

## 原 著

膝蓋腱中央1/3切除後の神経終末及び  
力学的機能に関する実験的研究

目 昭仁

山口大学医学部高次統御系・整形外科科学講座 宇部市南小串1丁目1-1 (〒755-8505)

Key words : 膝蓋腱, 免疫組織化学, 引っ張り強度, 関節協調運動, 代償機能

## はじめに

膝関節の前十字靭帯（以下ACLと略す）損傷に対しては、観血的治療として、自家組織を用いた再建術を施行することが多い。その再建術に使用される自家組織としては、膝蓋靭帯・腸脛靭帯・半腱様筋・薄筋等があるが、中でもその強度の面から膝蓋腱を用いる再建法は『gold standard』と言われ、広く世界中で行われている<sup>1,3)</sup>。しかし、ACLの再建のためとはいえ、膝蓋腱が膝の伸展機構や膝蓋大腿安定化機構の1つであることを考慮すると、膝機能の全体、特に膝蓋腱周囲の機能に対して何らかのデメリットを生じることが考えられる。事実、RaymondらはACL再建後の膝蓋大腿関節の合併症に関して、大腿四頭筋筋力の低下（対健側比80%以下）を65%に、膝関節の屈曲拘縮（5°以上）を24%に、膝蓋大腿関節部の疼痛を19%に認められたと報告している<sup>4)</sup>。また、膝蓋腱断裂<sup>5, 6)</sup>、膝蓋骨骨折<sup>7)</sup>等の合併症に関する報告も散見される<sup>8)</sup>。これら合併症が生じる要因の1つに膝蓋腱採取後の残存した腱部分の代償機能の破綻があると推測する。

一方、近年、靭帯の神経生理学的機能に関する研究報告が増えるに従い、靭帯には知覚神経終末が存在し、関節運動における力学的負荷の受容器としての機能があると考えられている<sup>9-12)</sup>。実際に、ACL・後十字靭帯（PCL）等に神経終末が存在していることが報告されており、これらが膝関節の安

定性及び運動制御等に関与していると推測されている<sup>13-17)</sup>。膝蓋腱も膝関節を構成する靭帯の一つであることを考えると同様の神経生理学的機能が存在していることが推測できる。

しかし、この残存膝蓋腱における詳細な報告は極めて少なく、残存膝蓋腱の力学的強度と神経知覚的機能、及びそれらの術後の推移については明らかにされていない。そこで、本研究において、膝蓋腱中央1/3切除後の残存膝蓋腱部分における引っ張り強度試験による力学的変化及び膝の安定化に関連があると思われる神経終末の経時的変化を免疫組織化学的手法により、観察し検討を行った。

## 対象と方法

成熟白色家兎（2.5~3.0kg）40羽を使用した。まず、Sodium pentobarbital（50mg/kg）による静脈麻酔下に、右膝関節正中に約4cmの切開を加え、膝蓋腱を露出した。この膝蓋腱中央1/3を膝蓋骨、脛骨の一部と共に切除し、欠損部を4-0サージロンにて縫合閉鎖した（以下に切除群と略す）。左膝は右膝と同程度の皮膚切開を加え、腱及び骨自体には処置を加えず皮膚のみ縫合を行った（Sham operation・コントロール群と略す）。術後は両膝ともにギブス固定を行わずfreeな状態としておいた。術後3カ月、6カ月、9カ月、12カ月後に、各群10羽ずつ屠殺し、両膝膝蓋腱を各々一塊として摘出し、免疫組織化学的染色及び引っ張り強度に各5羽ずつ使用した。

平成15年9月3日受理

免疫組織化学的染色方法は以下の手順に沿って行った<sup>18)</sup>。はじめに、摘出した膝蓋腱を4℃Zamboni固定液(0.02%ピクリン酸を含むPH7.4)に3日間浸し固定を行った。続いて、標本を0.1M phosphate buffer(30% sucroseを含む)にて約2日間洗浄後、クリオスタットを用いて30μmの厚さで膝蓋腱冠状断の凍結連続切片を作製した。凍結切片はゼラチンコーティングしたスライドガラスに張り付け、約30分間乾燥させた。これらの切片に、0.3%Triton X-100及び0.2%Sodium azideを含む0.02M Phosphate bufferにて5000倍希釈した抗Protein gene product (PGP) 9.5抗体(UCL社製)を1次抗体として用い、4℃・湿室にて3日間反応させた後、0.1M phosphate bufferにて1週間洗浄を行った。次いで、2次抗体として抗ウサギIgG抗体を用い、4℃・湿室にて24時間反応させ、再び3日間洗浄した。更に、3次抗体であるペルオキシダーゼ・ウサギ抗ペルオキシダーゼ複合体と24時間反応(PAP法)後、再度3日間洗浄を行った。最後にcobalt・nickelDAB(10~15分)反応にて発色させ光学顕微鏡にて観察しPGP陽性神経線維の定量を行った。

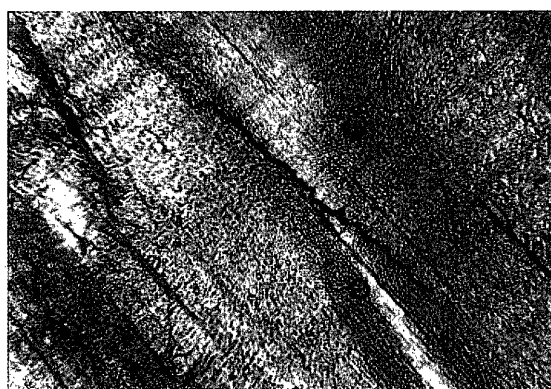
なお、各標本の体積を計算するため切片の面積を画像解析ソフトNIHimageを用いて算出し、切片厚(30μm)を乗じて体積とした。この体積を元に、PGP陽性神経線維の単位体積(1cm<sup>3</sup>)当たりの数を算出し、各5羽の平均を求め切除群・コントロール群間の有意差及び患健側比による経時的比較検討を行った。

引っ張り強度は、各標本の骨性部分をTENSILON試験機(UTM-25T)に強固に固定した後、一定の速度(strain rate 5.0cm/s)で負荷をかけていき、各々の破断部位及び、破断強度のMaximum loadを測定した。各5羽の単位体積当たり(cm<sup>3</sup>)の平均を求め免疫組織化学的実験変化と同様の比較検討を行った。

## 結 果

### 免疫組織化学的実験結果

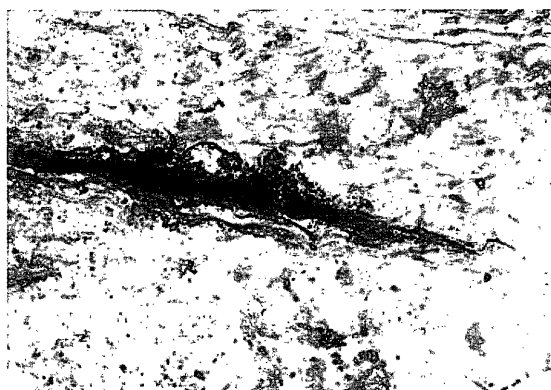
免疫組織化学的染色法は、抗PGP9.5抗体にてルフィニ小体・ゴルジ終末・自由神経終末等を切除群及びコントロール群共に同定する事が出来た(FIG.



A : Free nerve ending.



B : Ruffini's corpuscle

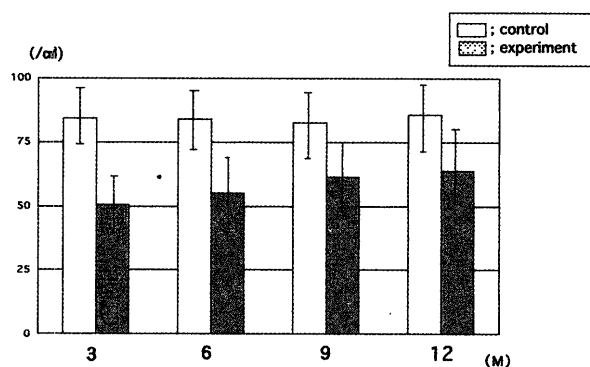


C : Golgi ending

Figure 1. Anti-PGP-antibody-positive nerve fibers (magnification, ×100)

1 A, B, C)。その大半は靭帯の線維(膠原線維)の間隙を縦走するもので、線維を横切って走行するものはほとんど観察されなかった。部位的には、特に各骨(膝蓋骨・脛骨)付着部近傍及び膝蓋腱表面近くにそれらを多く認める事が出来た。

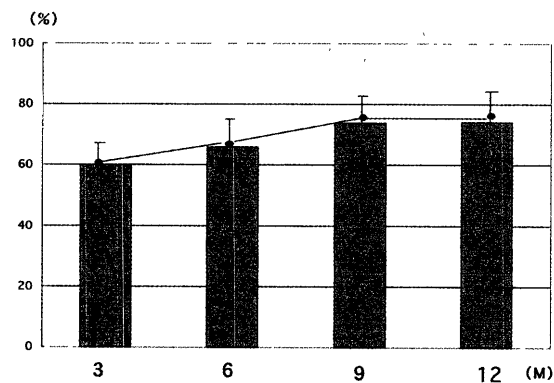
これら神経終末の総量としての定量的変化は、術後3カ月、6カ月、9カ月、12カ月のすべてにおいてコントロール群に多く、切除群との群間に危険率



**Figure 2.** Quantitative changes of nerve endings

The number of nerve endings in the experimental group were significantly less than that in the control group after 3,6,9,12 months. (significant difference at  $p < 0.05$ ).

Brackets indicate  $\pm 1SD$ ;  $n=5$  per group.



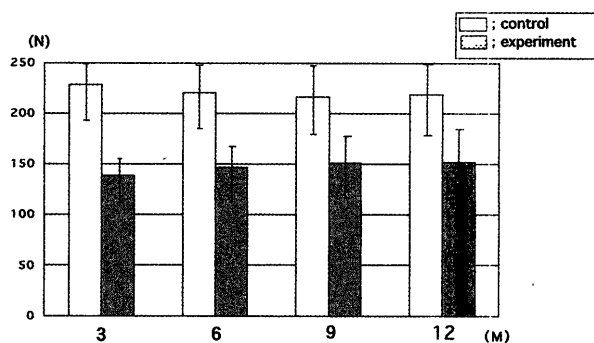
**Figure 3.** Quantitative changes of nerve endings (ratio of treated side to healthy side)

The ratio of the treated side to the healthy side increased with time up to 9 months, but thereafter, remained almost the same.

5%で有意差を認めておりコントロール群はほぼ一定であるが、切除群は経時的に少しずつその量を増していた。(FIG.2). すなわち、その経時的推移を患健側比で見ると、術後3カ月で60.2%、6カ月で66.0%、9カ月で74.1%、12カ月で74.4%と9カ月までは経時的に増加する傾向が認められ、それ以後は大きな変化を認めなかった(FIG.3).

#### 引っ張り強度実験結果

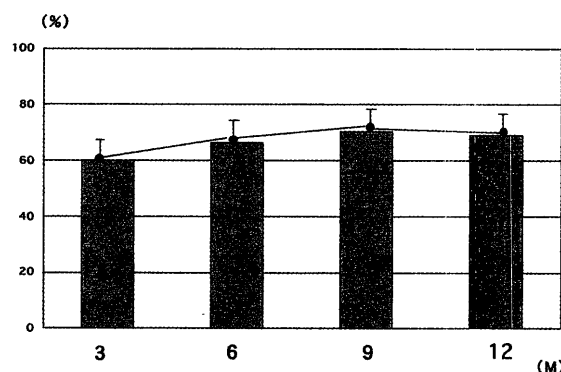
TENSILON試験機を用いて、腱の断裂する際の、破断部位は切除群では各骨付着部近傍が73%、中央1/3の間が27%であるのに比して、コントロール群では各骨付着部近傍が77%、中央1/3の間が23%で



**Figure 4.** Changes in mechanical strength

Significant differences of mechanical strength were found between the control group and the experimental group after 3,6,9,12 months. (significant difference at  $p < 0.05$ ).

Brackets indicate  $\pm 1SD$ ;  $n=5$  per group.



**Figure 5.** Changes in mechanical strength (ratio of treated side to healthy side)

The ratio of the treated side to the healthy side increased with time up to 9 months, but thereafter, remained almost the same. These changes were almost the same as those in the quantity of nerve endings.

あった。両群の間に明らかな差は認められなかった。

その破断強度のMaximum loadの平均は、術後3カ月、6カ月、9カ月、12カ月とすべてでコントロール群が高く、切除群とコントロール群間に危険率5%で有意な差を認めた(FIG.4). 経時的には、コントロール群において大きな変化がないのに比して、切除群は次第に強度は増加していた。この推移を、患健側比で見ると、術後3カ月で60.2%、6カ月で66.6%、9カ月で70.2%、12カ月で69.2%と神経終末の定量的変化とほぼ同様な変化を示していた(FIG.5).

## 考 察

膝蓋腱を用いたACL再建術は、1963年にJonesが自家膝蓋腱の1/3とそれに連続する膝蓋骨及び脛骨の一部を温存したまま行う手術法を報告<sup>3)</sup>して以来、広く世界中で行われている。その長所は強度が他の自家組織よりも優れていることや、術後早期に生物学的固定が完成することなどが挙げられる。その移植膝蓋腱に関するリモデリングに関しては、組織学的には移植後早期に靭帯細胞は壊死に陥り、4～6週で血流再開又は血流豊富な滑膜で覆われる。20週で血流が完成し、約1年で正常ACLとほぼ同様の組織所見となると言われている。しかし、力学的には早期にその強度は大きく低下し、徐々に回復するが術後1年でも正常ACLの50%以下であると考えられている<sup>19)</sup>。この組織学的側面と力学的側面の隔たりは術後のリハビリテーションの開始時期やその内容(負荷量)等に、今なお様々な議論を残している。

また一方、ACL再建時、膝蓋腱を用いる再建法では、その採取部位に不可避免的な欠損・損傷が生じるのは事実であり、合併症として、膝蓋腱断裂、膝蓋大腿関節障害、大腿四頭筋萎縮、膝蓋骨骨折等の報告が散見される<sup>4,8)</sup>。これら合併症の発生の要因としては、膝蓋腱採取後の残存腱部分の組織学的・力学的変化の関与があると推測される。

しかし、現在までのところ、残存膝蓋腱部分における組織学的・力学的変化に関してはその報告例は少なく、Christopherらは、正常膝蓋腱よりも細胞と血管に富んだcollagen fibersの存在と力学的な破断強度の低下を報告し<sup>20)</sup>、Matthewらは中央1/3と残存膝蓋腱部分との力学的強度の比較を検討した<sup>21)</sup>。その他欠損部修復組織の組織学的観察(電子顕微鏡等)<sup>22, 23)</sup>などについては報告されているものの、免疫組織化学的な神経終末の定量的変化と引っ張り強度に関して経時的に比較検討したものはない。

ところで、神経終末を含む関節・靭帯における神経生理学的研究は、1967年、Freeman, Wykeら<sup>24)</sup>の動物実験などにより、関節の内外に各種の受容器が存在することが確かめられている。その後様々な研究が行われ、現在では、これらの受容器はmechanoreceptorとして機械的刺激に対する深部受容器であると言われている。関節運動を行うにあ

り、このmechanoreceptorが姿勢や関節運動の制御に機能的に重要な役割を有することを示唆する報告は多い。O'connerはネコの半月板に内在するmechanoreceptorが中枢神経系に情報を伝達し姿勢筋反射の誘発と膝の安定化のための早期警告装置として機能していると述べている<sup>25)</sup>。更に、Horch<sup>26)</sup>、Brown<sup>27)</sup>らは関節内のmechanoreceptorの情報は関節位置覚、運動覚に重要な働きをしていると言及している。

総じて、関節内外のmechanoreceptorの情報入力、関節保護や関節周囲筋の緊張制御と姿勢調整に重要であると考えられている<sup>9-17)</sup>。前十字靭帯や半月板のmechanoreceptorと大腿四頭筋やハムストリングスの関係から、中枢神経系の関与、つまり、Feedback機構の存在を示唆している報告は散見する<sup>9-11, 13, 14, 16, 28-30)</sup>。Solomonowらは、ACL-hamstring reflexと称し、前十字靭帯への機械的刺激をmechanoreceptorが感知し、それに対する拮抗筋であるhamstringsの収縮を促進し、関節安定性に合目的に作用しているとし、神経-筋協調機構による関節防御機能の存在を言及した<sup>31)</sup>。また、Pitmanらは、体性感覚誘発電位を測定し、ACL-mechanoreceptorから中枢神経系への求心性経路の存在を実際に証明した<sup>32)</sup>。

今回、我々は、白色家兎を使った動物実験及び研究を行い、その結果神経終末の定量では、経時的な増加が認められ、患側側比では、術後3カ月で60.2%が12カ月では74.4%に達していた。力学的強度においても同様に経時的な増加が認められ、患側側比では、術後3カ月で60.2%が12カ月では69.2%となり、その変化の割合は神経終末定量のそれとほぼ同じ傾向を示していた。つまり残存膝蓋腱部分において経時的に力学的抗力の増加が認められる一方で、その力学的負荷に対応出来るだけの受容器もある程度増加していることを示していると考えられる。

一方、臨床的には、その初期固定の強さなどから比較的早期から施行されている関節の可動を主とするリハビリテーション等により、伸展力を示す大腿四頭筋の筋力が回復することはすでに証明されている。しかし、膝伸展機構のうち大腿四頭筋には損傷がないにもかかわらず、その筋力の回復程度は患側側比において80～90%前後を限度とする報告が多い<sup>33-37)</sup>。

下腿への付着部である膝蓋靭帯の強度の低下に対する反応として大腿四頭筋筋力への抑制が起きている可能性がある。今回の実験結果では、術後9カ月までは力学的強度及び神経終末の定量共に、患健側比で同様な経時的増加傾向を示しているものの、その後はどちらも大きな増減はなくほぼ平行状態に達していた。つまり、経時的に残存膝蓋腱部分の量的・質的の代償機能による力学的強度の増加の限界までは力学的強度の増大とともに筋力も増大していくが、代償機能の限界により力学的強度の増加の限界に達すると負のFeedback機構により大腿四頭筋筋力の増大への抑制が働くのではないかと推測した。したがってこの膝蓋腱から大腿四頭筋への負のFeedback機構の破綻が起きた場合に、残存膝蓋腱周囲の様々な合併症が発生することを示唆している。ただし、合併症の問題を論じる上においては、今回実験を行った膝蓋腱だけでなく膝関節運動を行う際に使われる他の靭帯におけるFeedback機構、更には靭帯間の相互・協調作用なども考慮する必要がある (FIG. 6)。

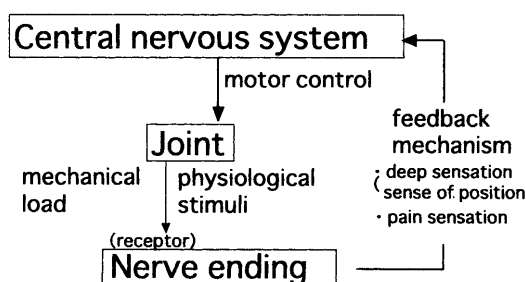


FIG.6. Feedback mechanism in the articular cooperative motion

Figure 6. Feedback mechanism in the articular cooperative motion

Nerve endings are considered working as receptors that convert physiological stimuli and mechanical load into nerve signals.

円滑な関節運動を行うには、筋力増加を促進する一方で力学的負荷に対応出来るだけのFeedback機構が備わっている事が必要条件であると考えられる。現在比較的早期から施行されているリハビリテーションに関しても、靭帯の生力学的特性だけ重視するのではなく神経終末等を含めた神経生理学的特性をも参考にして、リハビリテーションにおける訓練の方法を再度検討する余地がある。

## 結 語

成熟家兎に対して膝蓋腱中央1/3切除術を行い、術後の残存膝蓋腱部分における力学的変化と神経終末の定量的変化に関して以下の結果を得た。

- 1, 神経終末の定量的変化は、患健側比で、術後3カ月で約60%であったが、経時的に増加し、12カ月で約75%に増加していた。力学的強度の変化は、術後3カ月で約60%で、次第に増加し、12カ月で約70%になり、神経終末の定量的増加と力学的強度の増加はほぼ同じ傾向を示していた。
- 2, 残存膝蓋腱部分において関節協調運動におけるFeedback機構が備わっており、膝蓋腱機能の代償が行われていると推測する。
- 3, 残存膝蓋腱部分における代償機能には、限界があると考えられ、この限界を拓げるために機能訓練の方法を検討することが今後の課題である。

この実験は、山口大学医学部動物実験委員会の審査を受け、「山口大学医学部動物実験指針」、「動物の保護及び保管に関する法律」(法律第105号)及び「実験動物の飼育及び保管に関する基準」(総理府告示第6号)の規則に基づいて行った。

## 謝 辞

稿を終えるにあたり、御指導御高閲を賜りました山口大学高次統御系整形外科学講座教授河合伸也先生に深甚なる感謝の意を表します。また、御指導御協力頂いた同講座講師峯孝友先生に深く感謝いたします。

## 参 考 文 献

- 1) 吉矢晋一, 黒坂昌弘, 水野耕作. 膝前十字靭帯損傷に対しての膝蓋腱を用いての再建. 整形・災害外科 1994; 37: 649-655.
- 2) 緒方公介. 骨付き膝蓋腱. 臨整外 1992; 27: 1249-1252.
- 3) Jones K.G. . Reconstruction of the anterior cruciate ligament; A technique using the central one-third of the patellar ligament. *J Bone and Joint Surg* 1963; 45-A: 925-932.

- 4) Raymond A. Sachs, Dale M. Daniel, Mary Lou Stone. Patellofemoral problems after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 1989 ; 17 : 760-765.
- 5) Jesse C. DeLee, Daniel F. Cravittto. Rupture of the quadriceps tendon after a central third patellar tendon anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 1991 ; 19 : 415-416.
- 6) John J. Bonamo, Ronald M. Krinick, Aaron A. Sporn. Rupture of the patellarligament after use of its central third for anterior cruciate reconstruction. *J Bone and Joint Surg* 1984 ; 66-A : 1294-1297.
- 7) Bernhard Christen, Roland P. Jakob. Fractures associated with patellar ligament grafts in cruciate ligament surgery. *J Bone and Joint Surg* 1992 ; 74-B : 617-619.
- 8) Kevin M. Ouweleen, J. Jeffrey McElroy. A unique complication following arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 1995 ; 11 : 225-228.
- 9) Marilyn L. Zimny. Mechanoreceptors in articular tissues. *Am J anatomy* 1988 ; 182 : 16-32.
- 10) Tom Hogervorst, Richard A. Brand. Mechanoreceptors in joint function. *J Bone and Joint Surg* 1998 ; 80-A : 1365-1378.
- 11) Kennedy JC. Nerve supply of the human knee and its functional importance. *Am J Sports Med* 1982 ; 10 : 329-335.
- 12) 井原秀俊, 高柳清美, 三輪 恵. 固有受容器保持の半腱様筋腱・薄筋腱. *臨整外* 1992 ; 27 : 1283-1287.
- 13) Marilyn L. Zimny, M. Schutte, E. Dabezies. Mechanoreceptors in the human anterior cruciate ligament. *Anat Rec* 1986 ; 214 : 204-209.
- 14) Schultz RA, D.C. Miller, C.S. Kerr, L. Micheli. Mechanoreceptor in human cruciate ligaments. *J Bone and Joint Surg* 1984 ; 66-A : 1072-1076.
- 15) 神田豊彦, 玉井和哉, 青木正浩, 吉田浩之, 星野 孝. ラット膝十字靭帯のニューロペプチドに関する免疫組織化学的研究. *関節外科* 1992 ; 11 : 19-26.
- 16) Mats Gronblad, Olli Korkala, Yrjo T. Konttinen. Immunoreactive neuropeptides in nerves in ligamentous tissue. *Clin Orthop* 1991 ; 265 : 291-296.
- 17) 峯 孝友, 河合伸也, 目 昭仁. 膝半月板の知覚神経支配. *中部整災誌* 1997 ; 40 : 987-988.
- 18) Mitsuhiro Kimura, Reiji Kishida, Shinya Kawai. Nerve fibers immunoreactive for substance P and calcitonin gene-related peptide in the cervical spinal ventral roots of the mouse. *Cell Tissue Res* 1994 ; 277 : 273-278.
- 19) 黒坂昌弘, 吉矢晋一, 黒田良祐, 水野耕作. 自家移植腱による膝前十字靭帯再建術後のリモデリング過程とリハビリテーション. *関節外科* 1997 ; 16 : 67-71.
- 20) Christopher S. Proctor, Douglas W. Jackson, Timothy M. Simon. Characterization of the repair tissue after removal of the central one-third of the patellar ligament. *J Bone and Joint Surg* 1997 ; 79-A : 997-1006.
- 21) Matthew J Matava, William C Hutton. A biomechanical comparison between the central one-third patellar tendon and the residual tendon. *Br J Sports Med* 1995 ; 29 : 178-184.
- 22) C. N. Battlehner, M. Carneiro Filho, J. M. C. Ferreira Jr. Histochemical and ultrastructural study of the extracellular matrix fibers in patellar tendon donor site scars and normal controls. *J Submicrosc Cytol Pathol* 1996 ; 28 : 175-186.
- 23) Stephen H. Liu, David W. Hang, Amicare Gentili. MRI and morphology of the insertion of the patellar tendon after graft harvesting. *J Bone and Joint Surg* 1996 ; 78-B : 823-826.
- 24) Freeman MAR, Wyke BD. The innervation of the knee joint ; An anatomical and histological study in the cat. *J Anat* 1967 ; 101 : 505-532.

- 25) O'Connor BL, McConnaughey JS. The structure and innervation of cat knee menisci, and their relation to a 'sensory hypothesis' of meniscal function. *Am J Anat* 1978 ; **153** : 431-432.
- 26) Horch K. W, Clark F. T, Burgeso R. R. Awareness of knee joint angle under static conditions. *J Neurophysiol* 1975 ; **38** : 1436-1447.
- 27) Brown K, Ring P. A. The sensation of passive movement at the metatarso-phalangeal joint of the great toe in man. *J Physiol* 1954 ; **126** : 448-458.
- 28) Elmqvist L. G, Lorentzon R, Johansson C. Does a torn anterior cruciate ligament lead to change in the central nervous drive of the knee extensors? *European J Appl Physiol and Occup Physiol* 1988 ; **58** : 203-207.
- 29) Grigg P, Harrigan E. P, Fogarty K. E. Segmental reflexes mediated by joint afferent neurons in cat knee. *J Neurophysiol* 1978 ; **41** : 9-14.
- 30) Kim A. W, Rosen A. M, Brander V. A. Selective muscle activation following electrical stimulation of the collateral ligament of the human knee joint. *Arch Phys Med Rehabil* 1995 ; **76** : 750-757.
- 31) Solomonow M. The synergistic action of the anterior cruciate ligament and thigh muscles in maintaining joint stability. *Am J Sports Med* 1987 ; **15** : 207-213.
- 32) Pitman M. I, Nainzadeh N, Menche D. The intraoperative evaluation of the neurosensory function of the anterior cruciate ligament in humans using somatosensory evoked potentials. *Arthroscopy* 1992 ; **8** : 442-447.
- 33) 仁賀定雄, 星野明穂, 水田隆之, 荻内隆司, 本杉直哉, 長束 裕, 原 邦夫. 異なる膝前十字靭帯再建術後の大腿四頭筋筋力回復の比較検討. 日本整形外科スポーツ医学会誌 1993 ; **12** : 49-51.
- 34) 仁賀定雄, 星野明穂, 水田隆之, 長束 裕, 林正弘, 宗田 大, 山本晴康, 石橋俊郎, 古屋光太郎. 前十字靭帯再建術における自家移植腱採取が筋力回復に及ぼす影響 (第2報) 日整会誌 1991 ; **65** : 497.
- 35) A. Natri, M. Jarvinen, K. Latvala. Isokinetic muscle performance after anterior cruciate ligament surgery. *Int J Sports Med* 1996 ; **17** : 223-228.
- 36) Leslie S. Matthews, Steven J. Lawrence Martin A. Yahiro. Fixation strengths of patellar tendon-bone grafts. *Arthroscopy* 1993 ; **9** : 76-81.
- 37) K. Donald Shelbourne, Rocci V. Trumper. Preventing anterior knee pain after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 1997 ; **25** : 41-47.

## Nerve Endings and Biomechanical Study of the Residual Tendon After Removal of the Central One-third of the Patellar Tendon

Akihito SAKKA

*Dept of Orthopedics, and, Human Science Yamaguchi University School of Medicine,  
1-1-1 Minamikogushi, Ube, Yamaguchi 755-8505, Japan*

### SUMMARY

In the case of use of the patellar tendon for reconstruction of the anterior cruciate ligament, mechanical and immunohistochemical changes of the remaining portion of patellar tendon were examined in the course after operation. Using adult white rabbits, for extracting segmentectomy patellar tendons, that five animals were sacrificed in the experimental group and five in the control group at 3, 6, 9 and 12 months after operation. In each tendon, through tensile intensity and quantification of nerve endings by immunohistochemical staining, and quantitative changes of these parameters with lapse of time were examined. In comparison with the healthy side, the affected side showed a tendency toward increase with time in both mechanical strength and amount of nerve endings up to 9 months after operation, but thereafter, they became almost steady. These results suggest that the feedback system necessary for cooperative articular motion is functioning in the remaining portion of patellar tendon, and knee-joint extension function and patella-femur joint stabilization function of the original patellar tendon are compensated, and in addition, there is a limit in this compensating function.