこの現象は生じなかった。胎児の回外筋は、輪状靭帯および靭帯より遠位の関節包外側から前方に、比較的厚い筋として広範囲に付着していた。成人の回外筋は、輪状靭帯の外側に比較的厚く強固に付着するも、前方部では薄く範囲も前外側の一部に限られており、靭帯のより遠位の関節包に、厚さの薄い筋として付着していた。肘内障の発生に対し、輪状靭帯とそれより遠位の関節包に付着する回外筋の関与が示唆された。

## II. 材料と方法

### 肉眼解剖観察

#### a, 胎児

名古屋大学医学部倫理規定に基づき10%フォルマリンで右大腿動脈より灌流固定されたヒト胎児3体(胎齢5ヶ月890g、6ヶ月1190g、7ヶ月1550g、女児)の右上肢3肢を用い、肘関節外側を肉眼解剖観察した。上腕1/2から手関節まで、すべて剥皮し、皮神経および皮下の動静脈を剖出し適宜切断した。腕橈骨筋、肘筋、長短橈側手根伸筋、総指伸筋、尺側手根伸筋を剖出し、それらを筋腹中程で切断して遠位・近位に展開し、回外筋を剖出した。回外筋は後骨間神経が回外筋に侵入する深さで、同神経の走行にそって筋を切開、これを表層線維とし、それより深層の筋を残して深層線維とし、表層線維を腹側背側に展開した。上腕筋、上腕二頭筋を遠位1/3の

ところで切断し、上腕三頭筋と肘筋は関節包外側に停止を持つ部分のみ関節包から剥離し、肘関節の生理的可動域を確保した。他の前腕の筋はすべて、各々筋間で鈍的に裂き線維性の結合を除いた。

回外筋深層線維の表面より腕橈関節裂隙を確認し、目視下で操作1として、肘関節屈曲30度、90度で、100度前腕回内位と回外位、両方の肢位で各々橈骨を遠位へ徒手的に牽引した。次に操作2として、肘関節屈曲30度で回内と回外位各々で内反を加え、腕橈関節裂隙の開大の有無を観察した。その後、関節包はそのままで回外筋深層線維をすべて剥ぎ取った後、操作1、2、と同様の観察を行った。肘関節屈曲0度では、徒手的操作を加えることで胎児の骨が強く湾曲したため、この角度での操作は行わなかった。

#### b, 成人

名古屋大学医学部倫理規定に基づき、同学部による第24回人体解剖トレーニングセミナーで使用された固定遺体3体(表1)の左上肢全体を剥皮した後、前腕の筋を剖出し、回内と回外に抵抗がなくなるまで各々の筋間の線維性結合を除いた。上腕二頭筋、上腕筋は、筋間の線維性結合を除くのみとし、上腕三頭筋は筋腹1/2で切断し、肘関節伸展0度から90度まで抵抗なく可動できるようにした。2肘関節の回外筋は表面を剖出するのみとし、筋の付着(起始・停止)はそのままにした。その後、回内位と回外位各々で橈骨を

Table 1

胎児固定遺体			成人固定遺体		
胎齢(月)	性別	頭殿長	年齢(歳)	性別	死因
5	男	250 cm	87	女	嚥下性肺炎
6	女	250 cm	73	女	出血性ショック
7	女	255 cm	84	男	肝癌

4 原著

遠位方向に徒手的に牽引を加え、腕橈関節裂隙の開大を観察した。1肘関節で、回外筋を全て除去し、輪状靭帯、外側側副靭帯および関節包を剖出し、靭帯の走行を観察した。

解剖所見や操作の過程を肘関節前外側方向からデジタル写真撮影 (Sony Cyber-shot 5.0 DSC-F717)、およびデジタルビデオ撮影 (Sony DCR-TRV27) し、記録した。

組織学的観察

肉眼解剖観察を行った後、胎児3肢 (3関節) の関節包を、上腕骨は遠位1/3で、橈骨は関節包の骨への停止縁の少し遠位で、尺骨は輪状靭帯付着部で切断し、輪状靭帯と外側靭帯を含め関節包を一塊にして採取した後、回外筋が付着していた部分から輪状靭帯の外側から前方を含み、靭帯より遠位の関節包の

範囲を観察に用いた。10%中性緩衝ホルマリン水溶液で再度浸漬固定した後、関節包全体を平らに伸展して凍結包埋した。関節包の面に水平の方向で薄切 (30 μm厚) し、弾性線維染色 (前田明, 1985) した。関節包および輪状靭帯における弾性線維と膠原線維を観察し、デジタルカメラ付き光学顕微鏡 (Olympus BX50) で記録した。

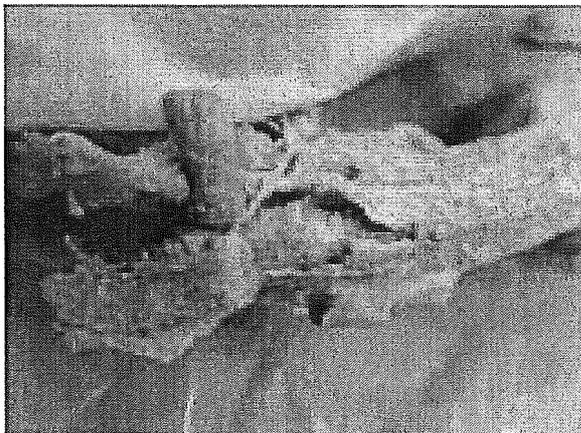
III. 結果

肉眼解剖観察

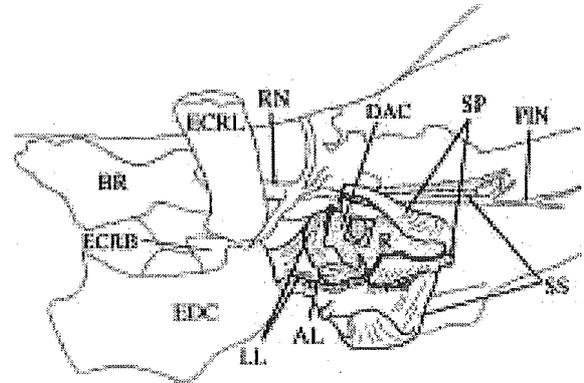
a, 胎児

3肢、全てにおいて輪状靭帯が走行する肘関節包外側から前方部 (上腕骨橈骨関節部) にかけて広範囲に回外筋の停止が観察された (Fig. 1)。回外筋の関節包への停止は強靭で、鈍的に剥がすことが困難であった。

肘関節屈曲30度、前腕回内の肢位で橈骨を遠



a



b

Fig. 1a, b

a, 解剖された右肘関節の外側を7ヶ月胎児固定遺体で示している。bの図は写真aに対応している。腕橈骨筋 (BR) 長橈側手根伸筋 (ECRL) 短橈側手根伸筋 (ECRB) 総指伸筋 (EDC) は筋腹で切断し、近位に展開してある。回外筋浅層 (SS) を後骨間神経 (PIN) の深さで、神経の走行にそって切断し腹側と背側に展開してある。回外筋深層 (SP) は輪状靭帯前縁に沿って横切開し、外側で橈骨長軸に沿って縦切開し、関節包と橈骨骨膜から鈍的に剥離してある。回外筋が輪状靭帯、外側靭帯、輪状靭帯より遠位の関節包および橈骨の骨膜に付着していた部分を小さな点で示している。組織観察に用いた範囲を四角で囲ってある。

DAC: 輪状靭帯より遠位の関節包、AL: 輪状靭帯、LL: 外側靭帯、RN: 橈骨神経、R: 橈骨

位へ牽引することで腕橈関節の開大が観察され (Fig. 2)、さらに数回、同様の肢位で牽引することで、輪状靭帯の遠位の関節包が輪状靭帯の外前方部の線維とともに関節内に引き込まれ輪状靭帯の関節内嵌入が生じた (Fig. 3)。前腕回外位ではこの現象は示されなかった (Fig. 4)。肘関節屈曲30度および回外肢位での外反では、腕橈関節はほとんど開大しなかった (Fig. 5)。90度、100度の肘関節屈曲位での橈骨の遠位方向牽引では、腕橈関節裂隙の開大はほとんど認められなかった。

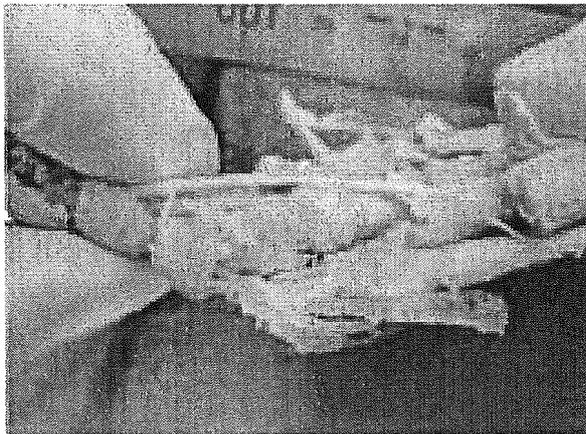
b, 成人

3肢全て、回外筋は輪状靭帯の後方 (背側)、外側、前 (腹側) 外側部、および輪状靭帯から遠位の関節包に比較的弱い付着がみられた (Fig. 6)。肘関節屈曲30度、前腕回内位でのみ腕橈関節のわずかな開大が観察され、90度、100度ではほとんど開大しなかった。肘関節外側靭帯の前方と後方の線維は輪状靭帯

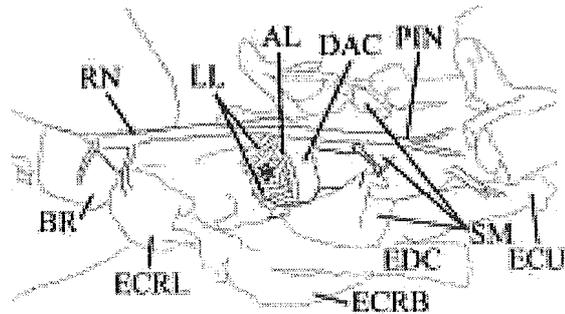
の表層を被うように走行し、外側靭帯と輪状靭帯の線維性結合は鈍的にわけることができなかった (Fig. 7)。

組織学的観察

胎児3関節において、輪状靭帯より遠位の関節包における弾性線維は胎齢が進むにつれて太くなり、線維の数も増した (Fig., 8a, b, c)。弾性線維の走行は、輪状靭帯の走行にほぼ直角に向かい一定しており、走行方向においては胎齢による違いもほとんどなかった (Fig. 8a, b, c)。5ヶ月胎児で膠原線維線維の走行に方向性が乏しく、波状の線維のうねりは至る所で観察された。しかし、一定の方向性はなかった (Fig. 8a)。6ヶ月胎児では膠原線維の走行に方向性が認められ、波状の線維のうねりも大きく線維間も密だった (Fig. 8b)。7ヶ月胎児では、同視野内での膠原線維のうねりが認められず、弾性線維が密に観察され



a

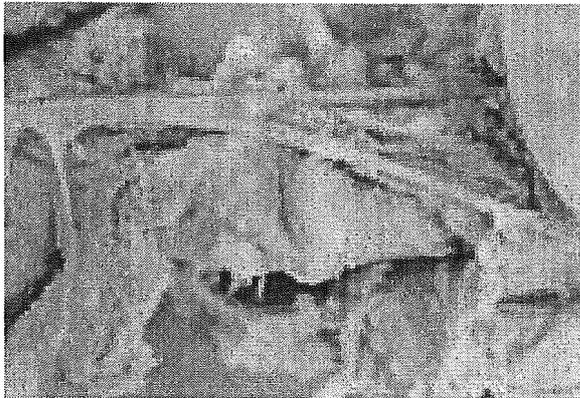


b

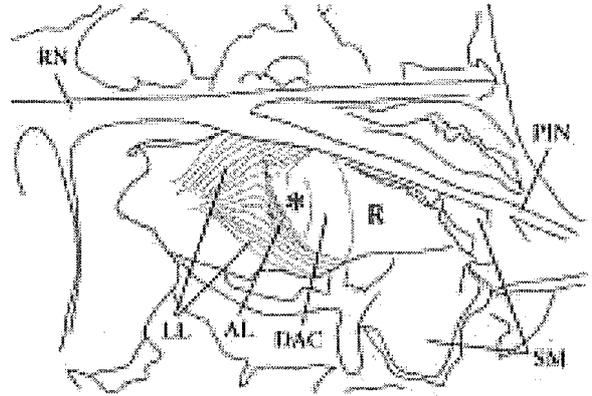
Fig. 2a, b

a, Fig. 1と同じ手順で解剖された右肘関節の外側を6ヶ月胎児固定遺体で示している。bの図は写真aに対応している。前腕回内位で橈骨を遠位方向に徒手的に牽引している。腕橈関節裂隙部に陥没が形成されている(\*)。

BR: 腕橈骨筋、ECRL: 長橈側手根伸筋、ECRB: 短橈側手根伸筋、EDC: 総指伸筋、ECU: 尺側手根伸筋、SM: 回外筋、PIN: 後骨間神経、DAC: 輪状靭帯より遠位の関節包、AL: 輪状靭帯、LL: 外側靭帯、RN: 橈骨神経、R: 橈骨



a

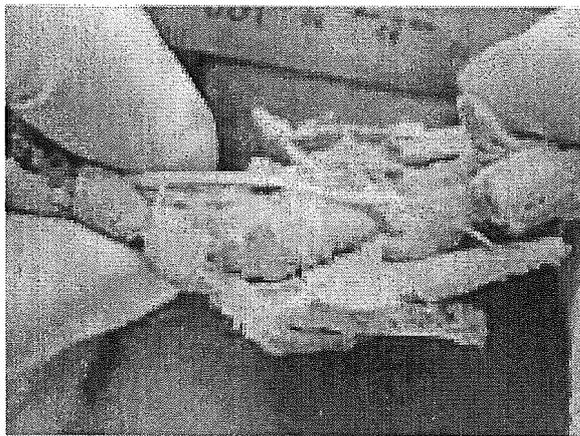


b

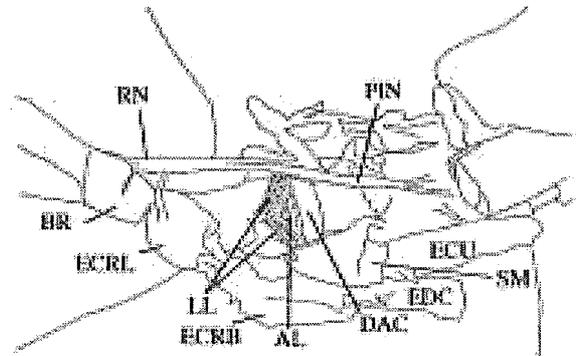
Fig. 3a, b

a, Fig. 1 と同じ手順で解剖された右肘関節の外側を6ヶ月胎児固定遺体で示している。bの図は写真aに対応している。前腕回内位で橈骨を遠位方向に徒手的に牽引している。腕橈関節部に輪状靭帯の嵌入が観察される(\*)。

SM: 回外筋、PIN: 後骨間神経、DAC: 輪状靭帯より遠位の関節包、AL: 輪状靭帯、LL: 外側靭帯、RN: 橈骨神経、R: 橈骨



a

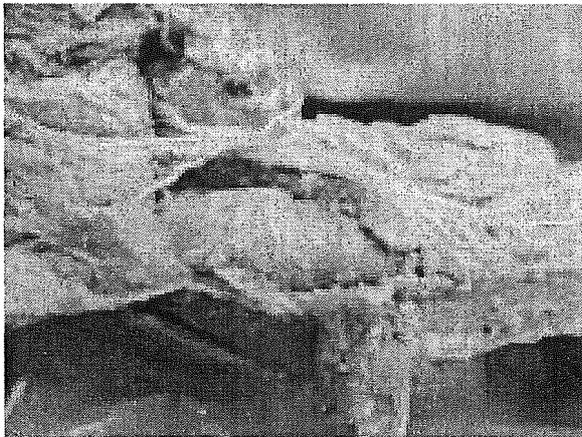


b

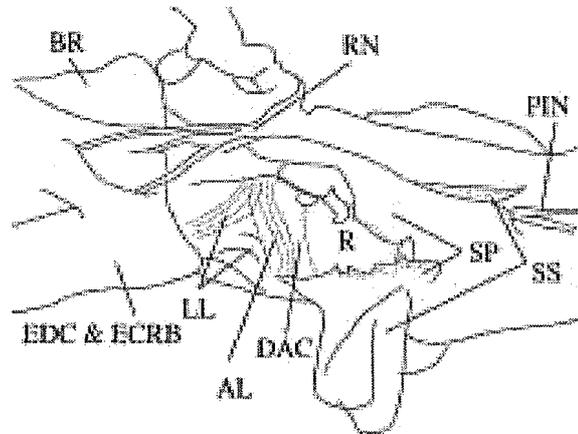
Fig. 4a, b

a, Fig. 1 と同じ手順で解剖された右肘関節の外側を6ヶ月胎児固定遺体で示している。bの図は写真aに対応している。前腕回外位で橈骨を遠位方向に徒手的に牽引している。腕橈関節部に輪状靭帯の嵌入も陥没も生じていない。

BR: 腕橈骨筋、ECRL: 長橈側手根伸筋、ECRB: 短橈側手根伸筋、EDC: 総指伸筋、ECU: 尺側手根伸筋、SM: 回外筋、PIN: 後骨間神経、DAC: 輪状靭帯より遠位の関節包、AL: 輪状靭帯、LL: 外側靭帯、RN: 橈骨神経



a

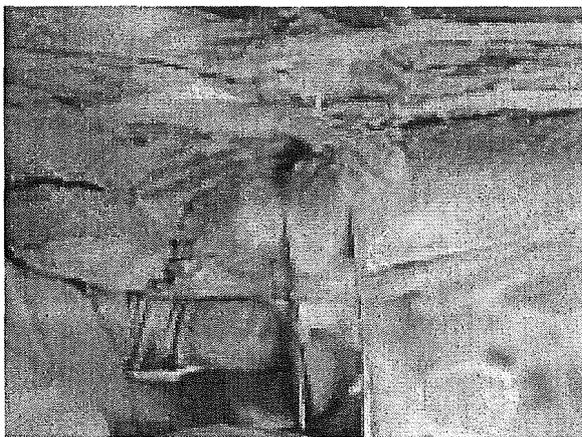


b

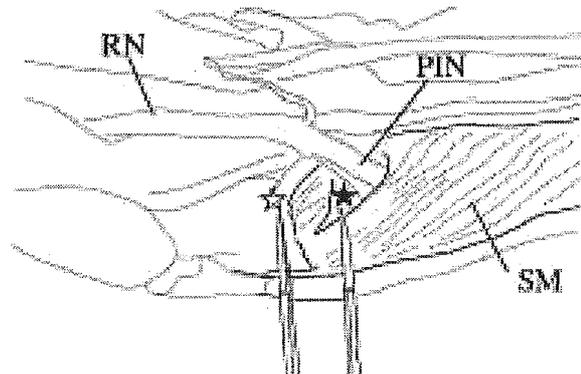
Fig. 5a, b

a, Fig. 1 と同じ手順で解剖された右肘関節の外側を7ヶ月胎児固定遺体で示している。b の図は写真 a に対応している。前腕回外で内反している。腕橈関節裂隙部に陥凹も嵌入もみられない。

SS: 回外筋浅層線維、SP: 回外筋深層線維、PIN: 後骨間神経、DAC: 輪状靭帯より遠位の関節包、AL: 輪状靭帯、LL: 外側靭帯、RN: 橈骨神経、R: 橈骨



a

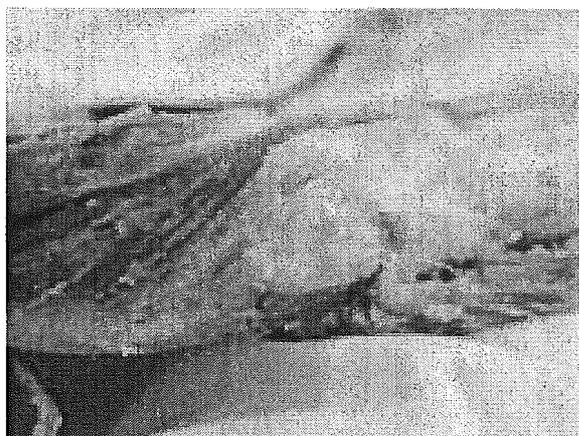


b

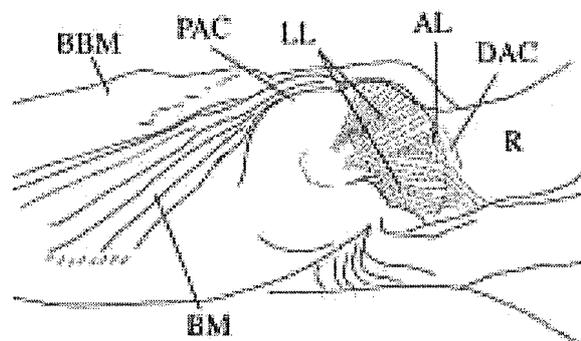
Fig. 6a, b

a, 成人固定遺体の右肘関節で回外筋より浅層の前腕伸筋をすべて取り除いてある。b 図は写真 a に対応している。鑷子の二つの先端は橈骨頭のあるところを示している。☆は腕橈関節裂隙を、★は橈骨頭頸部の位置を示している。

SM: 回外筋、PIN: 後骨間神経、RN: 橈骨神経



a



b

Fig. 7a, b

a, 成人固定遺体の右肘関節で回外筋は取り除かれている。b 図は写真 a に対応している。外側靭帯と輪状靭帯が橈骨頭を含み、頸部に線維をもつことが示されている。

BM: 上腕筋、BBM: 上腕二頭筋、DAC: 輪状靭帯より遠位の関節包、PAC: 輪状靭帯より近位の関節包 AL: 輪状靭帯、LL: 外側靭帯、R: 橈骨、

た (Fig. 8c)。

胎児の輪状靭帯の弾性線維において、胎齢による明らか違いはなかった。

#### IV. 考 察

肘内障は歩行開始から5歳くらい間に生じやすく、1～3歳に多発し (Cynthia 1975)、一つの医療機関で平均2例/週が訪れるといわれている (Snellman 1959; Griffin 1955)。女児より男児が多いという報告もある (Broadhurst et al. 1959; Corrigan 1965; Magill et al. 1954.)。肘内障の発生メカニズムを形態学的な知見から論じる報告は多く、Kosuwon et al. (1993) は、画像装置 (Bモード超音波) を用いて腕橈関節間隙 (radiocapitellar distance RCD) を計測し、肘内障例では肘内障の経験のない例と比較して、約2倍の数値が得られたと報告しており、Salter et al. (1971) は、橈骨頭とその頸部の直径を計測し、橈骨頸部の形状は、直径で1mmほどの違いのある楕円であることも記し、徒手整復不可能な例では輪

状靭帯が橈骨頭の最大横径を越える場合であることを示唆している。肘内障は徒手整復されやすいといわれているが (Taha 2000)、これまで5歳男児で徒手整復不能により外科手術に至った例も報告されている (Triantafyllou et al. 1992)。その報告では、負傷後すぐに保存的整復 (前腕回内位で肘関節屈曲) が試みられたが整復音や整復感がなく、その後、何度も整復を試みるも ROM (関節可動域) の改善は見られなかったと記載され、患部安静の目的で肘関節の固定が行われたが ROM は回復せず、負傷から6ヶ月後に外科的整復が行われた。術中所見では、輪状靭帯の前方部分と一部滑膜が腕橈関節内に嵌入しており、それらを切除することで ROM が回復したと記載されている。Salter et al. 1971 は、12幼小児遺体 (2～9歳) の肘関節部を用いて、肘内障の発生メカニズムを解剖学的に検討し、2歳の遺体の肘で輪状靭帯および関節包を剖出して橈骨を遠位方向に牽引すると、前腕回内位でのみ輪状靭帯の遠位関節包で断裂が生じ、

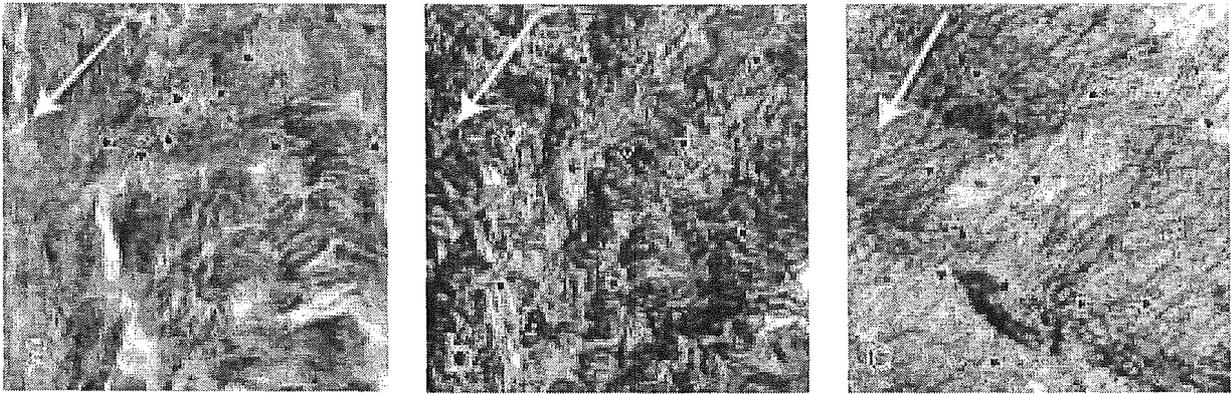


Fig. 8a, b, c

胎児固定遺体 (a, 胎齢5ヶ月、b, 6ヶ月、c, 7ヶ月) の肘関節外側の関節包を、Fig. 1で示した四角で囲った範囲内で観察している。矢印は、関節包内の弾性線維が走行する方向を示す。矢印が示す先に輪状靭帯があり、弾性線維の方向にほぼ直角に走行している。▼マークが、黒い線維として染められた弾性線維のいくつかを示している。膠原線維は薄黒く束になったうねりとして示されている。

輪状靭帯が腕橈関節間に嵌入することを報告している。

今回の胎児固定遺体による観察でも、肘関節伸展位および回内位で、橈骨を遠位方向に徒手的に牽引した時のみ腕橈関節の裂隙に輪状靭帯が嵌入することが示され (Fig. 3a, b)、このことは、これまでの報告 (Steven et al. 1992; McRae et al. 1965) と一致した。しかし、これまでの報告は幼小児に特有に発生する理由の根拠にはなっても、特定の幼小児にしか発症していないことに十分な説明を与えていない。胎児固定遺体の輪状靭帯は、靭帯の前縁がほとんど橈骨頭までであり、靭帯の主要な線維は腕橈関節裂隙にあり、橈骨頭頸部を被ってはいなかった (Fig. 1)。対して、成人固定遺体の輪状靭帯は、橈骨頭を包むように形成され、輪状靭帯前縁の線維は頸部まで深く達しており (Fig. 7)、徒手的に橈骨を遠位方向に牽引しても腕橈関節に陥没は生ぜず、橈骨頭が逸脱しないための強固な線維構造を有し、胎児の輪状靭帯とはあきらかに異

なっていた。

組織学的観察で、輪状靭帯より遠位にある関節包には弾性線維が豊富で、線維は胎齢が進むにつれて太くなり、またその数も増えることが観察された。弾性線維走行は胎齢を問わず、輪状靭帯にほぼ直行 (橈骨長軸方向) していたことから (Fig. 8a, b, c)、輪状靭帯より遠位にある関節包は、胎児期すでに前腕長軸方向のストレスに柔軟に対応しうることが推察された。幼小児の肘内障のほとんどは発症時に患部の腫張は無く、新鮮例ですぐに徒手整復されたものは、整復後ただちに疼痛が消失し機能障害もなくなる。我々は、Cynthia (1975) が述べたように、幼小児の肘内障においては関節包の断裂は生じないと考えている。

胎児固定遺体の回外筋は厚く、また輪状靭帯をほとんど被うようにして輪状靭帯の前縁より遠位の関節包全体に強固に付着しており (Fig. 1)、成人固定遺体における輪状靭帯の前縁および輪状靭帯より遠位に薄い筋として付着する (Fig. 6) のとは異なっていた。

胎児固定遺体の回外筋の表層線維（後骨間神経の走行より表層）を剥離しただけでは、前腕回内位で橈骨を長軸方向に徒手的に牽引しても、輪状靭帯が腕橈関節間に嵌入することは観察できなかった。回外筋深層線維を愛護的に剥ぎ取り輪状靭帯と靭帯を含み外側関節包を露出した後、前腕回内位で橈骨長軸遠位方向に手を徒手的に牽引することで腕橈関節裂隙の輪状靭帯遠位縁が関節包前方部に嵌入することが示され (Fig. 2a, b)、更に数回、同様の牽引を加えることで輪状靭帯の前方部分が腕橈関節裂隙に嵌入し (Fig. 3a, b)、Salter et al. (1971) や、Steven J et al. 1991らが手術中に見た所見と同じ状態が生じた。しかし、Salter et al. (1971) らが報告するような関節包の断裂は生じなかった。回外筋の関節包への停止は強靭で、鈍的に剥がすことが困難であった。幼小児における肘内障の発生機転が肘伸展位、前腕回内位で急激な手の牽引によるものであることに異論はない (Salter et al. 1971; Steven et al. 1992)。我々は、幼小児の肘

内障の発症に、未発達靭帯構造や関節の弛緩性に加え、回外筋の付着様式が深く関わっていると考えている。胎児固定遺体では回外筋が輪状靭帯とそれより遠位の関節包を被うように付着していたことは、肘関節伸展位、前腕回内位（回外筋が伸張）で手を遠位に急激に引っぱれた時、回外筋の緊張が得られない場合、輪状靭帯が腕橈関節内へ嵌入すると推察している (Fig. 9)。成人固定遺体における回外筋は、輪状靭帯への付着や、靭帯より遠位の関節包に付着できる範囲が靭帯構造上狭かったことから、稀に生じる成少年の肘内障は、回外筋より関節の形態や靭帯構造に依存することが考えられた。

新鮮例に対する徒手整復では、肘伸展位で橈骨を牽引し、前腕回内位をとった後、肘関節を屈曲する方が回外で肘関節屈曲するより整復されやすいことが知られている (Robert et al. 2001)。この操作は、結果として、回外筋に伸長を与えているのであり、これにより腕橈関節内に嵌入した輪状靭帯を引き出すこと

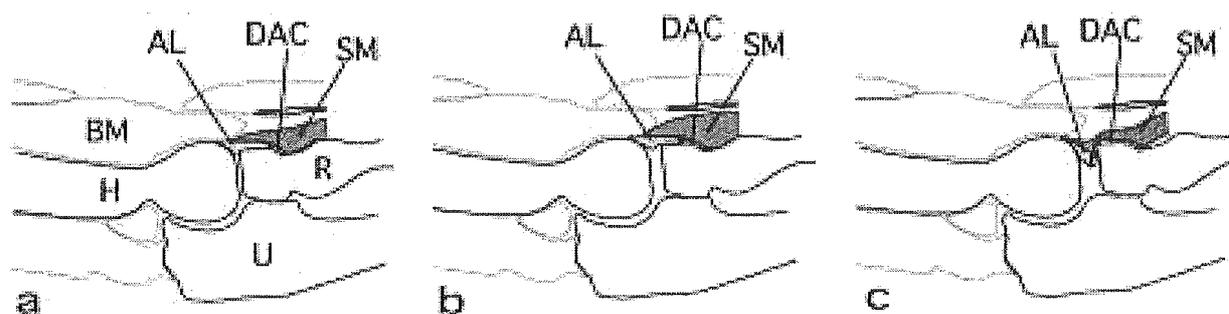


Fig. 9a, b, c

回外筋が肘内障発生に関与する可能性を、右肘を外側から見た模式図にしている。a, 図は橈骨に遠位方向の牽引が加わっておらず、回外筋も生理的筋緊張の状態を想定している。b, 図は前腕回内で牽引が加わっているが、回外筋が収縮しており、輪状靭帯に付着する筋の作用で腕橈関節に陥凹も出現せず、輪状靭帯が関節内に嵌入しないことを想定している。c. 図は前腕回内で橈骨に遠位方向の牽引が加わった状態で、回外筋の緊張がないことから、輪状靭帯が腕橈関節内に嵌入していることを示している。

AL: 輪状靭帯、SM: 回外筋、DAC: 輪状靭帯より遠位の関節包、R: 橈骨、U: 尺骨、H: 上腕骨、BM: 上腕筋

に作用しているのかもしれない。不用意に幼小児の手を引かないようにすることが肘内障の発生予防になることはもちろんであるが、手を持つ際、鉄棒で言う逆手持ち、つまり前腕回外位に留意することが効果的かもしれない。本研究により、幼小児における肘内障の発生と整復に回外筋が関与していることが示唆された。

## V. 結語

肘内障の発生メカニズムを解剖学的に明らかにするために、胎児固定遺体と成人固定遺体の肘関節を解剖学的組織学的に観察した。輪状靭帯は、成人では外側側副靭帯とともに橈骨頭頸部に達していたが、胎児では橈骨頭のみを覆っていた。

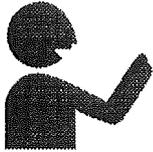
回外筋は胎児と成人の固定遺体、共に輪状靭帯および靭帯より遠位の弾性線維を多く含む関節包に付着していた。

肘内障の発生に回外筋が関与していることが示唆された。

(受理日16年11月30日)

## VI. 引用文献

- Broadhurst RW, and Buhr AJ: The pulled elbow, Brit. Med. J. 1:1018, 1959.
- Corrigan AB: The pulled elbow; Med. J. Australia 2:187, 1965.
- Cynthia MI, Pulled Elbow; A Study of 100 Patients, Br. Med. J., 21, 672-674, 1975
- Griffin, ME: Subluxation of the head of the radius in young children, Pediatrics 15:103, 1955.
- 稲垣泰司: 成人肘内障の小経験, 日本肘関節研究会雑誌 Vol. 9, No. 1, 67-68, 2002
- Kosuwon W, Merriam WF et al.: Ultrasonography of pulled elbow. J Bone Joint Surg Br. 75: 3 421-422, 1993.
- 前田明: ワイゲルト弾性線維染色の変法, 病理技術, 31, 24-26, 1985
- Magill HK, and Aitken AP.: Pulled elbow, Surg. Gynec. Obstet. 98:753-756, 1954.
- McRae R and Freeman PF.: The lesion in pulled elbow, J Bone Joint Surg., 47B 808, 1965
- 望月真人: 15歳男子にみられた肘内障の1例, 千葉医学雑誌 Vol. 58, No. 6, 393, 1982
- Robert EK, and Kethleen AL.: Recurrent Nursemaid's Elbow (Annular Ligament Displacement) treatment via telephone. Pediatrics, 110, 171-174, 2001
- Salter, RB. and Zaltz, C.: Anatomic investigation of the mechanism of injury and pathological anatomy of pulled elbow in young children, Clin. Orthop. 77, 134-143, 1971
- Snellman, O.: Subluxation of the radial head in children, Acta Orthop. Scand. 28: 311, 1959.
- Steven JT, Scott CW, John SR.: Irreducible "Pulled Elbow" in a Child. A Case report., Clin. Orthop. 284, 1992
- Taha AM: The treatment of pulled elbow: a prospective randomized study. Arch Orthop Trauma Surg. 120: 5-6, 337-337, 2000.
- Triantafyllou SJ, Wilson SC et al.: Irreducible "pulled elbow" in a child. A case report. Clin Orthop 284, 153-155, 1992.



## 話 題

# スポーツ傷害に対する 個別的筋伸張法\*

鈴木重行\*\* 肥田朋子\*\*  
浅井友詞\*\*\* 瀬戸口芳正\*\*\*\*

**Key Words :** sports injury, individual muscle stretching, pain, DNIC approach, conservative therapy

### はじめに

スポーツ傷害は骨折、脱臼、捻挫、打撲・挫傷、創傷などが代表的であるが、部位によっては靭帯損傷、腱断裂などが多く発生する。スポーツ傷害には画像で確認できる器質的变化と筋への過負荷などによる機能的变化、さらには器質的变化と機能的变化とが併発している場合が考えられる(図1)。器質的变化には手術療法あるいは軽度であれば保存的療法が選択される。一方、軟部組織の機能的变化に対しては保存療法により経過が観察されるのが一般的である。

スポーツ傷害はスポーツを行っている際になんらかの外力を受けることがきっかけで生じる。外力の程度によっては、それだけで痛みを生じるが、傷害部の組織が損傷されることでも痛みが生じる。そのため、治療や運動指導の段階では病態の理解や各スポーツ種目に特徴的なバイオメカニクスとともに、疼痛や筋緊張異常に対する知識が必要となる。とくに、軟部組織の機能的变化では疼痛と筋緊張亢進に対する治療が大きな課題となる。本稿ではスポーツ傷害の中で、軟部組織の機能的变化が単独あるいは器質的变化に重複して発生している場合のアプローチについて著者が施行している内容を症例紹介とともに概説することとする。

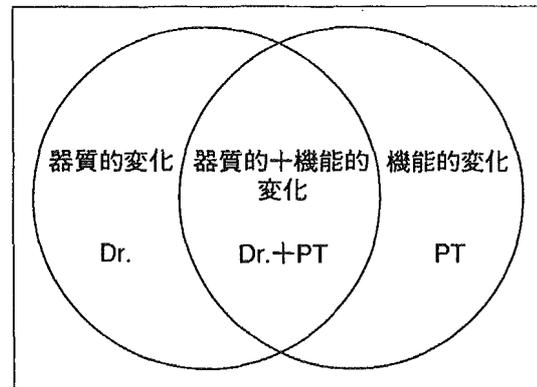


図1 器質的变化と機能的变化  
スポーツ傷害における疼痛と筋緊張亢進は、器質的变化と機能的变化から発生すると考えられるので、その原因を追及するとともに、医師と理学療法士がそれぞれの役割を担うことが重要である。

### 痛みの種類と受容器

傷害と同時に感じる鋭い痛みは一次痛と呼ばれ、主に有髄の痛覚神経であるA $\delta$ 線維が興奮して起こる。A $\delta$ 線維の伝導速度は12~30m/sである。一方、傷害からわずかに遅れてジーンとした鈍い痛みを生じるが、これは二次痛と呼ばれる。二次痛は主に無髄の痛覚神経であるC線維の興奮で生じる。C線維の伝導速度は0.5~2m/sであり、有髄線維より遅いため痛みを感じるまでに時間差が生じることになる(表1)。

痛みが生じる刺激には、外力のような機械的

\* Individual muscle stretching for sports injury.

\*\* Shigeyuki SUZUKI, RPT, Ph.D. & Tomoko KOEDA, RPT, Ph.D.: 名古屋大学医学部保健学科[〒461-8673 名古屋市東区大幸南1-1-20]; Department of Physical Therapy, Nagoya University School of Health Sciences, Nagoya 461-8673, JAPAN

\*\*\* Yuji ASAI, RPT: ユマニテク医療専門学校

\*\*\*\* Yoshimasa SETOGUCHI, M.D.: みどりクリニック

表 1 一次痛と二次痛の特徴

一 次 痛	二 次 痛
<ul style="list-style-type: none"> <li>・筋断裂、捻挫などの外傷、熱傷などにより瞬間的に感じる痛み</li> <li>・疼痛部位が判別しやすい</li> <li>・痛みの程度はほかの刺激に影響されない</li> <li>・Aδ求心性線維により中枢に伝達される</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・慢性痛や一次痛に続く痛み</li> <li>・慢性化するほど疼痛部位の判別が困難</li> <li>・軽いマッサージ、温熱などにより痛みが軽減する</li> <li>・ストレスにより痛みが悪化する</li> <li>・主にC求心性線維により中枢に伝達される</li> </ul>

(文献<sup>27)</sup>より引用)

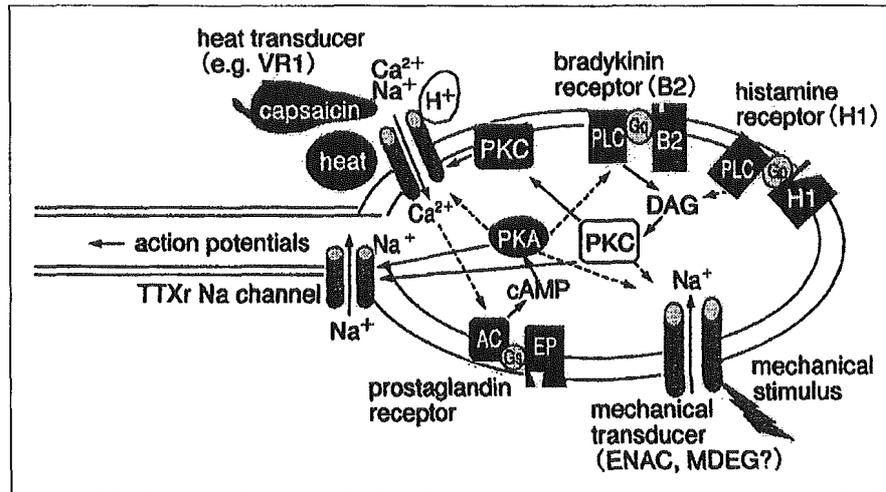


図 2 痛み受容器終末の模式図

痛み受容器は自由神経終末と呼ばれるが、その終末部には熱・機械・発痛および感作物質の受容体が存在していると考えられている。受容体の活性化によりジアシルグリセロール(DAG)やサイクリックAMP(cAMP)がプロテインキナーゼC(PKC)やプロテインキナーゼA(PKA)を活性化させ、最終的に活動電位が生じる。(文献<sup>6)</sup>より引用)

な刺激だけではなく、熱、冷および発痛物質も含まれる。多くの感覚受容器は通常1種類の刺激にのみ反応するが、これら3種類の刺激に反応するものはポリモーダル受容器と呼ばれている。この受容器は皮膚だけでなく筋膜、靭帯、腱、関節包、内臓、血管など広く全身に分布し、痛みの伝達に重要な役割を担っている。ポリモーダル受容器の特筆すべき特徴は、侵害的な刺激を同じ強度で同じ部位(受容野)に繰り返すと、①閾値の低下、②刺激に対する反応性の増大、③受容野の拡大、④自発放電の増大などの現象を示す。このことを感作(sensitization)<sup>1)~5)</sup>といい、脊髄後角では広作動域ニューロンが関与している。また、外傷時やさまざまな病的状態では痛み刺激によって生じる痛みは増強され、通常は痛みを生じないような刺激に対しても痛みが発生するが、これにはポリモーダル受容器が

大きく関与している。

ポリモーダル受容器終末<sup>6)</sup>には、機械や熱刺激に対する受容体や発痛物質の受容体が存在していると想像されている(図2)。とくに最近、熱刺激に反応するカプサイシン(TRPV1)受容体がクローニングされ<sup>7)</sup>、痛み神経が興奮する機構や痛覚過敏を生じる機構の解明に大きな進歩がみられている。

### 炎症メディエーターと ポリモーダル受容器

傷害によって組織が損傷されると生体防御反応として炎症・免疫反応が生じてくる。図3は組織が損傷された際の炎症反応を中心に模式化<sup>8)</sup>したものである。

損傷された細胞からは、カリウムイオン、ATPが細胞外に流出し、直接痛み受容器を興奮させる



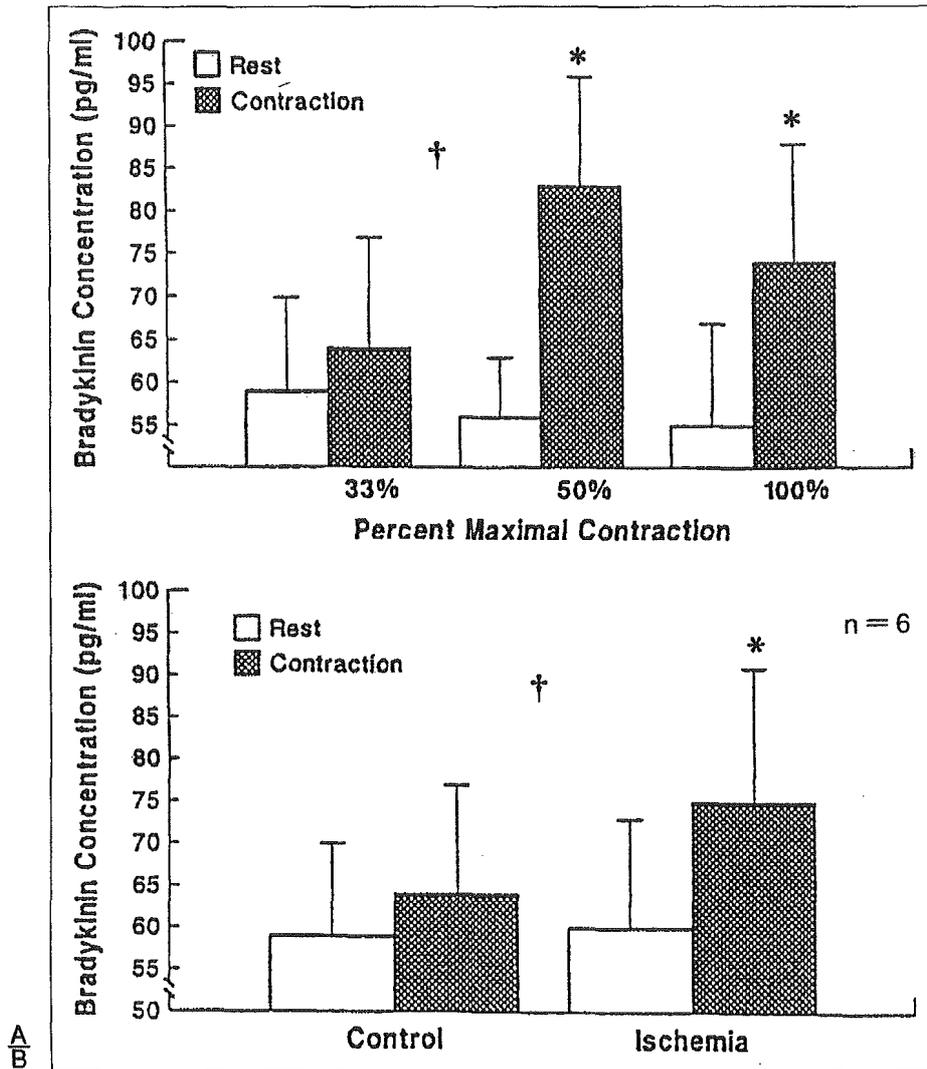


図4 疼痛と筋緊張および循環障害との関係

A: 最大筋収縮の50%, 100%が生じるように持続的に電気刺激すると, 血中のBK濃度が有意に上昇する。\* $p < 0.05$ , rest vs. contraction, † $p < 0.05$ , change at 33% of maximum vs. change at 50% of maximum.  
 B: 最大筋収縮の33%をコントロールとし, 虚血状態にするとBK濃度が有意に上昇する。\* $p < 0.05$ , rest vs. contraction, † $p < 0.05$ , control vs. ischemia.  
 (文献<sup>10</sup>より引用)

の遊離, マクロファージの食作用亢進, 好中球の走化性促進, Tリンパ球の増殖, 内臓平滑筋の活動調節のような免疫性作用をもつ。したがって, 炎症によって産生された内因性の発痛および発痛関連物質によって刺激されたポリモーダル受容器は, さらに自ら放出する神経ペプチドの作用で神経性に炎症・免疫反応を増大させる。

### 筋緊張と痛み

筋への過負荷による筋緊張亢進は毛細血管を圧迫し, 酸素の供給不足をひき起こす。筋緊張

亢進と酸素不足は, 末梢部位に発痛物質であるBK<sup>10</sup>や痛覚増強物質であるPGの産生を促し, ポリモーダル受容器を興奮させる(図4)。さらに, 交感神経系にも影響を及ぼし, 血管をさらに収縮させ, 酸素供給を低下させ同様に痛みを助長する。この状態を放置すると, ポリモーダル受容器からの痛み信号はますます増強され, 脊髄内で介在ニューロンを介して運動神経系および交感神経系の興奮を助長する<sup>11)~14)</sup>。結果的には, 筋緊張や血管収縮が増強あるいは促進され, いわゆる痛みの悪循環をひき起こす(図5)。

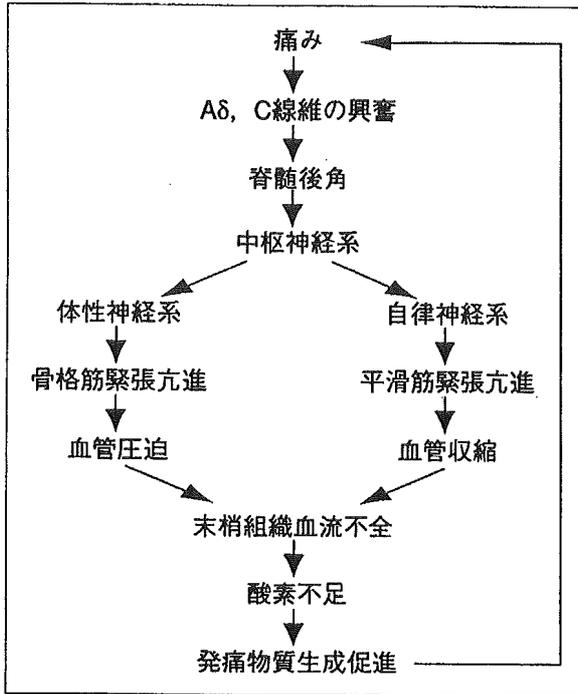


図5 痛みの悪循環

痛みはAδ, C線維により中枢神経系に伝播され、体性神経系および自律神経系に影響を及ぼして筋緊張亢進や血管収縮をひき起こし、末梢組織に発痛物質の生成を促進するので、さらに痛みの増強をひき起こす。(文献<sup>27)</sup>を改変)

さらに、筋緊張亢進や軟部組織に疼痛が存在した状態でスポーツを行うと、痛みの程度が悪化するばかりでなく、ポリモーダル受容器の感作をひき起こし、それまで痛みを感じていなかった範囲内の動きでも痛みが出現し、結果的にパフォーマンスを低下させることになる。したがって、軟部組織由来の疼痛では、まず痛みと筋緊張を軽減することが重要<sup>15)~17)</sup>であり、このことがスポーツ傷害を未然に防止することになる。

### 鎮痛の機序

#### 1. 下行性疼痛抑制系

脳幹から脊髄(あるいは延髄)後角における痛覚伝達に抑制的作用を及ぼす神経系を下行性疼痛抑制系<sup>17)</sup>(図6)という。

下行性疼痛抑制系はノルアドレナリン(NA)神経系とセロトニン(5-HT)神経系が代表的である。また、第3脳室と第4脳室を結ぶ脳脊髄液の通路である中脳水道を取り囲む神経細胞の集まりである中脳水道灰白質(PAG)が下行性疼痛抑制系の起始部として関与している。PAGが終始する傍巨大

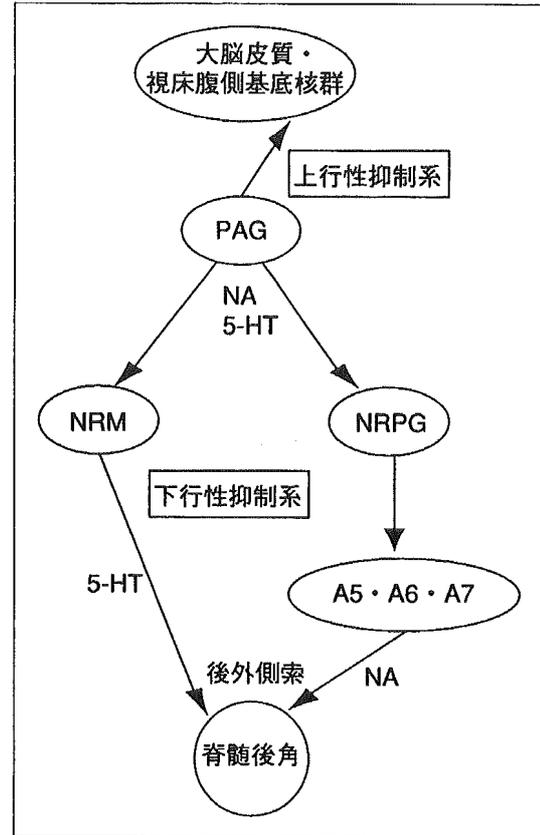


図6 下行性疼痛抑制系

5-HT:セロトニン, NA:ノルアドレナリン, PAG:中脳水道灰白質, NRPG:傍巨大細胞網様核, NRM:大縫線核 (文献<sup>17)</sup>を改変)

細胞網様核が関与するNA神経系は橋と青班核に存在するNA細胞群から、5-HT神経系はPAGから直接連絡をもつ大縫線核からそれぞれ脊髄後角に投射し、脊髄後角での痛覚伝達抑制に関与している。さらに傍巨大細胞網様核は痛み刺激に応じてエンケファリンを遊離し、下行性疼痛抑制系における重要な役割を果たしている。

したがって、この系が作用すると脊髄後角でサブスタンスP, グルタミン酸, ソマトスタチンなどの神経伝達物質遊離を抑制することにより、末梢からの侵害刺激に対する脊髄後角ニューロンの反応が抑制され、痛みを伝えるインパルスの上行を阻むことになる。

#### 2. 広汎性侵害抑制調節(diffuse noxious inhibitory controls ; DNIC)

1979年Le Barsら<sup>18)</sup>は麻酔したラットの脊髄後角や三叉神経脊髄路核から広作動域ニューロンを記録し、その受容野にC線維が興奮する強い電気刺激を加えて誘発されるニューロンの発射