

## ロッキング機構を有するスライド延長 —ウサギ下肢腱を用いた強度試験—

岩瀬 大<sup>1)2)</sup>・松尾 隆<sup>2)</sup>・松尾 篤<sup>2)</sup>・内田 健太郎<sup>1)</sup>  
関口 裕之<sup>1)</sup>・目時 有希恵<sup>1)</sup>・相川 淳<sup>1)</sup>・東山 礼治<sup>1)</sup>  
小沼 賢治<sup>1)</sup>・高相 晶士<sup>1)</sup>

1)北里大学医学部 整形外科

2)南多摩整形外科病院

**要旨** ウサギ下肢腱を用いロッキング機構を有するスライド延長術(Locking SL)の強度試験を行った。11匹のJapanese White RabbitsのFlexor hallucis longus tendonsを用いた。右足にLocking SL, 左足にZ延長術を行い、術直後の最大破綻強度の比較検討を行ったところ、Locking SLで優位に高値であった。Locking SLの利点は延長前にロッキング機構を有する縫合を行うことで腱の過延長を予防し、collagen fiberの温存を可能にできる点でと考える。また、同処置により小皮切での延長が可能となり、あらゆる部位での延長を可能としている。本研究においてもLocking SLで高い破綻強度を示し、有用な方法の一つと考えた。一方、本研究は術直後の評価のみであり、術後の経過に伴う検討はなされておらず今後の課題と考える。

### はじめに

腱延長といえば、古くはZ延長術(Z-Lengthening: 以下, ZL)が最もメジャーな手法であったが、Whiteが1943年にスライド延長術(Sliding Lengthening: 以下, SL)を報告<sup>10)</sup>して以来、尖足患者に対するアキレス腱延長術として確立された方法の一つとなっている。しかし、SLは具体的な延長量を決定するわけではなく、あくまで麻酔下での足部の状態で延長量を判断するものであり、また、アキレス腱のみに対して行われる処置であった。松尾<sup>9)</sup>はWhiteのSLを改良し、延長前にLocking機構を有する縫合処置を行い、的確な延長量を決定することを可能にした。しかし、ロッキング機構を有するスライド延長術(以

下, Locking SL)に対する強度試験の報告は、我々の渉猟し得た限りではHashimoto<sup>5)</sup>らの報告以外存在しない。

今回、ウサギ下肢腱を用いLocking SLの強度試験を行ったので報告する。

### 対象と方法

11羽のJapanese White Rabbits(平均体重3.0~3.5 kg)のFlexor hallucis longus tendons(以下, FHL)を使用した。

右足に対しLocking SLを、左足に対してはZLを施行した。麻酔は塩酸メドミジン、酒石酸ブトルフェノール、ミタゾラムをそれぞれ3:1:1の割合で合計3 mLほど筋肉内注後、ペントバルビタールナトリウム3 mLを耳皮静脈より注入

**Key words** : locking for sling lengthening(ロッキング機構を有するスライド延長), sliding lengthening(スライド延長), z-lengthening(Z延長術), rabbit(ウサギ), ultimate failure load(最大破綻強度)

**連絡先** : 〒 252-0374 神奈川県相模原市南区北里1-15-1 北里大学医学部 整形外科 岩瀬 大 電話(042)778-8111

**受付日** : 2018年1月13日

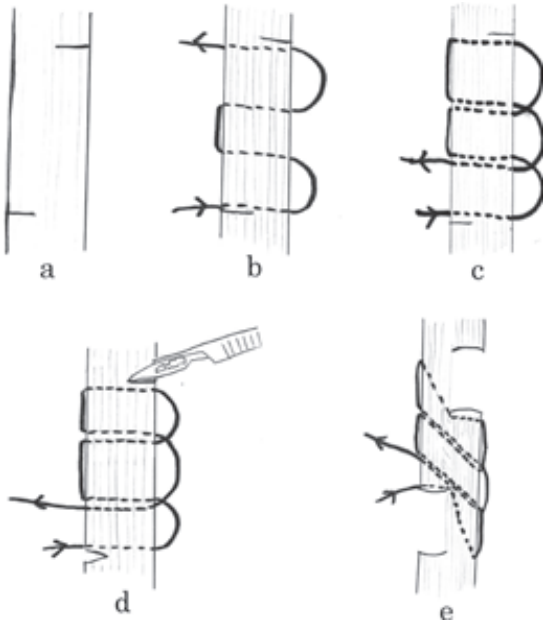


図1. Locking SLの方法

- a: 延長量とoverlapする量の合計を決定し両端にマーキング。
- b,c: 縫合糸を矢印の順に通す。その際、それぞれのループ長は延長量とする。
- d: 両端を対角線に半切する。
- e: 慎重にスライド延長を行うことで、ループがロッキング機構として働く。

し屠殺を行った。その後、足内側に2~3 cm大の皮切を行いFHLを同定した。Locking SLの手法を説明する。まず延長量とoverlapする量の合計を決定し両端にマーキングを行う(図1-a)。次に縫合糸を通す(図1-b, 1-c)。その際、それぞれのループ長は延長量とする。その後、両端を対角線上になるように半切(図1-d)し、慎重にスライド延長を行うことで、ループがロッキング機構として働き正確な量を延長することが可能となる(図1-e)。ZLでは、Locking SLと同様にマーキングを行い、まず腱の縦切を行う。その後、Locking SLと同様に縫合糸を通し、対角線上に両端を半切し延長を行った。実際の実験写真を以下に示す(図2, 図3)。

縫合糸は4-0 polypropyleneを使用し、両端に結紮縫合も行い、延長直後の腱強度を評価した。

腱強度は0.1Nのデジタルフォースゲージ(Ni-

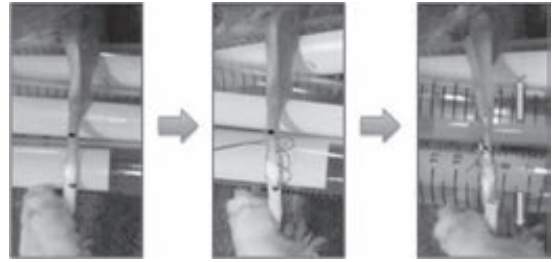


図2. ウサギFHLに対するLocking SL  
延長量10 mm, overlap 5 mmとして延長を行った。

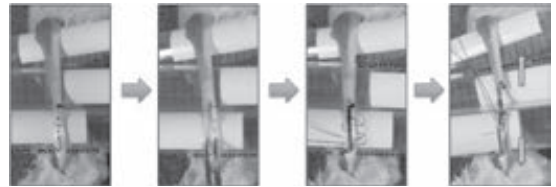


図3. ウサギFHLに対するZL  
まず腱の縦切を行い、その後Locking SLに準じ縫合糸を通し延長を行った。

dec-Shimpo Corp., Kyoto, Japan., Digital force gauge FG PX-20)を使用し20 mm/minで牽引を行い、最大破綻強度を評価した。

統計学的検討はStudent t-testを用い $p < 0.001$ を有意差ありとした。

また、この実験は北里大学医学部動物実験委員会の承認を得て行った(承認番号2017-101)。

## 結果

Locking SLでは平均19.1N, ZLでは平均9.03Nを示し有意差を認めた(図4)。

## 考察

腱延長においてZLは再発は少ないが、踵足変形が高率に発生すると報告されてきた<sup>3)</sup>。一方、SLでは再発は時に認められるが、癒着<sup>5)</sup>や踵足変形の発生は少なく<sup>4)</sup>有用な手技であると報告されている。しかし、SLは長い間アキレス腱に対してのみ行われる処置であった。松尾はWhiteのスライド延長を改良し、あらゆる部位<sup>5)</sup>(手指屈筋腱<sup>7)</sup>、大腰筋<sup>6)</sup>、足趾屈筋腱<sup>8)</sup>、ハムストリングなど)においてLocking SLを試み、良好な成績を収めてきた。

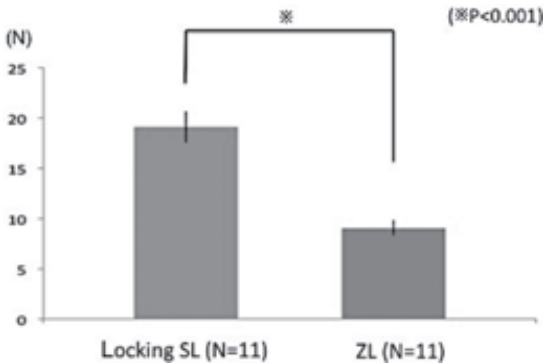


図4. 最大破綻強度

Locking SLでは平均19.1N, ZLでは平均9.03Nであった。

SLはZLと比較するとcollagen fiberの連続性が保たれるため, biomechanical的に優位と考えられている<sup>6)</sup>。本研究結果においても, Locking SLはZLと比較し最大破綻強度で優位に高値であり, 本手法の有用性の一つを示したと考える。しかし, SLといってもその方法はさまざまであると考えられる。延長後に縫合を行うかどうか, 縫合方法などでせん断力や強度が変わる可能性も十分考えられる。Locking SLは, 延長前に事前にロッキング機構を有する縫合を行うことで予定延長量を確定し, 過延長を予防できる点が大きな特徴である。ZLでは一度fiberの連続性が断たれてしまう。また, fiberの連続性が保たれることが利点であるSLでも過延長によりそのfiberの連続性を壊し, 目標とする関節角度などによる微調整を行うことは, SLのbiomechanical的な優位性を半減させているともいえる。

また, 事前に縫合処置を行うことにより小切開で腱を引き出し, 延長を行うことが可能となり, アキレス腱以外の部位での延長が容易に行えるようになったと考えている(図5)。

延長後の固定に関して Akats<sup>1)</sup>らはウサギのアキレス腱を使った実験で, SL, ZL後に固定せず腱の修復過程を評価したところ, とともにX線では過延長を認めたため一定期間の固定が必要と述べている。臨床における報告でも, SL, ZL共に数週間の固定が推奨されている<sup>24)</sup>。当院におけるアキレス腱延長後のギプス固定期間は, 術後6

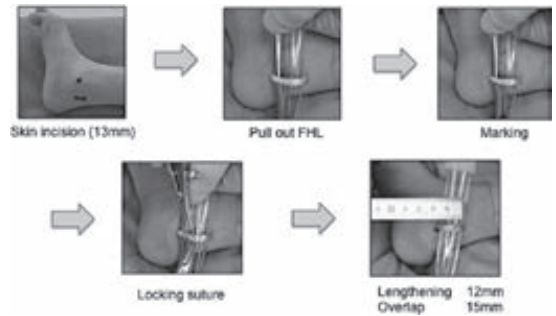


図5. 長母趾屈筋腱に対する Locking SL

内果後方に13mmの皮切を作製し, FHLを約30mm引っ張り出し延長量12mm, overlap 15mmの延長を行った。

週間(3週間:膝上ギプス固定, その後3週間:膝下ギプス固定), その後は短下肢装具を装着し, 全荷重歩行を許可している。本研究では延長直後の評価のみであり, 術後経過による腱強度の変化および術後固定による腱強度の変化については検討がされていないが, 今後, 術後経過の変化を検討しギプス固定期間の短縮等について検討を行ってきたい。

## 結語

ウサギ下肢腱を用いたロッキング機構を有するスライド延長の強度試験を行った。

ZLと比較し Locking SLは最大破綻強度が高値であった。

Locking SLは有用な方法の一つと考えた。

## 文献

- 1) Aktas S, Ercan S, Candan L et al : Early mobilization after sliding and Z-lengthening of heel cord : a prelim experimental study in rabbits. Arch Orthop Traum Surg 121 : 87-89, 2001.
- 2) Blasier RD, White R : Duration of immobilization after percutaneous sliding heel cord lengthening. J Pediatr Orthop 18 : 299-303, 1998.
- 3) Garbarino JL, Clancy M : A geometric method of calculating tendon Achilles lengthening. J Pediatr Orthop 5 : 573-576, 1985.
- 4) Graham HK, Fixsen JA : Lengthening of the calcaneal tendon in spastic hemiplegia by the

- White slide technique. A long-term review. *JBJS Br* **70**(3) : 472-475, 1988.
- 5) Hashimoto K, Kuniyoshi K, Suzuki T et al : Biomechanical Study of the Digital Flexor Tendon Sliding Lengthening Technique. *J Hand Surg Am* **40** : 1981-1985, 2015.
  - 6) Matsuo T, Hara H, Tada S : Selective Lengthening of the Psoas and Rectus Femoris and Preservation of the Iliacus for Flexion Deformity of the Hip in Cerebral Palsy Patients. *J Pediatr Orthop* **7** : 690-698, 1987.
  - 7) Matsuo T, Lai T, Tayama N : Combined flexor and extensor release for activation of voluntary movement of the fingers in patients with cerebral palsy. *Clin Orthop Relat Res* **250** : 185-193, 1990.
  - 8) Matsuo T, Kawada N, Tomishige O : Combined lengthening of the plantar flexors of the ankle and foot for equinus gait in cerebral palsy. *The Foot* **4** : 136-144, 1994.
  - 9) Matsuo T : *Cerebral Palsy : Spasticity-control and Orthopaedics-An introduction to Orthopaedic Selective Spasticity-control Surgery (OSSCS)*-, Soufusha, Tokyo, 2002.
  - 10) White JW : Torsion of the Achilles tendon. *Arch Surg* **46** : 784-787, 1943.