低速高トルクモーターを利用したPNFストレッチングシステムの試作

○東 章 弘 (福井工業高等専門学校一般科目教室 (自然科学系))

松井 一洋 (福井工業高等専門学校一般科目教室 (自然科学系))

Prototype of a PNF Stretching System Using a Low-Speed High-Torque Motor

Akihiro AZUMA (National Institute of Technology, Fukui College, Course of General Education),

Kazuhiro MATSUI (National Institute of Technology, Fukui College, Course of General Education)

1. はじめに

PNF (proprioceptive neuromuscular facilitation) ストレッチングは固有受容体の神経生理学的作用を利用して関節可動域を増大させるストレッチング法のひとつであり、理学療法やスポーツの場において広く用いられている。その手法では、標的筋や拮抗筋の収縮を刺激とし、腱紡錘(ゴルジ腱器官)や筋紡錘の反射による自己抑制や相反抑制を利用するが¹⁾、いずれも筋収縮を導く負荷を得る上でパートナーの助力を必要とする。

パートナーにはPNFストレッチングの手技を理解して安全に実施するための訓練が求められるが、低速高トルクモーターによって(関節の回転運動として)パートナーの助力を機械的に与えるシステムが開発されれば、パートナーを要せずしてPNFストレッチングを実施することができる。

したがって、本研究の目的は、低速高トルクモーターを利用したPNFストレッチングシステムを試作し、それを用いて得られるストレッチングの効果と使用感についての知見を得ることであった。

2. 方法

被験者は、下肢に整形外科的障害のない健康な男子学生5名であった(平均±SD; 年齢: 18.2±0.4歳, 身長: 174.4±9.2 cm, 体重: 61.6±6.3 kg)。

試作したPNFストレッチングシステム(以下、本システム)には、回転トルクが157 Nm, 制動トルクが1470 Nm, 回転速度が6度/秒の低速高トルクモーター(Creative Design製, RC5A)を用い、それをベッド上で仰臥位となる被験者の左側に、且つ、大転子が回転中心となるように配置した。また、被験者はモーター軸とともに回転するアームの台座に下肢(片側)を置き(図1)、トグルスイッチを用いて被験者自身がモーターを駆動した(モーターは正逆どちらにも回転; ON-OFF-ON, バ

ネ戻り式)。それにより、受動的な下肢伸展挙上(Straight leg raising; SLR)を可能とした。

本研究では、PNFストレッチングの手技をHold relax (HR)に定め、ハムストリングスの等尺性収縮や筋を弛緩させた伸長を(パートナーの代替として)本システムを用いて被験者自身に行わせた。HRは標的筋の筋収縮によってゴルジ腱器官が伸長を感知することで生じる自己抑制(Ib抑制)を利用した手技である¹⁾。

まず、被験者はパートナーの手技によるHRを右脚のSLRで体験し、本システムによって実施すべきHRの手順を理解した。次に、被験者は左脚を台座に寄せ、モーターの駆動によって痛みを感じる手前まで脚を挙上させ(SLR)、その状態で10秒間の予備伸長^{2,3)}を行った。続けて被験者は、ハムストリングスの等尺性収縮を6秒間行い⁴⁾、その後、筋を弛緩させ、モーター駆動によってさらに脚部を挙上させて、痛みを感じる手前で停止させた(姿勢保持10秒^{5,6)})。これを3回繰り返した^{4,5)}。

予備伸長時と最終的な脚挙上時において右矢状面の写真(JPEG画像)をそれぞれ撮影し、この画像から左足関節外踝、右大転子、右足関節外踝の2次元座標を取得して、ストレッチング前後の腰関節角度を調べた。また、パートナーが行った場合(右脚のSLR)と比較する観点で、本システムの使用感を質問紙法により調査した。

3. 結果

本システムによるストレッチング前の腰関節角度は49.5~81.4度と、柔軟性は被験者によって大きく異なっていたが、ストレッチング後にすべての被験者の角度は増大し(+14.3~+31.6度; 25.6±6.6度)、柔軟性の一過性の改善が一様に認められた。

一方、質問紙の選択回答から、本システムはパートナーが行ったPNFストレッチングに比べて「簡単」と回答した者が3名、「同等」が2名であった(「難しい」と回答した被験者は皆無)。

図1 PNFストレッチングシステムの使用例

「簡単」と回答した被験者は、記述回答において自分一人でPNFストレッチングができることやパートナーに気兼ねなくできることを示した。

「同等」と回答した被験者は、記述回答として本システムの使用に特に問題がないことや本システムを使ったストレッチングの面白味を挙げた。

4. 考察

本研究で用いた低速高トルクモーターは、PNFストレッチングにおいて受動的伸長(回転トルク)や等尺性収縮(制動トルク)を可能とした。本システムの最大の特徴はパートナーが介在しない点であり、とりわけ、対象者の筋弛緩時に、どこまで筋を伸長できるかといった対象者側の主観をパートナーが誤認するリスクも生じ得ないことである。さらに、操作するトグルスイッチはバネ戻り式であり、レバーから指を離せばすぐにモーターの駆動を止められるため、誤操作によるリスクが被験者に不安を与える可能性は低い。

このような機器構成の下、実際にPNFストレッチングの効果が得られるかどうか、且つ、パートナーを要しない本システムの特徴が使用者にどのように捉えられるかについて調べるのが本研究の目的であった。

その結果、被験者全員に柔軟性改善の一過性効果が認められ、且つ、本システムを使用する上で、自分自身がモーター駆動の操作を行い、一人でPNFストレッチングができることが利点として捉えられた。また、本システムに対する不安や不信、習熟に関する指摘が(質問紙において)何も示され

なかったことから、本システムはPNFストレッチングにおけるHRについて有効に機能すると考えられた。

本研究ではHRの手技のみを対象としたが、今後は、他のPNFストレッチングの手技の実現可能性を探ること、ストレッチング効果についてパートナーを伴う場合との差異を調べること、さらには、本システム使用時の筋の収縮や弛緩の活動様相を筋電図を用いて確認することなどを課題としたい。

参考文献

- 1) Hindle K, et al: Proprioceptive neuromuscular facilitation (pnf): its mechanisms and effects on range of motion and muscular function. J Hum Kinet, Vol. 31, No. 1, pp. 105–113, 2012.
- 2) Wicke J, et al: A Comparison of self-administered proprioceptive neuromuscular facilitation to static stretching on range of motion and flexibility. J Strength Cond Res, Vol. 28, No. 1, pp. 168–172, 2014.
- 3) Konrad A, et al: Effects of acute static, ballistic, and PNF stretching exercise on the muscle and tendon tissue properties. Scand J Med Sci Sports, Vol. 27, No. 10, pp. 1070–1080, 2017.
- 4) Feland JB & Marin HN: Effect of submaximal contraction intensity in contract-relax proprioceptive neuromuscular facilitation stretching. Br J Sports Med, Vol. 38, No. 4, E18, 2004.
- 5) Young W & Elliott S: Acute effects of static stretching, proprioceptive neuromuscular facilitation stretching, and maximum voluntary contractions on explosive force production and jumping performance. Res Q Exerc Sport, Vol. 72, No. 3, pp. 273–279, 2001.
- 6) Puentedura EJ, et al: Immediate effects of quantified hamstring stretching: Hold-relax proprioceptive neuromuscular facilitation versus static stretching. Phys Ther Sport, Vol. 12, No. 3, pp. 122–126, 2011.