# ラットヒラメ筋に対する廃用性筋萎縮予防としての間歇的伸張運動の効果: 介入時間と筋の長軸部位間における相違の検討


| メタデータ | 言語: Japanese<br>出版者:<br>公開日: 2018-05-10<br>キーワード (Ja):<br>キーワード (En):<br>作成者: 木村, 繁文, 石川, 琢麻, 山崎, 俊明, Kimura, Shigefumi, Ishikawa, Takuma, Yamazaki, Toshiaki<br>メールアドレス:<br>所属: |
| --- | --- |
| URL | https://doi.org/10.24517/00014354 |

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.

理学療法科学 32（2）：291–296，2017

■原　著

# ラットヒラメ筋に対する廃用性筋萎縮予防としての間歇的伸張運動の効果

## ――介入時間と筋の長軸部位間における相違の検討――

*Inhibitory Effect of Different Durations of Intermittent Stretching on Muscle Disuse Atrophy in Different Regions of the Rat Soleus Muscle*

木村　繁文[1)]　　石川　琢麻[1)]　　山崎　俊明[2)]

SHIGEFUMI KIMURA, RPT, PhD[1)], TAKUMA ISHIKAWA, RPT[1)], TOSHIAKI YAMAZAKI , RPT, PhD[2)]

[1)] *Department of Rehabilitation, Houju Memorial Hospital: 11-71 Midorigaoka, Nomi-shi, Ishikawa 923-1226, Japan*
*TEL +81 761-51-5551 E-mail:reha-pt@houju.jp*
[2)] *Iustitute of Medical, Pharmaceutical and Health Sciences, Kanazawa University*

*Rigakuryoho Kagaku 32(2): 291–296, 2017. Submitted Oct. 11, 2016. Accepted Dec. 1, 2016.*

**ABSTRACT:** [Purpose] The purpose of this study was to verify the influence of the time duration of intermittent stretching on the inhibitory effects of disuse atrophy in the rat soleus muscle and to compare these effects across different sites along its longitudinal axis. [Subjects and Methods] Thirty 8-week-old male Wistar rats were divided into 4 experimental groups: control, hind-limb suspension (H), hind-limb suspension and stretching for 10 minutes every day (LST), and hind-limb suspension and stretching for 5 minutes every day (SST). At the end of the suspension period, the soleus muscle was excised and cut into proximal, middle, and distal samples, and the cross-sectional area (CSA) was measured. [Results] The cross-sectional area of muscle fibers was significantly higher in the LST and SST groups than in the H group in the middle and distal regions, and it was also higher in the SST group than in the LST group in the distal region. [Conclusion] These results suggest that the effect of intermittent stretching differs among the longitudinal sites of the rat soleus muscle, and depends on the duration of the stretching time.
**Key words:** disuse atrophy, longitudinal sites, time length of intermittent stretching

**要旨**：〔目的〕ラットヒラメ筋の廃用性萎縮進行中の間歇的伸張運動の効果を時間別，部位別に検討することとした．〔対象と方法〕8 週齢の Wistar 系雄ラットの両側ヒラメ筋を対象に，これを通常飼育群，16 日間の後肢懸垂にて廃用性筋萎縮を惹起する H 群，実験期間中に間歇的伸張運動を 5 分間実施する SST 群，10 分間実施する LST 群に分けた．部位は筋長の 25％を近位部，50％を中央部，75％を遠位部とし，検討項目は各群と部位の筋線維横断面積，壊死線維，中心核線維の発生頻度とした．〔結果〕筋横断面積は遠位部において LST，SST 群では H 群と比較し，また中央部，遠位部において SST 群では LST 群と比較し有意に大きかった．〔結語〕短時間の伸張運動では伸張部位や時間によって廃用性筋萎縮の抑制効果が異なることが示唆される．
**キーワード**：廃用性筋萎縮，長軸部位，間歇伸張運動時間

[1)] 芳珠記念病院　リハビリテーション科：石川県能美市緑ヶ丘 11-71（〒 923-1226）TEL 0761-51-5551
[2)] 金沢大学　医薬保健研究域

受付日　2016 年 10 月 11 日　　受理日　2016 年 12 月 1 日

## I. はじめに

骨格筋は不活動になれば萎縮する．ベッド上での安静臥床や骨折のための関節固定などにより生じる筋萎縮は，廃用性筋萎縮と呼ばれ[1]，理学療法では，その進行抑制と回復の促進が求められる[2]．本邦においては平成26年度の診療報酬改定によりADL維持向上等体制加算が新設され，病棟専従理学療法士による疾患別の単位制に縛られない予防的な介入が診療報酬上評価されることとなり[3]，今後は短時間での理学療法の提供が臨床で行われていくことも予測される．その流れの中で，介入時間による効果の相違を基礎研究の面から明らかにしていくことは今後の理学療法において有意義であると考える．

動物モデルを用いた先行研究では，下肢への荷重や伸張運動などの機械的刺激が廃用性筋萎縮の抑制効果を示すこと[4]や，伸張運動が萎縮抑制に影響を与えるメカニズムとして筋のタンパク合成を促すこと[5]，それに必要な遺伝子の発現に関与していること[6]が報告されている．

また，伸張運動は大きく持続的伸張運動と間歇的伸張運動の2つに分けられ，その方法や負荷量の検討もなされている[7–10]．なかでも間歇的伸張運動は，臨床においても多く用いられている方法である．動物実験により2つの伸張運動方法の萎縮抑制効果を検討した報告では，間歇的伸張運動の方が効果的であったという報告[8]があり，その要因について持続的伸張運動の場合は，伸張後に減衰した張力が持続的に負荷されるのに対し，間歇的張運動の場合は，その実施時間内に繰り返し強い張力が負荷されることが影響しているとされている．これらの先行研究において間歇的伸張運動における負荷は関節の角度や，角速度などで規定されるものが多いが，時間も考慮に入れるべきであると考える．これまでの先行研究においては，持続時間の違いによる検討は持続的伸張に関してはなされているが，間歇的伸張運動においては少なく，この中で短時間での間歇的伸張運動介入の廃用性筋萎縮抑制効果を検討したものはさらに少ない．また，廃用性筋萎縮において，萎縮の進行や伸張運動による回復の程度など，筋の適応変化が長軸部位で異なるという報告[12]がある．筋の長軸部位による萎縮進行および回復程度に差があるならば，各部位の萎縮に応じた介入を行うことで廃用性筋萎縮の進行抑制がより効果的かつ効率的になると考えられる．

また，廃用性萎縮筋に対する伸張運動が筋線維損傷を惹起するといった報告[10,11]もある．灰田[1]は廃用性萎縮筋はそれ自体が極めて脆弱で，負荷量に対する許容範囲が狭く運動負荷により筋損傷をきたすことを考慮して機能改善を図る必要があると述べており，その設定は慎重に行われるべきである．

そこで本研究では，間歇的伸張運動の時間の長短による相違が廃用性萎縮筋に対する筋萎縮抑制効果と筋線維損傷の発生頻度に与える影響を，筋の長軸部位別に検討することを目的とした．萎縮抑制効果の指標として筋線維横断面積を，筋線維損傷の指標として壊死線維，中心核線維の発生頻度を比較した．

## II. 対象と方法

### 1. 対象

対象は8週齢のWistar系雄ラット30匹（体重の平均 ± 標準偏差：246.0 ± 4.2 g）の両側ヒラメ筋とした．対象を通常飼育の対照群（Control群：以下C群，n＝7），16日間の後肢懸垂にて廃用性筋萎縮を惹起する群（Hind-limb suspension群：以下H群，n＝8），後肢懸垂期間中に毎日10分間の間歇的伸張運動を後肢懸垂開始日を除く15日間実施する群（Long period of time Stretch群：以下LST群，n＝8），後肢懸垂期間中，同様に5分間の伸張運動を実施する群（Short period of time Stretch群：以下SST群，n＝7）の4群に分けた．なお，本研究は金沢大学動物実験委員会の承認（AP-112219）を得て行った．

### 2. 方法

筋萎縮の惹起には，山崎ら[13]の後肢懸垂法を使用した．ラットに麻酔下で金属支柱を組み込んだジャケットを支柱が背部にくるように装着し，上部・下部体幹および尾部中枢を固定した．その後，前肢のみがケージの床につくよう懸垂した．ラットは前肢を使用してケージ内を移動することが可能であり，水・餌は自由に摂取できる状態とした．

間歇的伸張運動方法は，木村ら[10]の方法を使用した．後肢懸垂処置を解除後，筋の随意的収縮を防ぐため，実験小動物用ガス麻酔システム（イソフルラン）を用いて麻酔下で体重を測定し，負荷量を設定したうえで以下の方法でラットヒラメ筋の間歇的伸張運動を行った．実験装置は，ラット（背臥位）の股関節および膝関節が90°となるように固定後，足関節を他動的に背屈しその伸張強度を一定に設定できるものである．足部を台に取り付けたアクリル板に接地させ，指で押さえて固定した．アクリル板には，ペットボトルを非伸縮性の糸で滑車を介して接続し，水を入れたペットボトルにて張力負荷量を調整した．今回は負荷量を体重相当に設定し，間歇的伸張運動（10秒間足関節背屈保持後，10秒間底屈位，伸張の切り替えは徒手にて実施，伸張はペットボトルの錘で行った）をLST群には1日10分間，SST群には1日5分間，実施した．また麻酔の影響を除くため，C群，H群にもLST群，SST群と同様に腹腔内麻酔を実施した．実験期間は16日間とし，このうち伸張運動を後肢懸垂開始日を除く15日実施した．

実験期間終了後，体重を測定し麻酔下にてヒラメ筋を摘出し，筋湿重量，筋長を測定した．その後，液体窒素で冷却したイソペンタン内で急速凍結し，分析まで－80°C 保存した．

組織学的分析のために，筋長の 25％（近位部），50％（中央部），75％（遠位部）部位における切断面の凍結横断切片（10 $\mu$m）を作成した．その後 Hematoxylin-eosin（HE）染色を実施した．顕微鏡画像をもとに画像解析ソフトウェア Image J を用いて，筋線維横断面積（Cross-Sectional Area：以下，CSA）を各筋 200 本以上測定した．また，各群，部位での病理所見の発生頻度を比較するため，顕微鏡画像の観察から目視にて壊死線維，中心核線維を特定し，その数を面積を測定した筋線維総数で除してその割合を算出した．壊死線維は，筋線維の染色性が著しく低下したもの，筋細胞内に貪食細胞の浸潤がみられるもの [14] を対象として特定した．また，中心核線維は，筋核が筋細胞内に存在するもの [14] とした．

各群の体重，ヒラメ筋の筋湿重量，相対重量比の群間での比較，および各群・各部位の CSA ついて統計処理を行った．まず群と部位の交互作用の有無を確認するため，統計処理ソフトウェア SPSS を用いて二元配置分散分析を行ったが，交互作用は認められなかった．その後，同一部位での群間比較，および同一群での部位間比較には一元配置分散分析を行い，有意差を認めた場合には Bonferroni 法を用いて 2 群間比較，および 2 部位間比較を行った．壊死・中心核線維数については，各群間・部位間での発生頻度の差に対する $\chi^2$ 検定を行った．すべての統計処理において有意水準は両側 5％とした．

## III. 結　果

体重（表 1）の平均は C 群と比較して，H 群，LST 群，SST 群では有意に減少した．H 群と LST 群および SST 群との間に有意差はみられなかった．

筋湿重量（表 1）の平均は C 群と比較して，H 群，LST 群，SST 群は有意に低かった．H 群との比較では，LST 群，SST 群との間に有意差はみられなかった．

また相対重量比（表 1）の平均は，C 群と比較して，H 群，LST 群，SST 群は有意に低かった．H 群との比較では，LST 群，SST 群との間に有意差はみられなかった．

部位別筋線維横断面積（表 2，図 1）の平均は，全部位において C 群と比較して，H 群，LST 群，SST 群で有意に低い値を示した．近位部においては，C 群と比較して，H 群，LST 群，SST 群は有意に低かった．H 群との比較では，LST 群，SST 群ともに有意差はみられなかった．中央部においては，C 群と比較して，H 群，LST 群，SST 群は有意に低かった．H 群との比較では，LST 群は有意に低く，SST 群は有意に高かった．遠位部においては，C 群と比較して，H 群，LST 群，SST 群は有意に低かった．H 群との比較では，LST 群，SST 群は有意に高かった．筋線維横断面積の分布比率では，中央部において LST 群では H 群に比べピークが面積の大きい方へと偏位しており，C 群により近い結果となったが，近位部においては H 群と比較し LST 群，SST 群のピークが面積の小さい方へと偏位していた．また遠位部においては SST 群のピークは H 群よりも面積の小さい方へと偏位していた．LST 群と SST 群の比較では，そのピークは近位部，中央部においてはほぼ一致してい

**表 1**　各群の体重，筋湿重量，相対重量比

| | ラット数 | 体重（g） | 筋湿重量（mg） | 相対重量比（mg/g） |
|---|---|---|---|---|
| C 群 | 7 | 287 ± 20 | 107 ± 13 | 0.37 ± 0.04 |
| H 群 | 8 | 215 ± 12 * | 58 ± 8 * | 0.27 ± 0.03 * |
| LST 群 | 8 | 209 ± 12* | 64 ± 6 * | 0.31 ± 0.03 * |
| SST 群 | 7 | 200 ± 13 * | 61 ± 13 * | 0.30 ± 0.06 * |

平均値 ± 標準偏差．C：Control，H：Hind-limb suspension，LST：Long period of time stretch，SST：Short period of time stretch．*：$p<0.05$（vs C 群）．

**表 2**　筋線維横断面積

| | ラット数 | 近位部（$\mu m^2$） | 中央部（$\mu m^2$） | 遠位部（$\mu m^2$） |
|---|---|---|---|---|
| C 群 | 7 | 2002 ± 521 | 1961 ± 460 | 1784 ± 528 §¶ |
| H 群 | 8 | 923 ± 314** | 902 ± 317** | 953 ± 315** ¶ |
| LST 群 | 8 | 906 ± 300** | 854 ± 267** †§ | 1008 ± 303** †§¶ |
| SST 群 | 7 | 933 ± 335** | 1021 ± 364** †‡§ | 1062 ± 457** †‡§¶ |

平均値 ± 標準偏差．略称は表 1 と同様．**：$p<0.01$（vs C 群），†：$p<0.05$（vs H 群），‡：$p<0.01$（vs LST 群），§：$p<0.01$（vs 近位部），¶：$p<0.01$（vs 中央部）．

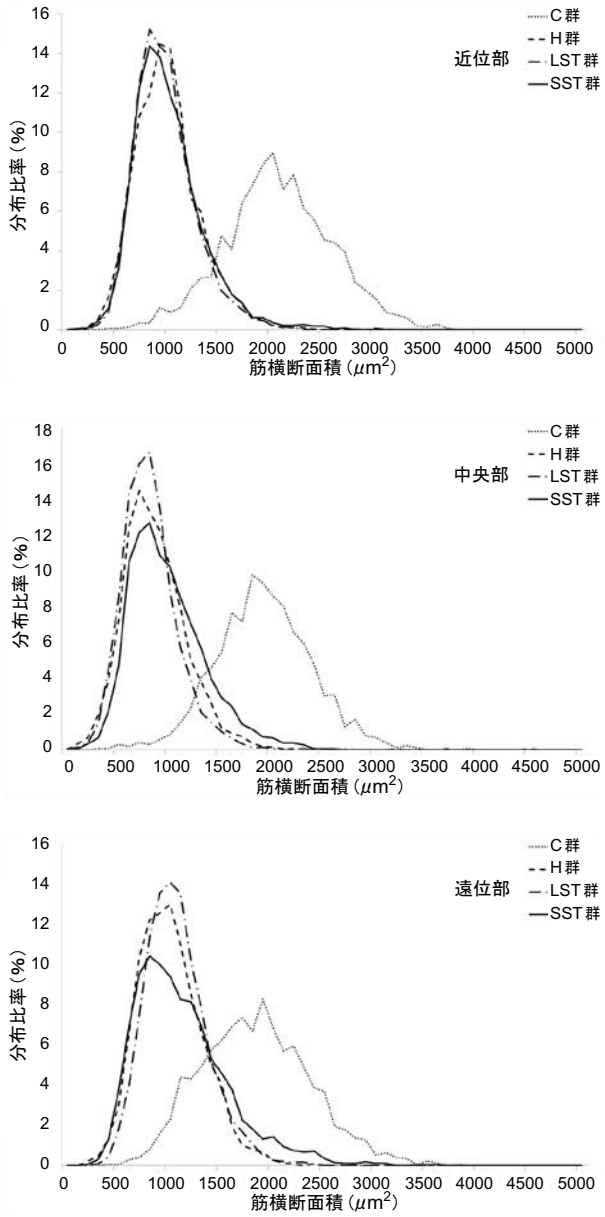


**図1**　筋線維横断面積分布比率
略称は表1同様.

るようにみえるが，遠位部においてはLST群でより面積の大きい方に位置していた.

壊死線維割合（表3）は全体として，近位部，中央部，遠位部の順に低くなる傾向があった．LST群では全部位で他群と比較し有意に高い値を示した.

中心核線維割合（表3）でみると全体として中央部は中心核線維の割合が低い傾向にあった．SST群の中央部と遠位部では全部位で他群と比較し有意に高かった.

## IV. 考　察

本研究の目的の1つは，廃用性萎縮筋に対する負荷量一定の短時間の伸張運動が筋萎縮抑制に効果を持つのか，またその時間により効果が異なるのかを検討することである．本研究結果から，伸張運動を行った群の筋線維横断面積は後肢懸垂のみを行った群よりもその低下は軽度であった．このことから短時間の間歇的伸張運動は萎縮抑制に有効であったと考えられる.

筋線維横断面積の比較においては，中央部において，LST群ではH群よりも有意に低値を示した．筋線維横断面積の分布を比較すると，中央部においてはLST群のピークはH群と比較し面積の大きい方へと偏位していた．しかし，LST群の筋線維横断面積分布のピークをとる800 $\mu m^2$以上の筋線維の分布比率をみると，LST群は約54％に対し，H群は約58％であった．加えて2群の800 $\mu m^2$以上の筋線維横断面積の平均値±標準偏差をみるとLST群は1,036 ± 214 $\mu m^2$であったのに対し，H群は1,094 ± 261 $\mu m^2$であった．このことは分布比率のピークをとる値より大きい横断面積をもつ筋線維が，LST群と比較しH群に多く存在していたことを示している．その結果，中央部においてLST群の面積がH群と比較し有意に低かったと考えられる．一方，SST群もLST群と同様に800 $\mu m^2$あたりにピークをとるが，800 $\mu m^2$以上の筋線維の分布比率をみると，約71％であり，またその平均値±標準偏差は1,184 ± 313 $\mu m^2$であった．H群，LST群と比較し，筋線維横断面積の平均値も有意に大きかった．また遠位部においては，H群と比較しLST群，SST群の筋線維横断面積の平均値は有意に大きく，またLST群と比較し，SST群は有意に大きかった．SST群のピークはH群，LST群よりも面積の小さい方に位置しているが，H群，LST群のピークをとる1,000 $\mu m^2$以上の筋線維横断面積の平均値±標準偏差をみるとH群は1,258 ± 216 $\mu m^2$，LST群は1,257 ± 231 $\mu m^2$に対し，SST群は1,423 ± 387 $\mu m^2$であった．また1,000 $\mu m^2$以上の筋線維は，H群は約40％，LST群は約47％であったのに対し，SST群は約48％存在していた．また筋線維横断面積の最大値もSST群が最も大きかった．これらの筋線維横断面積の結果から，今回の研究においては5分間の伸張運動の方が筋萎縮抑制に有効であることを示していると考えられる．伸張時間における5分間と10分間の相違により，筋萎縮抑制効果に差が生じた要因は，本研究から明確に述べることはできない．今後はそのメカニズムを解明していく必要があると思われる.

また，本研究は萎縮抑制と筋損傷の両面から伸張運動の至適時間を検討することも目的としている．筋線維の壊死から再生の過程は，筋線維の壊死から4～5日目には中心核を持つ小径の再生線維が生じ，7日目にはそれがより明瞭となり，それ以降は急速に筋線維径を増し，20日目には中心核は残存するもののほぼ元の大きさに回復するものとされ，中心核線維は筋線維損傷からの回

**表 3**　壊死線維割合と中心核線維割合の結果

| | ラット数 | 壊死線維割合（%） | | | 中心核線維割合（%） | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 近位部 | 中央部 | 遠位部 | 近位部 | 中央部 | 遠位部 |
| C 群 | 7 | 0.01<br>（3 / 3120） | 0.02<br>（1 / 4611） | 0.47§¶<br>（18 / 3846） | 0.42<br>（13 / 3120） | 0.15§<br>（7 / 4611） | 0.39¶<br>（15 / 3846） |
| H 群 | 8 | 0.1<br>（4 / 4104） | 0.17**<br>（9 / 5390） | 0.35§<br>（12 / 3385） | 0.29<br>（12 / 4104） | 0.15<br>（8 / 5390） | 0.15<br>（5 / 3385） |
| LST 群 | 8 | 0.48 **††<br>（21 / 4379） | 0.88**††§<br>（40 / 4551） | 1.48**††§¶<br>（70 / 4738） | 0.37††<br>（16 / 4379） | 0.15††§<br>（7 / 4551） | 0.36**††§<br>（17 / 4738） |
| SST 群 | 7 | 0.16‡<br>（4 / 2500） | 0.18 **‡‡<br>（10 / 5566） | 0.72†‡‡§¶<br>（29 / 4011） | 0.64†<br>（16 / 2500） | 0.41*††‡‡<br>（23 / 5566） | 0.72*††‡¶<br>（29 / 4011） |

数値は（対象線維数／筋線維総数），略称は表 1 と同様．*：p＜0.05，**：p＜0.01（vs C 群），†：p＜0.05，††：p＜0.01（vs H 群），‡：p＜0.05，‡‡：p＜0.01（vs LST 群），§：p＜0.05（vs 近位部），¶：p＜0.01（vs 中央部）．

復の指標となる[14]．伸張運動による筋損傷の発生頻度の結果では，壊死線維割合は LST 群が大きかった．また，中心核線維割合は SST 群が大きくなる傾向がみられた．この結果は伸張時間による筋への負荷が異なり，伸張運動時間の延長により筋損傷を発生させるリスクが高まることを示唆していると考えられる．しかし，その同部位での群間の発生率の差は 1%未満であることから，それほど大きいとは考えにくい．友利ら[7]は間歇的伸張運動を 20 秒に 1 回というサイクルで行った場合に，筋線維壊死を疑わせる所見は見当たらず，間歇的伸張運動による筋損傷はそのサイクルの速さに依存している可能性が高いと述べている．本研究においては伸張時間やその方法は異なるものの，友利らの報告と同様に 20 秒に 1 回のサイクルであったことから，重大な筋損傷は生じなかったと考えられる．

さらに本研究では，伸張運動の時間により，長軸部位間ではその影響が異なるか否かを検討した．筋線維横断面積の部位間の比較では伸張運動を行った群において，各部位間に有意差を認め，遠位部の筋線維横断面積が有意に大きかった．また壊死線維の割合においても伸張運動を行った群の遠位部においては壊死線維の割合が多い傾向にあった．Wang ら[15]は非荷重の処置後，異なる条件で再荷重を行ったヒラメ筋は部位間で筋衛星細胞，筋核，筋線維横断面積が異なることを報告しており，その相違はサルコメアの伸張度に依存していることを示唆している．加えて，サルコメアの伸張度は機械的負荷に依存し，筋の中央部と比較して近位部，遠位部のほうが大きいとも述べている．また Dix ら[16]は，筋線維の伸張はタンパク質転換の重要な因子であり，特に張力依存性の高い筋腱移行部の貢献が大きいと報告している．本研究に用いた伸張運動方法では同筋の長軸部位の中でも遠位部がより伸張されていたと推察され，それにより筋萎縮抑制効果や筋損傷の発生率も異なっていたのではないかと考えられる．また興味深い点として，SST 群では近位部から遠位方向へ筋線維横断面積の分布幅が大きい傾向を認め，短時間での伸張運動では遠位部での伸張が先んじて生じる可能性もうかがえる．Kimura ら[12]は本研究と同様の伸張運動方法により，20 分間の伸張運動を週 5 回の頻度で行い，近位部における萎縮抑制効果が最も高かったことを報告している．実施頻度や運動時間が異なる場合に，部位間の伸張度や萎縮抑制効果の相違がある可能性が考えられ，今後検討していく余地がある．

本研究の限界としてラットは四足動物であり，二足動物であるヒトとはその解剖学的形態や運動様式の違いから，本研究における結果を臨床現場で直接応用することは困難であることが挙げられる．しかし，廃用性萎縮筋に対する間歇的伸張運動の効果には時間の相違も影響し，またその効果が部位間でも異なることが示されたことは，理学療法の基礎データとして有用と考えられる．また，本研究において短時間での間歇的伸張刺激は中央部とより遠位部で筋萎縮抑制効果がみられたが，ラットヒラメ筋の廃用性筋萎縮に対し温熱負荷を行い，より近位部で筋萎縮抑制効果がみられたとの報告[17]もある．臨床への示唆としては温熱負荷と間歇的伸張運動の組み合わせや，徒手的な手技により近位部への伸張方法の工夫など，部位方法を考慮すれば廃用性筋萎縮に対しより効果的な介入ができると推測される．

本研究では，廃用性萎縮筋に対して負荷量一定の条件で異なる短時間の伸張運動を行った．筋萎縮の指標として筋線維横断面積を用い，筋線維損傷の指標として壊死線維，中心核線維の発生頻度を比較することで，廃用性萎縮筋に及ぼす影響を長軸部位別に検討することを目的とした．その結果，5 分間という短時間の伸張運動でも廃用性萎縮抑制効果が得られたこと，伸張刺激による廃用性萎縮抑制効果には部位間により相違があり，遠位ほどその効果が大きいこと，伸張運動方法により，筋損傷を惹起する可能性があり，適切な介入時間が存在することが示唆された．

## 引用文献


1) 灰田信英：廃用性筋萎縮とその予防に関する筋病理学的研究．理学療法学，1996, 23: 448-451.
2) Marimuthu K, Murton AJ, Greenhaff PL: Mechanisms regulating muscle mass during disuse atrophy and rehabilitation in humans. J Appl Physiol 1985, 2011, 110: 555-560.
3) 平野明日香, 加藤正樹：急性期病棟におけるリハビリテーション専門職の専従配置による効果と役割．理学療法ジャーナル，2015, 49: 521-527.
4) Stauber WT, Miller GR, Grimmett JG, et al.: Adaptation of rat soleus muscles to 4 wk of intermittent strain. J Appl Physiol 1985, 1994, 77: 58-62.
5) Goldspink DF: The influence of immobilization and stretch on protein turnover of rat skeletal muscle. J Physiol, 1977, 264: 267-282.
6) Yang H, Alnaqeeb M, Simpson H, et al.: Changes in muscle fibre type, muscle mass and IGF-I gene expression in rabbit skeletal muscle subjected to stretch. J Anat, 1997, 190: 613-622.
7) 友利幸之介，中野治郎，沖田　実・他：間歇的伸張運動と持続的伸張運動によるマウスヒラメ筋の廃用性筋萎縮の進行抑制効果について．理学療法科学，2004, 19: 31-35.
8) 荒木景子，沖田　実，吉田大輔・他：不動によるラット骨格筋の廃用性筋萎縮に対する持続的伸張運動と間歇的伸張運動の影響．理学療法学，2007, 34: 88-94.
9) 井上貴行，沖田　実，高橋裕司・他：不動終了後のラットヒラメ筋に対する間歇的伸張運動が関節可動域と筋線維に及ぼす影響．理学療法学，2007, 34: 1-9.
10) 木村繁文，山崎俊明，西川正志・他：伸張刺激負荷量の相違によるラットヒラメ筋の廃用性筋萎縮抑制効果への影響―筋線維タイプ別組織化学的検討―．理学療法ジャーナル，2010, 44: 721-727.
11) 西田まどか，沖田　実，福田幸子・他：持続的伸張運動と間歇的伸張運動が拘縮と筋線維におよぼす影響―関節固定法と後肢懸垂法を組み合わせたラットの実験モデルによる検討―．理学療法学，2004, 31: 304-311.
12) Kimura S, Inaoka PT, Yamazaki T: Influence of passive stretching on inhibition of disuse atrophy and hemodynamics of rat soleus muscle. J Jpn Phys Ther Assoc, 2012, 15: 9-14.
13) 山崎俊明，立野勝彦，灰田信英・他：廃用性筋萎縮の予防に対する短時間筋伸張位保持の効果．理学療法学，1994, 21: 213-217.
14) 埜中征哉：臨床のための筋病理．日本医事新報社，東京，1993, pp36-39.
15) Wang XD, Kawano F, Matsuoka Y, et al.: Mechanical load-dependent regulation of satellite cell and fiver size in rat soleus muscle. Am J Physiol Cell Physiol, 2006, 290: C981-C989.
16) Dix DJ, Eisenberg BR: Myosin mRNA accumulation and myofibrillogenesis at the myotendinous junction of stretched muscle fibers. J Cell Biol, 1990, 111: 1885-1894.
17) 宮地　諒，山崎俊明，稲岡プレイアデス千春：温熱負荷による廃用性筋萎縮進行抑制効―ラットヒラメ筋の長軸部位間での比較．理学療法ジャーナル，2013, 47: 655-658.