

ラットヒラメ筋廃用性萎縮に及ぼす 間歇的伸張運動の効果

——筋線維タイプおよび長軸部位別の検討——

*Effect of Intermittent Stretching Exercise on the Fiber Types and Muscle Segments of
the Rat Soleus Muscle in Disuse Atrophy*

上野 勝也¹⁾ 久保 あずさ^{2,3)} 宮地 諒^{2,4)} 山崎 俊明⁵⁾

KATSUYA UENO¹⁾, AZUSA KUBO^{2,3)}, RYO MIYACHI^{2,4)}, TOSHIAKI YAMAZAKI⁵⁾

¹⁾ Department of Rehabilitation, Yawata Medical Center, 12-7 Yawata I, Komatsu, Ishikawa 923-0833, Japan.
TEL+81 761-47-1212 E-mail: iijca@yahoo.co.jp

²⁾ Graduate School of Medical Sciences, Kanazawa University

³⁾ Kanazawa University Hospital

⁴⁾ Department of Rehabilitation, Saiseikai Kanazawa Hospital

⁵⁾ Institute of Medical, Pharmaceutical and Health Sciences, Kanazawa University

Rigakuryoho Kagaku 30(1): 15-20, 2015. Submitted Aug. 18, 2014. Accepted Oct. 10, 2014.

ABSTRACT: [Purpose] The purpose is the effects of intermittent stretching exercise on disuse atrophy of the rat soleus muscle with respect to sites and muscle type. [Subjects] Twenty-one 8-week-old male Wistar rats were used. [Methods] The rats were divided into 3 groups: the CON group which received standard breeding, the HS group in which disuse atrophy of the soleus muscle was induced by hind-limb suspension, and the ST group which received intermittent stretching exercise during the hind-limb suspension period. At the end of the suspension period, the soleus muscle was excised and cut into proximal, middle, and distal samples which were stained with hematoxylin-eosin and ATPase. Subsequently, the cross-sectional area (CSA) was measured. [Results] CSAs of both type I and II fibers were significantly higher in the ST group than in the HS group, and the values of the middle region were significantly higher than those of the distal region. Also, the values of the distal region were significantly higher than those of the proximal region. [Conclusion] The results suggest that atrophy of both type I and II fibers of disused muscles is inhibited by stretching, and that there are differences in effect among the longitudinal sites of the rat soleus muscle.

Key words: disuse atrophy, longitudinal sites, intermittent stretching

要旨:〔目的〕ラットヒラメ筋の廃用性萎縮進行中に間歇的伸張運動を実施し、筋線維タイプ別の筋萎縮抑制効果を長軸部位の視点から検討することを目的とした。〔対象〕Wistar系雄ラットヒラメ筋を対象とした。〔方法〕ラットに対し通常飼育するCON群、廃用性筋萎縮を惹起するHS群、実験期間中、間歇的伸張運動を行うST群の3群を設定。実験期間終了後、対象筋の近位部・中央部・遠位部で切片を作成し、HE染色を行い、ATPase染色を実施し、最後に筋線維横断面積を測定した。〔結果〕筋線維横断面積はタイプI・II線維とも全ての部位でHS群と比較し有意に高くST群の、中央部、遠位部、近位部の順に高値であった。〔結語〕タイプI・II線維ともに筋萎縮抑制効果がみられ、筋の長軸部位別にその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, 間歇的伸張運動

¹⁾ やわたメディカルセンター リハビリテーション技師部:石川県小松市八幡イ12-7(〒923-0833) TEL 0761-47-1212

²⁾ 金沢大学大学院 医薬保健学総合研究科

³⁾ 金沢大学付属病院

⁴⁾ 石川県済生会金沢病院 リハビリテーション部

⁵⁾ 金沢大学 医薬保健研究域

I. はじめに

理学療法では、廃用性筋萎縮の進行抑制と回復が求められ、筋萎縮をその進行過程において予防することは、早期回復を図る上で重要であり、臨床において早期からの荷重やベッドサイドでの運動療法が日常的に行われている。安静を維持するための活動制限や意識障害などで筋の随意収縮がない場合には筋の伸張運動が廃用性筋萎縮の抑制に有効といわれている^{2,3)}。

筋の伸張運動は骨格筋の柔軟性の維持・改善や筋緊張の改善の効果が示され、臨床では主に関節可動域改善のために用いられるものの、筋萎縮抑制効果が広く認識はされているとは言い難い。また、近年、多くの動物実験により伸張運動の廃用性筋萎縮抑制効果が報告されているが⁴⁻⁸⁾、効果的に萎縮を抑制する伸張運動方法や負荷量については未だ明らかになっていない。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、筋線維タイプの変化等、筋の適応変化が長軸部位で異なるという報告^{9,10)}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。

そこで本研究は、ラットヒラメ筋の廃用性萎縮進行中に短時間の間歇的伸張運動を実施し、筋線維タイプ別の筋萎縮抑制効果を長軸部位の視点から検討することを目的とした。

II. 対象と方法

1. 対象

対象は8週齢のWistar系雄ラット21匹(体重:232±59g)のヒラメ筋とした。なお、本研究は金沢大学動物実験委員会の承認(AP-122670)を得て行った。

2. 方法

ラットを通常飼育する群(CON群:n=7匹)、16日間の後肢懸垂処置により廃用性筋萎縮を惹起する群(HS群:n=7匹)、後肢懸垂期間中に間歇的伸張運動を行う群(ST群:n=7匹)とに振り分けた。間歇的伸張運動方法として、木村ら¹¹⁾の伸張運動方法を使用した。後肢懸垂処置¹²⁾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わせた。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の50%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1日5分間、実施した。運動実施後は、再び後肢懸垂を行って飼育を継続、実験期間は16日間とし、伸張運動は最初の1日を除く15日間毎日実施した。なお、麻酔の影響を除くため、CON群とHS群にもST群と同様に麻酔を実施した。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、摘出された組織を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で保存した。

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(10μm)を作成した。その後、筋線維の組織学的観察のためhematoxylin-eosin(以下、HE)染色を実施した。部位での病理所見の発生頻度を比較するため、各群で顕微鏡画像の観察から壊死線維を特定し、筋線維横断切片での比率(対象線維数/画像中の線維数200本以上×100)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見られるもの¹³⁾を対象として特定した(図2)。

また、筋線維タイプ分類(タイプI、II線維)のため、ルチーンATPase(pH10.4)染色を実施した。そして、顕微鏡画像をもとに画像解析ソフトウェアImage Jを用い、筋線維横断面積(cross-sectional area:CSA)を各筋200本以上測定した。

統計学的処理として、ラットの体重、ヒラメ筋の筋湿重量、筋湿重量を体重で除した相対重量比、筋長については、群間での平均値の差を一元配置分散分析後、有意差を認めた場合は、Tukeyの方法を適用して分析した。壊死線維比率、筋線維タイプ構成比率、筋横断面積に関しては、以下のように分析し、まず群および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い、有意差を認めた場合にはBonferroniの方法を用いて検定を行った。また、交互作用が認められなかった場合は、一元配置分散分析を行い、有意差を認めた場合にはTukeyの方法を用いて検定を行った。測定値は平均値±標準偏差で表し、有意水準は5%とした。

III. 結果

体重(表1)はCON群と比較し、HS群とST群で、また、HS群と比較してST群で有意な低値を示した。ヒラメ筋の筋湿重量(表1)はCON群と比較して、HS群とST群で有意な低値を示した。HS群とST群との間に有意差は認められなかった。また、体重の影響を排除

表 1 体重, 筋湿重量, 相対重量比, 筋長

群 (n)	体重 (g)	筋湿重量 (mg)	相対重量比 (mg/g)	筋長 (mm)
CON (7)	304 ± 13	117 ± 8	0.39 ± 0.03	22 ± 2
HS (7)	215 ± 22*	65 ± 10*	0.30 ± 0.06*	20 ± 1*
ST (7)	175 ± 26*#	86 ± 14*	0.44 ± 0.06#	19 ± 1*

n: 対象ラット数, *: p<0.05 (CON 群との有意差), #: p<0.05 (HS 群との有意差).

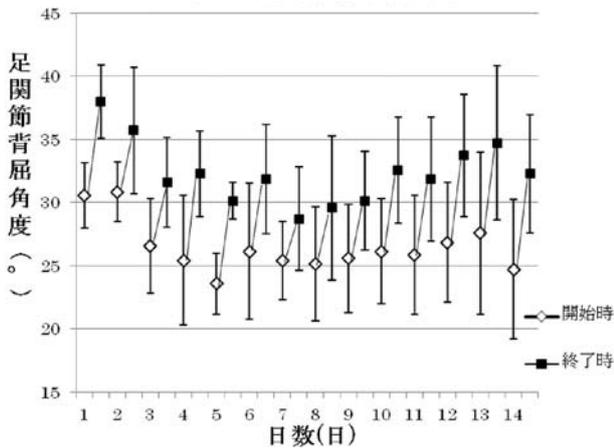


図 1 ST群の足関節背屈角度

した相対重量比 [筋湿重量 (mg) / 体重 (g)] (表 1) は, CON 群と比較し HS 群では有意な低値を示し, CON 群と ST 群との間には有意差を示さなかった. HS 群と比較して ST 群では有意な高値を示した. 筋長 (表 1) は, CON 群と比較して, HS 群と ST 群ではともに有意な低値を示した. また, HS 群と ST 群の間には有意差は示さなかった.

足関節背屈角度 (図 1) は, ST 群で背屈約 25° から 38° までの間で推移しており, その平均は背屈約 29° であった. 測定日間での比較では有意差はみられなかった. また, 運動開始時と終了時の比較においても有意差はみられなかった.

壊死線維比率 (表 2, 図 2) は, 中央部において CON 群および HS 群と比較し ST 群で有意に高い値を示した. 近位部, 遠位部において, CON 群と比較し HS 群・ST 群で増加傾向であったが有意差は認められなかった.

筋線維タイプ構成比率 (表 3) は, 中央部において CON 群と比較し ST 群で有意なタイプ I 線維の減少, タイプ II 線維の増加を示した. CON 群および ST 群と HS 群の間では有意差は認められなかった. 近位部において 3 群間に有意差は認められなかったが CON 群と比較し HS 群, ST 群ではともにタイプ I 線維の増加, タイプ II 線維の減少傾向が見られた. 遠位部においても 3 群間に有意差は認められなかったが, CON 群と ST 群では類似した比率となり, CON 群および ST 群と比較し HS 群ではタイプ I 線維は減少, タイプ II 線維は増加

表 2 壊死線維割合

群	壊死線維割合 (%)		
	近位部	中央部	遠位部
CON (7)	0.13 ± 0.22	0.13 ± 0.22	0.43 ± 0.36
HS (7)	0.61 ± 0.34	0.19 ± 0.24	0.75 ± 0.84
ST (7)	0.57 ± 0.72	1.35 ± 1.07*#	0.86 ± 1.04

n: 対象ラット数, *: p<0.05 (CON 群との比較), #: p<0.05 (HS 群との比較).

する傾向がみられた.

タイプ I・II 線維の平均 CSA (図 3, 表 4) は CON 群と比較し, HS 群, ST 群とも全ての部位で有意に低値, HS 群と比較して ST 群で全ての部位で有意に高値を示した. ST 群内ではタイプ I・II 線維とも, CSA の値は中央部で最も大きく, 近位部と比較して遠位部で有意に高値を示した. 部位別 CSA の平均値の変化率は, タイプ I 線維において CON 群と比較し HS 群, ST 群は近位部ではそれぞれ 58%, 38% の減少を, 中央部ではそれぞれ 50%, 21% の減少を, 遠位部では CON 群と比較し HS 群, ST 群はそれぞれ 50%, 35% 減少した. タイプ II 線維において近位部ではそれぞれ 55%, 36% の減少を, 中央部ではそれぞれ 54%, 27% の減少を, 遠位部ではそれぞれ 47%, 24% の減少を示した.

IV. 考 察

足関節背屈角度を, 本研究では木村ら¹¹⁾の使用した装置と同様のものを用いてヒラメ筋を他動的に伸張させて計測した結果, 伸張刺激負荷量が運動前後や日間によって異なることが想定された. そこで伸張運動開始時と終了時の足関節背屈角度を毎回測定した結果, 設定した日に中間や伸張運動の前後ともに有意差は認められず, 背屈角度に大きな変動はみられなかった. よって, 最大背屈時位での伸張負荷は実験期間中, 概ね一定であったと考えられる.

筋萎縮の指標とした筋線維横断面積は, 近位部, 中央部, 遠位部すべてにおいてタイプ I・II 線維ともに, ST 群で HS 群と比較し, 有意に高値を, ST 群内で中央部で最も大きく, 近位部と比較して遠位部で有意に高値を示した. 木村ら¹¹⁾は本研究と同様の伸張運動を体重の

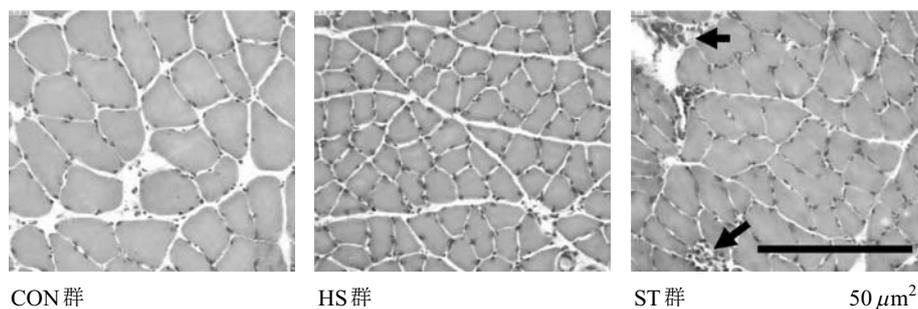


図2 各群中央部の代表的HE染色像
(矢印は壊死線維)

表3 筋線維タイプ構成比

群	タイプ I (%)		
	近位部	中央部	遠位部
CON (7)	81.0 ± 9.5	82.6 ± 4.9	80.8 ± 5.8
HS (7)	84.2 ± 9.5	79.6 ± 3.1	77.0 ± 7.3
ST (7)	84.6 ± 3.8	75.1 ± 3.8*	81.9 ± 8.3
群	タイプ II (%)		
	近位部	中央部	遠位部
CON (7)	19.0 ± 9.5	17.4 ± 4.9	18.9 ± 5.8
HS (7)	15.8 ± 9.7	20.5 ± 3.0	23.0 ± 7.3
ST (7)	15.5 ± 3.7	24.9 ± 3.8*	18.1 ± 8.3

表4 筋線維横断面積

群	タイプ I (μm ²)		
	近位部	中央部	遠位部
CON (7)	1874 ± 524	2079 ± 621*#	1961 ± 982*#
HS (7)	709 ± 361*#	1047 ± 549*#	985 ± 070*#
ST (7)	1170 ± 090*#	1639 ± 495*#	1273 ± 768*#
群	タイプ II (μm ²)		
	近位部	中央部	遠位部
CON (7)	1562 ± 564*#	2162 ± 753*#	1703 ± 870*#
HS (7)	706 ± 805*#	983 ± 870*#	901 ± 986*#
ST (7)	995 ± 906*#	1581 ± 046*#	1297 ± 743*#

n: 対象ラット数, *: p<0.05 (CON 群との比較),
#: p<0.05 (HS 群との比較).

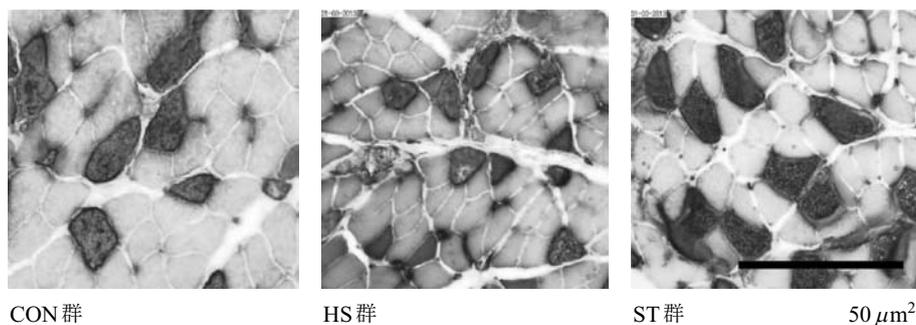


図3 各群中央部の代表的ATPase染色(pH10.4)像
淡染部はタイプ I 線維, 濃染部はタイプ II 線維を示す.

1/3 負荷量で実施し, タイプ I 線維で筋萎縮抑制効果がみられたがタイプ II 線維では効果を認めず, 筋線維タイプによる伸張刺激への反応の相違を報告している. 本研究ではタイプ I・II 線維ともに ST 群では HS 群よりも有意に高値を示し, 体重量の 50% 負荷量ではタイプ II 線維においても筋萎縮抑制効果のあることが示唆される.

本研究の体重量の 50% 負荷量では筋の中央部で有意な筋萎縮抑制効果がみられ, 壊死線維割合も中央部で有

意に高値となった. 一方で壊死線維において, 先行研究^{14,15)}では間欠的伸張運動により筋損傷が惹起されることが報告されており, その安全性を疑問視する見解も示されている. また, 廃用性萎縮筋に対し等尺性収縮を行った例¹⁶⁾では, 廃用性萎縮筋は運動負荷に対する許容範囲が小さく, より強度な運動課題を行うほど筋線維肥大がおこるとは限らない. しかし, 木村ら¹¹⁾は, 体重量の 1/3, つまり 33% と 100% の負荷量にて間欠的伸張運動を実施し, 筋萎縮抑制効果について伸張刺激負荷

が大きいほど筋損傷も生じるが、萎縮抑制効果が高かったと述べている。本研究では臨床上、体重量の負荷を徒手的に加え続けることは困難と考え体重の50%負荷量にて伸張運動を行ったが、本研究の負荷量では筋萎縮抑制効果、壊死線維割合ともに筋の中央部で有意に大きかったことから、体重量以下での間欠的伸張運動では筋損傷も生じるが、その割合が大きいほうが萎縮抑制効果も大きいと考えられる。また、我々の未発表データでは同様な伸張方法（体重量の100%負荷）で筋の遠位部でより大きな筋萎縮抑制効果を示し、本研究の体重量の50%負荷量では筋の中央部でより大きな萎縮抑制効果がみられたことから負荷量による筋萎縮抑制効果の長軸部位別の違いが示唆される。また、タイプI・IIとも近位部の面積と比較し遠位部の面積の方が有意に高値を示していた。DiXら¹⁷⁾は筋の伸張刺激に対する筋線維および腱線維の影響を組織学的および遺伝子学的に分析し、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おり、本研究においても筋腱移行部により近い遠位部の方が近位部よりも筋萎縮抑制効果が高かったと考えられる。

筋線維タイプ構成比は、中央部においてST群ではCON群と比較し、タイプI線維は有意に低値を、タイプII線維は有意に高値を示し、タイプI線維からタイプII線維への変化が大きかった。またHS群においても同様の傾向がみられた。近位部および遠位部では、群間で有意差がみられなかった。この点に関しては、壊死線維割合の結果と関係していることも考えられるが、因果関係については今後の検討課題である。先行研究¹⁸⁾より筋線維はそのタイプによって感受性が異なることや、非荷重の影響や荷重による筋萎縮抑制効果を検証した研究^{5,16)}においても、荷重時間や間隔によって筋線維タイプ別にその効果が異なることが報告されている。本研究においても、部位による筋萎縮抑制効果の相違がみられ、伸張刺激に対する感受性は筋線維タイプおよび長軸部位により異なる可能性が推測される。つまり、筋線維タイプ比率や長軸部位の違いによって伸張運動による萎縮抑制効果が異なることが示唆される。

筋線維タイプ構成比は、中央部においてST群ではCON群と比較し、タイプI線維は有意に低値を、タイプII線維は有意に高値を示し、タイプI線維からタイプII線維への変化が大きかった。またHS群においても同様の傾向がみられた。近位部および遠位部では、群間で有意差がみられなかった。この点に関しては、壊死線維割合の結果と関係していることも考えられるが、因果関係については今後の検討課題である。先行研究¹⁸⁾より筋線維はそのタイプによって感受性が異なることや、非荷重の影響や荷重による筋萎縮抑制効果を検証した研究^{5,16)}においても、荷重時間や間隔によって筋線維タ

イブ別にその効果が異なることが報告されている。本研究においても、部位による筋萎縮抑制効果の相違がみられ、伸張刺激に対する感受性は筋線維タイプおよび長軸部位により異なる可能性が推測される。つまり、筋線維タイプ比率や長軸部位の違いによって伸張運動による萎縮抑制効果が異なることが示唆される。

本研究は動物実験であり、4足動物であるラットと2足動物であるヒトとは解剖学的形態や運動様式の違いによるものから、本研究方法における運動を直接応用することは困難である。しかし、廃用性筋萎縮に対する伸張運動には適切な運動方法（時間、負荷量、部位）があるとの示唆や体重量の50%という体重以下の負荷量でも廃用性筋萎縮抑制効果がみられたことは、理学療法の基礎データとして有用と考えられる。また、臨床への示唆として、本研究において、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。宮地ら¹⁹⁾は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報告している。これらの結果から、長軸部位別に応じた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。さらに、本研究では実験期間は16日間であり、この期間中の筋線維の病理学的・組織学的変化を経時的には観察しておらず、筋線維横断面積や筋線維タイプの変化、筋線維損傷の発生時期などは特定できていない。また、この期間を超えて経過した際の伸張運動の効果や廃用性筋萎縮の程度も不明であり、今後は、筋線維の病理学的・組織学的変化の経時的な観察や廃用性筋萎縮後の筋に対する伸張運動の影響も調べていくことが必要である。

謝辞 本研究はJSPS科研費24500575の助成を受けたものです。

引用文献

- 1) 山内秀樹, 米本恭三: 廃用性筋萎縮に対する等尺性運動の加齢の影響. *リハ医学*, 1997, 34(1): 46-51.
- 2) 鈴木重行, 肥田朋子, 伊神玲子・他: IDストレッチングとは. 鈴木重行(編), *IDストレッチング—個別的筋ストレッチング—*, 三輪書店, 東京, 1999, pp15-25.
- 3) Goldspink DF: The influence of immobilization and stretch on protein turnover of rat skeletal muscle. *J Physiol*, 1977, 264(1): 267-282.
- 4) 塩本祥子, 山崎俊明, 山口倫加: ストレッチ週内頻度がラットヒラメ筋の廃用性筋萎縮に及ぼす影響. *石川県理学療法学雑誌*, 2001, 1(1): 3-6.
- 5) Gomes A, Cornachione A, Salvini TF, et al.: Morphological effects of two protocols of passive stretch over the immobilized rat soleus muscle. *J Anat*, 2007, 210(3): 328-335.
- 6) Aqata N, Sasai N, Inoue-Miyazu M, et al.: Repetitive stretch

- suppresses denervation-induced atrophy of soleus muscle in rats. *Muscle Nerve*, 2009, 39(4): 456-462.
- 7) 縣 信秀, 笹井宣昌, 宮津真寿美・他: ラットヒラメ筋の廃用性萎縮に対する周期的伸張刺激の抑制効果. *理学療法科学*, 2006, 33(1): 355-355.
 - 8) 井上貴行, 沖田 実, 高橋祐司・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. *理学療法科学*, 2007, 34(1): 1-9.
 - 9) 山内秀樹, 田端淳一, 遠藤千草・他: ラット足底筋の組織学的特性と非荷重による変化—長軸方向での部位間での比較—. *リハ医学*, 2001, 8(10): 832-838.
 - 10) 西川正志, 山崎俊明, 都志和美: 再荷重がラットヒラメ筋廃用性萎縮の回復に及ぼす影響—筋の部位による相違—. *理学療法科学*, 2011, 26(1): 133-137.
 - 11) 木村繁文, 山崎俊明, 西川正志: 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—. *PTジャーナル*, 2010, 44(8): 721-727.
 - 12) 山崎俊明, 立野勝彦, 灰田信英・他: 麻酔下における短時間筋伸張位保持がラットの廃用性筋萎縮予防に及ぼす効果. *PTジャーナル*, 1995, 29(2): 135-138.
 - 13) 埜中征哉: 筋の再生. *筋病理学*, 檜澤一夫, 埜中征哉, 他(編), 文光堂, 東京, 1989, pp61-68.
 - 14) 友利幸之介, 中野治郎, 沖田 実・他: 間欠的伸長運動と持続的伸長運動によるマウスラット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(1): 31-35.
 - 15) Stauber WT, Miller GR, Grimmer JG, et al.: Adaptation of rat soleus muscles to 4wk of intermittent strain. *J Appl Physiol*, 1994, 77(1): 58-62.
 - 16) 中野治郎, 沖田 実, 吉村俊明・他: 廃用性萎縮筋の機能回復に対する等尺性収縮運動の負荷量の影響. *理学療法の医学的基礎*, 1998, 2(2): 9-14.
 - 17) Dix DJ, Eisenberg BR: Myosin mRNA accumulation and myotendium junction of stretched muscle fibers. *J Cell Biol*, 1990, 111(5): 1894-1985.
 - 18) 山崎俊明: 筋力改善の理学療法. *筋機能改善の理学療法とそのメカニズム*第3版. 望月 久, 山田 茂(編), ナップ, 東京, 2014, pp54-84.
 - 19) 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果—ラットヒラメ筋の長軸部位間での比較—. *PTジャーナル*, 2013, 47(7): 655-658.