

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 4 月 23 日現在

機関番号：32305

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24700556

研究課題名(和文)筋に対する直線偏光近赤外線の高強度パルス照射とストレッチングの単独および複合効果

研究課題名(英文)Effect of high intensity pulse irradiation with linear polarized near-infrared rays and stretching on muscle tone

研究代表者

竹内 伸行 (TAKEUCHI, Nobuyuki)

高崎健康福祉大学・保健医療学部・准教授

研究者番号：20587076

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：高強度パルス照射型直線偏光近赤外線 (High intensity pulse irradiation with linear polarized near-infrared rays ; HI-LPNR)照射とストレッチの筋緊張抑制効果を検討した。筋緊張が亢進した脳血管障害患者の下腿三頭筋筋にHI-LPNR照射とストレッチを単独または併用施行した結果、2つの介入群および併用群の足関節背屈角度と他動的足関節背屈抵抗トルクが、対照群に比して有意な変化を認めた。本研究の条件においては、HI-LPNR照射はストレッチと同様の筋緊張抑制効果を有すると示唆された。

研究成果の概要(英文)：Linear polarized near-infrared rays (LPNR) spanning the wavelength of 600-1600nm are used for irradiation as phototherapy. And, high-intensity pulse irradiation with linear polarized near-infrared rays (HI-LPNR) has excellent deep heating modalities. We consider that this phototherapy is useful in improvement of muscle tone. However, this effect has not been reported. The aim of this study was to determine the effect of HI-LPNR irradiation on muscle tone in patients with cerebrovascular disease (CVD). The intervention groups received HI-LPNR irradiation and/or stretching to the ankle plantar flexors. The control group was not irradiated and stretching. As a result, there was a significant difference in change in passive range of motion and passive resistive joint torque between the intervention groups and control group. We concluded that HI-LPNR has effect of control in muscle tone.

研究分野：理学療法学

キーワード：直線偏光近赤外線 ストレッチング 筋緊張 脳血管障害

## 1. 研究開始当初の背景

### 1)筋伸張性に対する理解

筋伸張性に影響を与える因子は、筋線維や筋膜、腱などに由来する非神経学的要素と、反射性の収縮に基づく神経学的要素に大別される。後者は上位運動ニューロン障害の症状である痙縮が代表例であるが、神経学的異常が無くても疼痛やその他刺激に対する反射性収縮として認めることがある。反射性収縮が長期に持続すると、軟部組織の伸張性低下や筋紡錘の閾値低下を招き、結果的に筋伸張性が低下するという悪循環を形成する。このため伸張反射が亢進した症例では、何らかの方法により早期に筋伸張性を維持改善する必要がある。こうした筋伸張性低下は、これまで主に上位運動ニューロン障害患者の筋緊張亢進において議論されてきた。しかし主研究者らは神経学的異常を伴わない運動器疾患でも同様の考え方が重要であると考えている。筋線維損傷や筋硬結では、局所の疼痛や筋線維の伸張性低下が生じる。これらは伸張反射に参与する受容器(筋紡錘)や神経線維の活動性に影響を与え、結果的に筋伸張性低下を助長する。つまり運動器疾患においても筋伸張性低下の悪循環を早期に断ち切る必要がある。近年、筋伸張性低下や筋緊張亢進は神経学的要素と非神経学的要素を総合的に考えて治療することが重要であると指摘されており(Thompson et al: J Neurol Neurosurg Psychiatry76、2005)、主研究者らも、これまでの研究成果から同様の見解を述べてきた(竹内 他:総合リハ 34、2006、Takeuchi et al: Arch Phys Med Rehabil90、2009)。

### 2)直線偏光近赤外線療法の現状

直線偏光近赤外線(linear polarized near-infrared rays; LPNR)療法は主に疼痛緩和、褥瘡や熱傷の治療手段として用いられてきた。これらはLPNRの高い深部温熱効果に加え、光化学作用に基づく細胞レベルでの生体機能活性化、末梢血管拡張作用、神経興奮抑制作用などを利用したものである。主研究者らは、当初からLPNRの優れた深部温熱効果とその他の作用が筋伸張性低下の治療に有用であると考え、その効果を報告してきた(竹内 他:理学療法学 31、2004、竹内 他:理学療法学 35、2008、竹内 他:理学療法科学 24、2009)。これらの研究を通して、神経学的異常のない対象と上位運動ニューロン障害患者両者の筋伸張性を向上させるLPNRの効果が明らかになり、且つ神経学的要素と非神経学的要素を改善する効果を有することを報告した。しかし、作用機序は推測の域にあり、その解明が課題となっていた。

これまでのLPNR治療器の出力は2000mW前後が主に使われてきた。近年、10Wの高出力でパルス照射することにより、熱傷リスクを回避し、より高い生体深達性を獲得した高強度パルス照射型LPNR(High intensity pulse

irradiation with LPNR;HI-LPNR)治療器が実用化された。しかし現在のHI-LPNRに関する報告は、疼痛緩和に関するものしかない。主研究者らは、これまでの研究成果と臨床経験を踏まえて、すでにHI-LPNRを筋の治療に応用し、臨床的効果を確認しているが科学的検証は未実施であった。加えて、作用機序の科学的検討も手つかずの状態であった。

### 3)ストレッチングと直線偏光近赤外線療法併用の可能性

筋伸張性低下に対するストレッチングは広く行われており、報告も多い(Odeen: Scand J Rehabil Med13、1981、Bohannon et al: J Phys Ther Sci6、1994)。その作用機序は外力で筋を伸張し、筋線維や筋膜、腱の伸張性を向上する、あるいは筋紡錘閾値上昇や機械的伸張刺激の減少による伸張反射抑制などである。しかし外力で筋を伸張するため筋線維損傷や疼痛誘発のリスクも伴う。臨床的には、効果を得られる範囲で可能な限り弱い力で伸張することが望ましい。主研究者らは、筋に対するLPNR照射後の他動的関節抵抗トルク減少を報告した(竹内 他:理学療法学 35、2008、竹内 他:理学療法科学 24、2009)。これはLPNR照射後は筋伸張に必要な力が減少することを意味する。同時に、LPNR照射による反射性筋収縮抑制も報告した。ストレッチングは伸張反射による筋収縮を誘発することがあり、これは治療目的に反する現象である。これに対しLPNR照射による反射性収縮抑制は、ストレッチング効果を高める手段として期待できる。さらにLPNR照射で筋伸張に必要な外力を減少できれば、ストレッチングによる筋損傷リスクを低減できる。このようにLPNRとストレッチングの併用は臨床的有用性が非常に高いと示唆されるがその報告は無い。加えてLPNRよりも深達性が高いHI-LPNRでは、より高い効果が期待できるが、その報告も皆無である。

## 2. 研究の目的

筋に対するHI-LPNRとストレッチングの作用を検討し、筋伸張性向上を目的とした治療法としてHI-LPNR照射の単独効果とストレッチングを併用した場合の複合効果を明らかにすることを目的とした。

## 3. 研究の方法

HI-LPNR照射とストレッチングが筋に与える影響とそれに基づく筋伸張性変化を大きく2つに分けて検証する(研究 および )。【研究 】脳血管障害片麻痺患者の下腿三頭筋を対象に、HI-LPNR照射とストレッチングを行い、異常筋緊張を呈する患者に対する両治療法の単独および複合効果を検証した。

【研究 】健常者の下腿三頭筋を対象に、HI-LPNR照射による筋組織循環動態を測定し、HI-LPNR照射が筋の循環動態に与える影響を検討した。この結果と研究 の結果を複合的

に考察し、HI-LPNR 照射が筋伸張性に与える変化と循環動態の関連性を検討した。

#### 1) 脳血管障害患者における HI-LPNR 照射とストレッチングの単独および複合効果の検証(研究 )

##### 対象

研究協力の同意が得られた脳血管障害患者 40 人の麻痺側下腿三頭筋を対象とした。HI-LPNR 照射群、ストレッチ群、HI-LPNR 照射とストレッチングを併用する併用群、対照群の 4 群を設定し無作為化比較対照試験で実施した。測定者は、臨床経験 10 年以上で HI-LPNR 機器および測定機器に精通した理学療法士 1 人とした。

##### 使用機器および介入条件

HI-LPNR 機器は Super Lizer PX(東京医研製)を使用した。照射条件は出力 10w、照射 30m 秒 / 休止 70m 秒のパルス照射、全照射時間は 5 分間とし、照射口径 20mm のプローブを使用した。照射方法は、皮膚に接触させる接触法、且つ数か所を移動しながら照射する移動法で行った。照射肢位は側臥位下肢軽度屈曲位とし、照射部位は下腿後面の下腿三頭筋筋腱移行部起始側とした。この部位は既に主研究者らの研究で効果をj確認している部位である。

ストレッチ群は背臥位で下腿三頭筋に対し他動的間欠的ストレッチングを行った(伸張 20 秒、休止 1 秒未満のストレッチングを 5 分間繰り返した)。

併用群は LPNR 群とストレッチ群の方法により、HI-LPNR 照射直後にストレッチングを行った。対照群は 5 分間の安静を保った。

##### 評価指標

全対象の介入前後に、膝伸展位における他動的足関節背屈角度(背屈角度)と他動的足関節背屈抵抗トルク(抵抗トルク)を測定した。介入前の抵抗トルクはハンドヘルドダイナモメーターのセンサーパッド中心部を足底の第 2 中足骨骨頭部に当て、センサーパッドを介して他動的に背屈させた際、最大背屈角度保持に必要な最小の力を測定した。介入後は、介入前の最大背屈角度保持に必要な最小の力を測定した。介入前後共に、足関節底背屈運動軸である内果下端から第 2 中足骨骨頭までの距離[m]に測定値[N]を乗じてトルク[Nm]を算出した。

##### 統計解析

背屈角度と抵抗トルクは、介入前に対する介入後の変化量を求めて統計処理を行った。背屈角度と抵抗トルクの変化量の群間比較には一元配置分散分析および多重比較検定を行った。合わせて、主研究者らが過去に行った研究において同じ方法で測定した背屈角度と抵抗トルクの値から最小可検変化量(minimal detectable changes at the 95% confidence level ; MDC95)を求めて、本研究のデータと比較した(MDC95 =  $1.96 \times 2 \times$  [SEM; Standard error of measurement]、SEM

= [Standard deviation of test-retest] / 2)。これらから HI-LPNR 照射とストレッチングの単独および併用効果を検討した。有意水準は全て 5%とした。

#### 2) HI-LPNR 照射が筋組織循環動態に与える影響の検討(研究 )

##### 対象

研究協力の同意が得られた、下肢に特記すべき既往歴、障害のない健常成人 17 人を対象とした。全対象を HI-LPNR を照射する HI-LPNR 9 人と照射しない対照群 8 人に無作為に割り付けた。測定者は、臨床経験 10 年以上で HI-LPNR 機器および測定機器に精通した理学療法士 1 人とした。

##### 使用機器および介入条件

HI-LPNR 機器は Super Lizer PX(東京医研製)を使用した。HI-LPNR 群には HI-LPNR を照射した。照射条件は出力 10w、照射 30m 秒 / 休止 70m 秒のパルス照射、全照射時間は 5 分間とし、照射口径 20mm のプローブを使用した。照射方法は、皮膚に接触させる接触法、且つ数か所を移動しながら照射する移動法で行った。照射肢位は側臥位下肢軽度屈曲位とし、照射部位は下腿後面の下腿三頭筋筋腱移行部起始側とした。

##### 評価指標

HI-LPNR 照射の前後に、筋組織循環動態(酸化ヘモグロビン量[OxyHb]、脱酸化ヘモグロビン量[deOxyHb]、全ヘモグロビン量[tHb]、筋組織酸素飽和度[StO2])をレーザー組織血液酸素モニタにて測定した。この測定器は、HI-LPNR の光線の影響を受けるため HI-LPNR 照射中は測定せず、照射前後に測定した。

##### 統計解析

各指標ともに、介入前に対する介入後の変化量を求めて統計処理を行った。変化量の群間比較には対応のない t 検定を用いた。有意水準は 5%とした。

#### 4 . 研究成果

#### 1) 脳血管障害患者における HI-LPNR 照射とストレッチングの単独および複合効果の検証結果(研究 )

##### (1) 背屈角度の変化

背屈角度変化量は HI-LPNR 群が 2.7(SD2.5)度、ストレッチ群が 5.3(SD2.2)度、併用群が 6.3(SD5.1)度、対照群が -0.5(SD1.7)度であった。対照群に比してストレッチ群と併用群で有意な増加を認め、HI-LPNR 群は有意な変化を認めなかった。また介入 3 群の間に有意差は認めなかった。

##### (2) 抵抗トルクの変化

抵抗トルク変化量は HI-LPNR 群が -1.4(SD0.6)Nm、ストレッチ群が -2.0(SD0.8)Nm、併用群が -1.8(SD0.9)Nm、対照群が -0.3(SD0.7)Nm であった。対照群に比して他の 3 群で有意な減少を認めたが、この 3 群間には有意差を認めなかった。

##### (3) MDC95 による検討

背屈角度の MDC95 は 3.7 度で HI-LPNR 群の 4 人、ストレッチ群の 7 人、併用群の 6 人で MDC95 を超える増加を認めた。抵抗トルクの MDC95 は 1.0Nm で HI-LPNR 群の 7 人、ストレッチ群の 8 人、併用群の 8 人で MDC95 を超える減少を認めた。各群の平均値では、ストレッチ群と併用群の背屈角度、HI-LPNR 群とストレッチ群および併用群の抵抗トルクで MDC95 を超える変化を認めた。

## 2) HI-LPNR 照射が筋組織循環動態に与える影響の検討結果(研究 )

### (1)OxyHb の変化

OxyHb 変化量は HI-LPNR 群が 0.3(SD0.5)ml/min/100g、対照群が -0.2(SD0.4) ml/min/100g であった。対照群に比して HI-LPNR 群で有意な高値を認めた。

### (2)deOxyHb の変化

deOxyHb 変化量は HI-LPNR 群が -0.3(SD0.3) ml/min/100g、対照群が -0.2(SD0.4) ml/min/100g であった。対照群に比して HI-LPNR 群で有意な低値を認めた。

### (3)tHb の変化

tHb 変化量は HI-LPNR 群が 0.04(SD0.6) ml/min/100g、対照群が 0.002(SD0.7) ml/min/100g であった。両群間に有意差を認めなかった。

### (4)StO2 の変化

StO2 変化量は HI-LPNR 群が 1.9(SD1.7) %、対照群が -1.1(SD0.7) であった。対照群に比して HI-LPNR 群で有意な高値を認めた。

## 3)考察

### (1)HI-LPNR 照射とストレッチングの筋緊張抑制効果

研究の結果から、HI-LPNR を照射すると、病的に亢進した筋緊張を抑制する効果が得られることが確認できた。これは、ストレッチングを実施したときと同等の筋伸張性向上効果および伸張に対する抵抗の減少効果に由来するものであると示唆された。一方、介入した 3 群間における統計学的有意差を認めなかったことから、HI-LPNR 照射のみ、ストレッチングのみ、両者の併用においては、効果の差がないと示唆された。

筋緊張の治療的介入では、実際に筋線維を物理学的に伸張することは極めて重要であると考えられる。しかしながら、ストレッチングには伸張反射誘発や伸張に伴う疼痛の発生、筋線維損傷等のリスクが伴う。HI-LPNR 照射の単独施行後に筋伸張性向上および伸張に対する抵抗減少を認めたことから、HI-LPNR 照射により、筋緊張を抑制したうえでストレッチングを行うことができれば、これらのリスクを軽減した状態で介入効果を得ることが可能と考えられる。本研究で用いた評価指標では HI-LPNR とストレッチングの単独施行と併用施行では、効果の差を認めなかったが、これらの理由により両者の併用は臨床的有用性が高いと思われる。この点については課

題であり、他の評価指標を用いて本研究課題の期間終了後も継続的に検討していきたい。

## (2) HI-LPNR 照射が筋組織循環動態に与える影響

研究の結果からは、HI-LPNR 照射による OxyHb 増大、deOxyHb 減少、StO2 増大を認め、tHb の変化は認めなかった。このことから、HI-LPNR 照射が筋組織循環動態に与える影響は、血流量変化に寄与する血管拡張などの可能性は低く、筋組織の代謝の変化によるものが示唆された。本研究では血管径などの検討は未検討であった。今後は筋の栄養血管の血流量や血管径などを指標とした検討を行い、より幅広い視点で HI-LPNR の効果を明らかにしていきたい。

## 5 . 主な発表論文等

( 研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線 )

[ 雑誌論文 ] ( 計 0 件 )

[ 学会発表 ] ( 計 3 件 )

竹内伸行、竹迫信博、下西優子、臼田滋、直線偏光近赤外線の高強度パルス照射とストレッチの単独および併用施行が筋緊張に与える効果、第 50 回日本理学療法学会、2015 年 6 月、東京国際フォーラム(東京)

竹内伸行、竹迫信博、下西優子、臼田滋、直線偏光近赤外線の高強度パルス照射が筋緊張に与える効果 脳血管障害患者による検討、第 54 回日本生体医工学会、2015 年 5 月、名古屋国際会議場(名古屋) Nobuyuki Takeuchi、Nobuhiro Takezako、Yuko Kakinuma、Shigeru Usuda、Effect of high-intensity pulse irradiation with linear polarized near-infrared rays on muscle tone、13th International meeting of physical therapy science、2014 年 3 月、Dalian University(中国大連)

[ 図書 ] ( 計 0 件 )

[ 産業財産権 ]

出願状況 ( 計 0 件 )

取得状況 ( 計 0 件 )

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

竹内 伸行 ( TAKEUCHI Nobuyuki )

高崎健康福祉大学・保健医療学部・准教授  
研究者番号：20587076

### (2)研究分担者

なし

### (3)連携研究者

なし