

原 著

## ノルディックハムストリングスエクササイズ における下肢筋の筋電図学的分析

岩 下 篤 司

四條畷学園大学リハビリテーション学部

吉 川 卓 志

市立奈良病院リハビリテーション室

### キーワード

ハムストリングス・筋電図・遠心性収縮

### 要 旨

下肢傷害予防プログラムの一つであるノルディックハムストリングスエクササイズ（以下、NH）は、ハムストリングスの伸張性筋力トレーニングであり、特別な設備を必要としない有用なトレーニング法である。本研究の目的は、NHにおける膝関節の角度変化と、足関節角度条件（背屈位と底屈位）による筋活動への影響を明確にし、トレーニング方法の一助とすることである。対象は健常成人8名とした。測定筋は右側の大腿直筋、半腱様筋、大腿二頭筋長頭、腓腹筋内側頭、腓腹筋外側頭、ヒラメ筋、前脛骨筋の7筋とした。半腱様筋と大腿二頭筋長頭、およびヒラメ筋は、70～60°で、腓腹筋内側頭と腓腹筋外側頭、および前脛骨筋は、60～50°で最も筋活動量が高かった。足関節条件においては、半腱様筋とヒラメ筋は、背屈位よりも底屈位で筋活動量が高く、反対に、前脛骨筋は底屈位よりも背屈位で筋活動量が高かった。

### 1. はじめに

スポーツ傷害は、救急医療における急性傷害のうち10～19%を占め、膝関節と足関節が最も多い<sup>1)</sup>と報告されている。深刻な膝傷害の一つである前十字靭帯損傷は、成長期が発症メカニズムに関与しているとされ、思春期におけるフットボールやバスケットボール、ハンドボールのような軸回転スポーツ中にて発生頻度は高いと報告されている。さらに女性は身体的特徴(骨盤帯の大きさ、下肢アライメント、筋力比、ホルモン等)により膝損傷発生率は男性の4～6倍と報告されている<sup>2-4)</sup>。前十字靭帯損傷は外科的処置などを含め長期間のリハビリテーションを必要とする。しかしながら、外科的治療方法やリハビリテーション技術は確実に進歩しているものの、前十字靭帯断裂後の再建や軟骨損傷を罹患した患者が、変形性膝関節症を発生する発生率は正常者と比較し10倍まで拡大している。それゆえ、傷害前に予防できるように効果的な傷害予防プログラムの進歩が必要とされてきた。

1990年後半から2000年前半にかけて、柔軟性や筋力、バランスや協調性、スポーツテクニックなどを含めた、傷害予防プログラムの開発や臨床応用が進められてきた<sup>5-10)</sup>。近年、ノルウェーのハンドボール協会によって編成された下肢傷害予防プログラムは、1,837名の一流ハンドボール選手を対象に1シーズンを通じた具体的な効果を挙げている<sup>5)</sup>。その予防プログラムの中でノルディックハムストリングスエクササイズ（以下、NH）が特徴的であったが、これはハムストリングスの伸張性筋力トレーニングであり、Mjøl̄snesら<sup>6)</sup>により報告されている。特別な設備を必要とせず、フィールド(現場)でもパートナー・トレーニングにて遠心性訓練を可能にさせた方法である。開始肢位は、膝立ち位にてパートナーが足部を固定し、そこから前方へゆっくりと倒れこみながら、ハムストリングスの遠心性収縮を行う。その後、床面へ両上肢にて接地し、すぐさま開始肢位まで戻り動作を反復する方法である(図1)。この訓練の有用性としてMjøl̄snesら<sup>6)</sup>は、十分にトレーニングされている

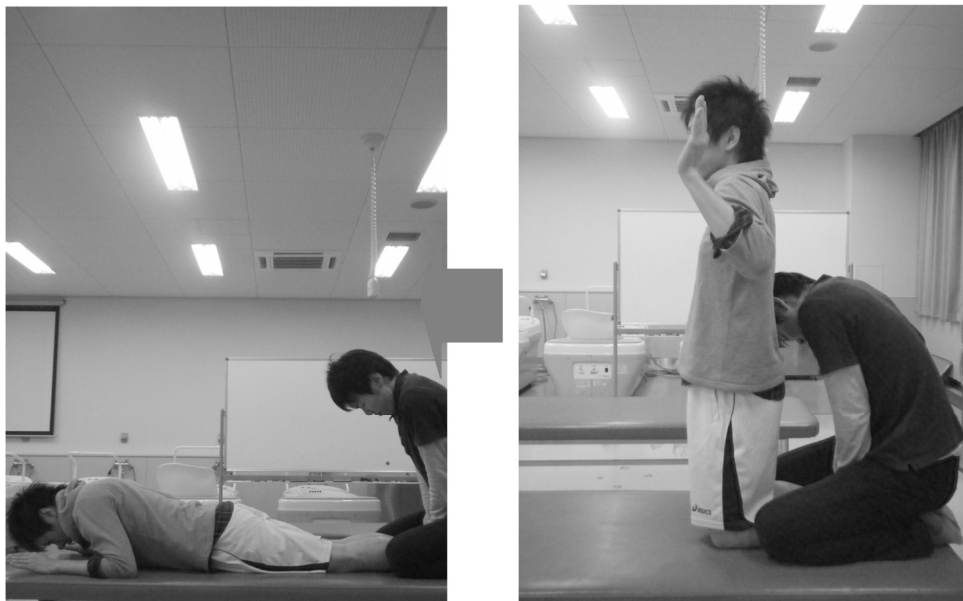


図1 ノルディック・ハムストリングスエクササイズ法

- ①膝立ち位になり、補助者は足部を保持・固定する
- ②前方へゆっくりと倒れこみながら、ハムストリングスの遠心性収縮を行う

サッカー選手でさえハムストリングスの遠心性筋力は弱いという事実と、この訓練方法によって遠心性筋力が増加した結果を報告している。

このNH法を臨床やスポーツ現場において利用するにあたり、その特性を理解しておくことが望ましい。しかし、膝関節角度の違いや、膝の接地位置と足関節角度の変化によって下肢筋の筋活動量がどのように変化するか、またヒラメ筋の筋活動が、ハムストリングスや腓腹筋の筋活動とどのように異なるのかについては明確にされていない。そこで本研究の目的は、本研究の目的は、NHにおいて膝関節の角度変化、および膝の接地位置と足関節角度の変化による筋活動特性を明確にすることである。

## 2. 方 法

対象は下肢の関節及び体幹に傷害の既往のない健康成人8名(年齢  $22.6 \pm 2.9$  歳, 身長  $167.4 \pm 8.7$  cm, 体重  $60.1 \pm 12.5$  kgt)とした。各被検者に対して本研究の目的および内容を十分に説明し研究参加への同意を得た。また、本研究は市立奈良病院倫理委員会の承認を得て行われた。

筋電図の測定筋は右側の大腿直筋, 半腱様筋, 大腿二頭筋長頭, 腓腹筋内側頭, 腓腹筋外側頭, ヒラメ筋, 前脛骨筋の7筋とした。表面筋電図を導出するため電極中心間距離 20 mm のプリアンプ内臓電極(直径 8 mm)

を筋線維の走行に沿って貼付した。電極貼付部の皮膚抵抗は事前に処理した。また電気角度計を膝関節に装着し筋電図と同期化した。

筋電図の測定には、TRIAS (DKH 社製) を使用し、AD 変換器を通じてサンプリング周波数 1000 Hz でパーソナルコンピュータに入力・保存後、整流し二乗平均平方根 (Root Mean Square) にてサンプリングデータの平均値(以下、RMS とする)を求めた。各筋の最大等尺性収縮の筋活動を 100%として振幅を正規化し% RMS を算出した。なお、各筋の最大等尺性収縮は、徒手筋力検査法の正常の段階の検査手技<sup>1)</sup>を用い、各筋の最大等尺性収縮時の筋活動を3秒間測定した。

NH は、膝立ち位にて補助者が足部を把持固定した後、前方へ倒れこむハムストリングスの遠心性筋力訓練である(図1)。運動条件は膝の接地位置にて、足関節の角度を背屈  $0^\circ$  と最大底屈位の2種類とした。開始から床接地までを5秒間にて施行するように規定した。足部の固定はベット着用のベルトを使用し固定した。全ての試行は1日で行い、各試行間には3分間程度の休息を入れた。

開始時から動作中の筋電図のモニタリングを行い、安定した各動作の筋活動量の導出が確認された後、各動作終了の指示が口頭で行われた。まず、一般的な訓練方法である底屈位のデータを用い、膝関節角度の違いによる筋活動量を確認するため電気角度計を基準に、膝関節  $90$

～80°, 80～70°, 70～60°, 60～50°, 50～40°, 40～30°の6相に分類し, %平均RMSを求めた. 次に, 足関節の角度の違いによる違いについて, 電気角度計を基準に膝関節90°から20°までのRMSをデータとして用い%平均RMSを求め, 比較を行った. 統計処理には, 角度の違いについてはKruskal-Wallis検定, Steel-Dwaisの多重比較を用い, 足関節の角度の違いについては, Wilcoxon符号付順位和検定を用い分析した.

### 3. 結 果

#### 1. 膝関節の角度変化による違いについて (図2)

大腿直筋を除く, 全ての筋で膝関節の角度変化による影響を認めた. 半腱様筋と大腿二頭筋長頭, およびヒラメ筋は, 70～60°で最も筋活動量が高く, 半腱様筋と大腿二頭筋長頭は115-168%, ヒラメ筋は30%を示した. 腓腹筋内側頭と腓腹筋外側頭, および前脛骨筋は, 60～50°で最も筋活動量が高く, 腓腹筋は50～65%, 前脛骨筋は30%を示した.

#### Kruskal-Wallisの結果

	F値	P値
大腿直筋	0.8	0.53
半腱様筋	3.6	P<0.01
大腿二頭筋	4.1	P<0.01
腓腹筋内側頭	5.5	P<0.01
腓腹筋外側頭	3.4	P<0.05
ヒラメ筋	4.9	P<0.01
前脛骨筋	3.2	P<0.05

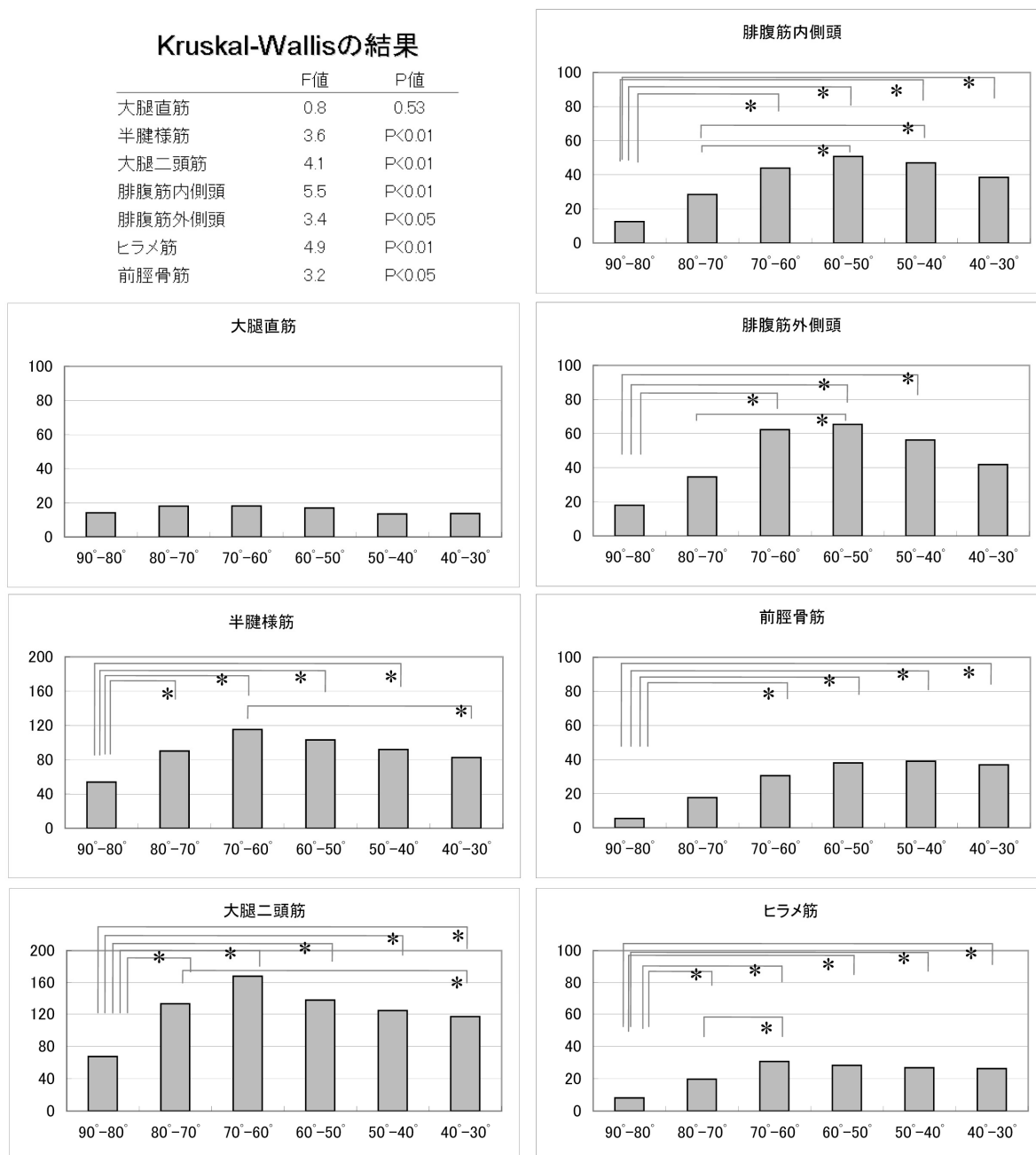


図2 膝関節角度変化による各筋の筋活動量

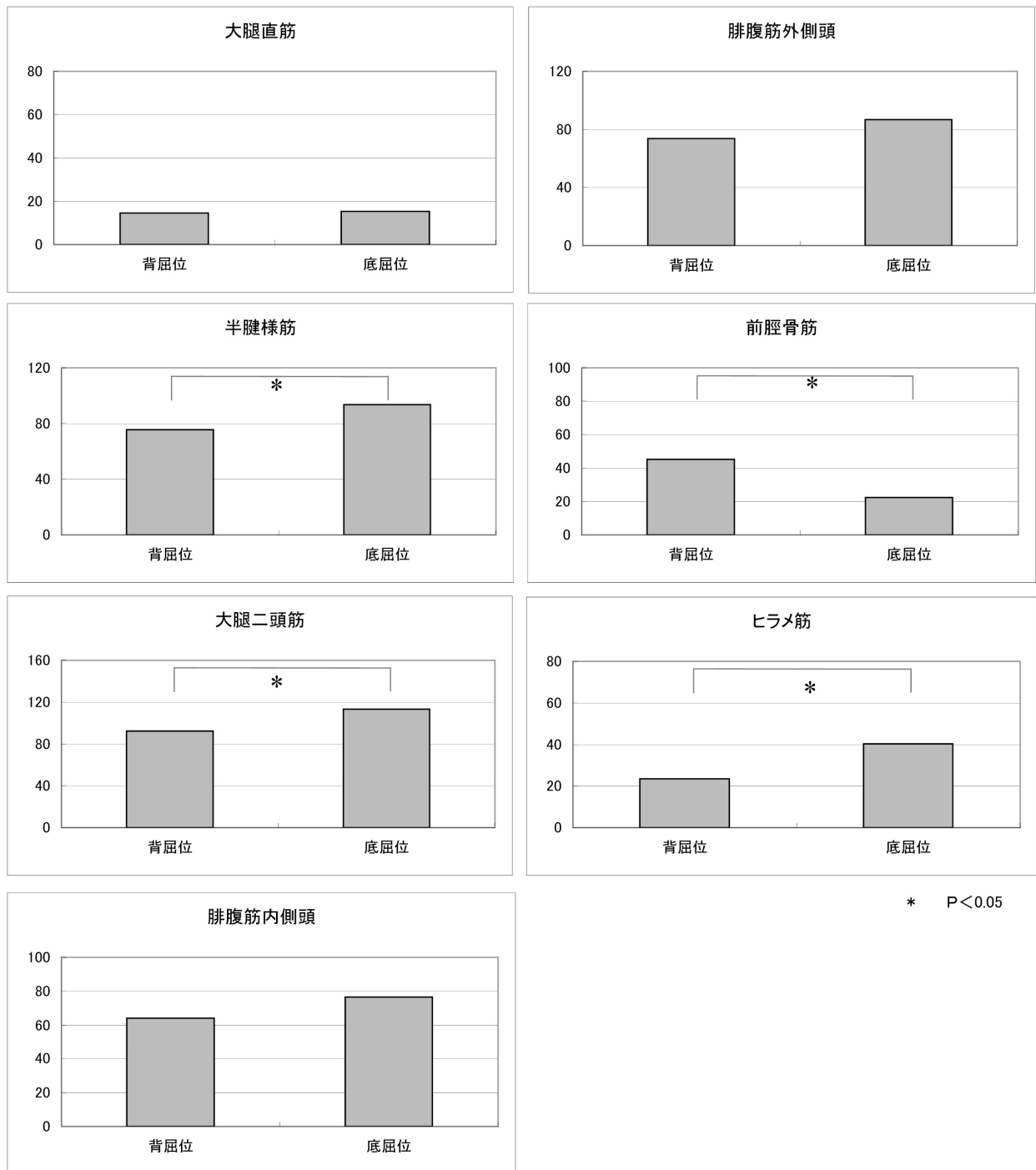


図3 足関節背屈位と底屈位の違いによる各筋の筋活動量

2. 足関節背屈位と底屈位による違いについて (図3)

大腿四頭筋の筋活動量は、14.5～15.3%、ハムストリングスは75.6～113.4%、腓腹筋は64.2～86.8%、ヒラメ筋は23.5～40.3%、前脛骨筋は22.4～45.2%の筋活動量を示した。検定の結果、半腱様筋と大腿二頭筋、ヒラメ筋と前脛骨筋は、足関節の角度変化による影響を認め、半腱様筋とヒラメ筋は、背屈位よりも底屈位で筋活動量

が高かった。反対に、前脛骨筋は底屈位よりも背屈位で筋活動量が高かった。

4. 考 察

本研究では、NHにおける膝の角度変化による筋活動量の違いと、足関節背屈位と底屈位の違いによる筋活動への影響を検討した。その結果、膝関節の角度変化にお

いては、膝屈曲角が大きいほどハムストリングスが強く活動し、膝屈曲角が小さくなるほど腓腹筋の活動が高くなった。ハムストリングスは膝関節屈曲作用と股関節伸展作用がある二関節筋であり、NHにおいては遠心性の膝屈曲作用として主に活動する<sup>6)</sup>。ハムストリングスは、ジャンプ着地や、減速動作から停止動作において前十字靭帯に拮抗する筋として作用するため、強力なハムストリングスは靭帯損傷の予防を可能にする。腓腹筋は足関節底屈作用と膝関節屈曲作用がある二関節筋であり、荷重姿勢では足関節底屈作用のほうが主であるも、肢節遠位部の固定条件などによっては、膝関節屈曲作用も重要な役割とされる。ハムストリングと同様に、膝関節への前方剪断力に拮抗する役割も重要視され、前十字靭帯損傷のリハビリテーションにおいても考慮すべき筋である。今回、ハムストリングスが膝屈曲角 70~60°で活動が高かったのは、筋線維長とモーメントアームの関係で有利に働きやすい角度であったためと考えられた。また、腓腹筋について、亀田ら<sup>12)</sup>によると足関節固定状態では膝伸展域にて筋活動量は高くなると報告されており、今回の結果を指示するものと考えられた。膝関節の角度によって活動量を変化させる結果は、スポーツの動作特性に合わせたトレーニングを行う場合に考慮すべきと考えられた。

ハムストリングスの損傷は多くのスポーツにおいて共通の問題であり、加速性の高い動作や最大身体活動の際に認められる。発生率は、ランナーで11%、フットボールで16-23%と報告され、サッカーにおいては7%であるが、近年12~17%へと増加している<sup>6)</sup>。それは近代サッカーが、より攻撃的で身体へのダメージが大きくなっていくことと関係している。さらに、アスリートが引退した後でも日常生活に影響を残すとされている<sup>5)</sup>。NHを含めた予防トレーニングの導入は、アスリートの受傷率を減らし、その後のQOL向上に有効であると考えられる。

そのNHは、Mjøl̄snesら<sup>6)</sup>が示すように足関節底屈位で行う方法が一般的である。しかし、それには十分な背景があるわけではない。そのため今回、足関節を背屈位とし爪先を接地させた肢位では筋活動にどのように影響するかを検討した。今回の結果では、半膜様筋と大腿二頭筋、ヒラメ筋は足関節の影響を受けやすい特性を示した。反対に、腓腹筋は足部の変化が生じて影響が少なかった。ハムストリングスは足関節底屈位のほうが筋活動量は高い結果となった。今回の訓練方法において、

足関節の角度が影響することが確認されたが、背屈位にて荷重面が地面と接触しているようなClosed kinetic chainに近い肢位よりも、底屈位でハムストリングスの筋活動が高かったことは、膝関節伸展動作にてハムストリングスが遠心性活動を行っているときに、足関節が底屈位で床面に接地しているほうが、より固定性が高くなり、膝関節での出力が安定するためであると考えられた。つまり、爪先接地にすることにより足部不安定となるほうが不利益であると考えられた。NHを行う場合は肢位による影響を考慮することが必要であり、底屈位で介助者による固定を十分に行うことで訓練効果が高いと考えられた。

## 5. まとめ

- ・ハムストリングスの伸張性筋力トレーニングであるノルディックハムストリングスエクササイズにおける膝関節の角度変化と、足関節角度条件(背屈位と底屈位)による筋活動への影響を検討した。
- ・測定筋は右側の大腿直筋、半腱様筋、大腿二頭筋長頭、腓腹筋内側頭、腓腹筋外側頭、ヒラメ筋、前脛骨筋の7筋とした。
- ・半腱様筋と大腿二頭筋長頭、およびヒラメ筋は、70~60°で、腓腹筋内側頭と腓腹筋外側頭、および前脛骨筋は、60°~50°で最も筋活動量が高かった。
- ・半腱様筋とヒラメ筋は、背屈位よりも底屈位で筋活動量が高く、反対に、前脛骨筋は底屈位よりも背屈位で筋活動量が高かった。

## 6. 謝 辞

本研究に際してご協力いただいた皆様に深甚なる謝意を表します。

## 7. 文 献

- 1) Kjar M, Krogsgaard M, Magnusson P, Engebretsen L, et al : Textbook of sports medicine. Basic science and clinical aspects of sports injury and physical activity. Blackwell Science:299-314, 2003
- 2) Arendt E, Dick R. : Knee injury patterns among men and women in collegiate basketball and soccer. NCAA data and review of literature. Am J Sports Med 23:694-701, 1995
- 3) Myklebust G, Maehlum S, Engebretsen L, et al: Registration of cruciate ligament injuries in

- Norwegian top level team handball. A prospective study covering two seasons. *Scand J Med Sci Sports* 7:289-92, 1997
- 4) Powell JW, Barber-Foss KD. : Sex-related injury patterns among selected high school sports. *Am J Sports Med* 28:385-91, 2000
  - 5) Olsen OE et. al : Exercises to prevent lower limb injuries in youth sports: cluster randomised controlled trial. *BMJ* 26;330 (7489):449, 2005
  - 6) Mjøl̄snes R et. al : A 10-week randomized trial comparing eccentric vs. concentric hamstring strength training in well-trained soccer players. *Scand J Med Sci Sports*. 14(5):311-7, 2004
  - 7) Hewett TE, et. al. : The effect of neuromuscular training on the incidence of knee injury in female athletes. A prospective study. *Am J Sports Med* 1999;27:699-706.
  - 8) Caraffa A, Cerulli G, Projetti M. Prevention of anterior cruciate ligament injuries in soccer. A prospective controlled study of proprioceptive training. *Knee Surg Sports Traumatol Arthroscopy* 4:19-21, 1996
  - 9) Bahr R, Lian O, Bahr IA. : A twofold reduction in the incidence of acute ankle sprains in volleyball after the introduction of an injury prevention program: a prospective cohort study. *Scand J Med Sci Sports* 7:172-7, 1997
  - 10) Myklebust G, Engebretsen L, Braekken IH. : Prevention of ACL injuries in female team handball players-a prospective intervention study over three seasons. *Clin J Sport Med* 13:71-8, 2003
  - 11) Hislop HJ, Montgomery J : 新・徒手筋力検査法 津山直一(訳), 共同医書出版, 1996, pp 202-221
  - 12) 亀田修一, 市橋則明 : 膝および足関節角度が足関節底屈トルクと下腿三頭筋の筋活動に及ぼす影響について. *理学療法学* 28. 111 (Suppl), 2001

## Electromyographic Analysis of Lower Extremities during Nordic hamstrins exercise.

Atsushi iwashita

Shijonawate Gakuen University Faculty of Rehabilitation

Takushi Yoshikawa

Nara city hospital department of rehabilitation

### Abstract

The purpose of study was to determine the effect of two ankle position and to compare between to change knee angle during Nordic hamstrings exercise (NH) on the muscle activity of the lower extremities. Eight healthy subjects (mean age  $22.6 \pm 2.9$  years) participated in this study. Electromyographic activity during NH was measured in the rectus femoris, semitendinosus, biceps femoris, gastrocnemius medialis, gastrocnemius lateralis, soleus, tibialis anterior. NH was performed under the following two ankle position, i.e .ankle dorsiflexion  $0^\circ$  angle and ankle plantarflexion maximum angle.

Muscle activity of semitendinosus, biceps femoris, soleus was significantly greater at  $70^\circ \sim 60^\circ$  knee angle. Muscle activity of gastrocnemius medialis, gastrocnemius lateralis, tibialis anterior was significantly greater at  $60^\circ \sim 50^\circ$  knee angle. Muscle activity of semitendinosus and soleus was significantly greater at ankle plantarflexion maximum angle than ankle dorsiflexion  $0^\circ$  angle. the contrary, Muscle activity of tibialis anterior was significantly greater at ankle dorsiflexion  $0^\circ$  angle.