

研究

女性の足関節底背屈運動が腓腹筋の血行動態に及ぼす影響 －浮腫予防ケアの開発を目指して－

由利 静香¹⁾ 武石 陽子²⁾ 中村 康香²⁾ 跡上 富美²⁾ 吉沢豊予子²⁾

東北大学病院看護部¹⁾
東北大学大学院医学系研究科²⁾

要旨

【目的】 静脈還流障害が主な起因となる周産期にある女性の下肢浮腫予防法を検討するために、足関節底背屈運動による腓腹筋血行動態の変動を運動負荷量および筋肉率の比較から、その違いについて明らかにすることを目的とした。

【方法】 研究参加者は20歳以上の健康な成人女性17名とした。最大底背屈を20°と30°に設定し、足関節底背屈運動を交互に1回/秒のテンポで、20回の運動を1セットとし、休息2分間をとり3セットそれぞれ実施した。腓腹筋血行動態の測定にレーザー組織血液酸素モニターを用いて、酸素化ヘモグロビン (Oxy-Hb)、脱酸素化ヘモグロビン (Deoxy-Hb) を測定した。

【結果】 20°および30°の足関節底背屈運動において、Oxy-Hbは運動中に増加し休息時に減少した。一方、Deoxy-Hbは運動中に減少し休息時に増加した。基準値と30°運動の1～3回目のOxy-Hbおよび、Deoxy-Hbに有意差は認められなかった。またOxy-Hbは、20°の運動2～3回目と休息2分で、有意な増加を認めた。Deoxy-Hbは1～3回の運動中に有意な減少を認めた。さらに筋肉率により2群に分け同様に検証した。高筋肉率群は、20°および30°の運動中のOxy-HbおよびDeoxy-Hbは、基準値から大きな変動があったのに対し、低筋肉率群の20°および30°の運動は基準値からの変動量は少なかったが、2群において変動率に有意差はなかった。

【結論】 足関節底背屈運動は静脈還流を促す作用があり、30°よりも20°に持続的効果があることが示唆された。

キーワード：足関節底背屈運動、Oxy-Hb、Deoxy-Hb、血行動態、筋肉率

緒言

女性は月経周期の黄体期の時期や妊娠、出産、産褥の過程の中でも、浮腫を経験する。妊娠期の下肢浮腫はマイナートラブルと位置付けられ、発症頻度は30%～80%とされている¹⁾。また、星ら²⁾の調査によると90%の

褥婦が下肢浮腫を発症し、我部山ら³⁾も産褥早期の下肢浮腫の訴え率は30～45%としている。この時期の下肢浮腫は「時期が来れば自然に消失する」というような曖昧な援助で見過ごされてきたが、QOLの意識の高まりから、下肢浮腫の軽減のための援助方法として、弾性ストッキングの着用⁴⁾、足浴⁵⁾および漢方の効果⁶⁾の検証が

連絡先 (Corresponding author) : 吉沢豊予子
東北大学大学院医学系研究科ウィメンズヘルス看護学分野
〒980-8575 宮城県仙台市青葉区星陵町 2-1

受理日：2017年12月11日

DOI：10.15010/LRAP.2017.12.11.12



図1 レーザー組織血液酸素モニター装着の様子

行われている。

一般に下肢浮腫は、下肢の筋肉の筋ポンプ作用により、間質から血管内に水分を引き込むことで予防されているが、この筋ポンプ作用が低下することで静脈還流障害が起これば発症する⁷⁾。また、下肢浮腫を伴う深部静脈血栓も長時間の安静による静脈還流障害によるものと言われている。その改善策として、前述したように弾性ストッキングの着用や間欠的空気圧迫法が推奨されてきたが、経済的側面、簡便性等からコンプライアンスが悪く実行可能性は低い⁸⁾。

これらの解決策として、足関節底背屈運動⁹⁾やこの運動を受動的に行う装置の開発が行われている¹⁰⁻¹²⁾。特に足関節底背屈運動はエコノミークラス症候群の予防のために、機内で実施する体操として推奨されているが¹³⁾、この運動を促す道具についての効果は十分に検証されていない。2000年以降、足関節底背屈運動の血流うっ滞の改善効果に関わる研究は増えてきている。しかし、研究参加者が男性のみであるか男女混合でデータを処理していることが多い。足関節底背屈運動は、筋ポンプ作用を促進する運動であるが、そのポンプ力の源となる腓腹筋の筋肉量に男女差があることが考慮されているとはいいたい^{5,14-16)}。本研究は周産期にある女性の下肢浮腫の予防として、足関節底背屈運動を取り入れるエビデンスの蓄積を目指す研究であることから、既存の研究結果をそのまま使用することは難しい。そこで女性のみを研究参加者として、運動負荷量の違いに着目し、足関節底背屈運動による血行動態の変動を明らかにすることを目的とする。

方 法

1. 研究参加者

研究参加者は20歳以上の成人女性17名であった。以下の(1)~(3)のいずれか一つでも該当する場合は除外した。(1)20歳未満の女性、(2)過去に凝固機能亢進あるいは低下を伴う疾患に罹患したことがある、(3)現在妊娠している、あるいは産褥期にある場合とした。研究者の所属する大学の掲示板にて公募した。加えて、参加を申し出てくれた参加者から適格者を得るスノーボールサンプリング法を用いて参加者を募った。

2. 測定条件

測定は平成27年8月下旬の1週間で、実験室内を27℃に設定した。

3. 測定項目

1) 筋血行動態の測定¹⁷⁾には、OMEGAWAVE社製レーザー組織血液モニター(BOM-LITRW)を使用した。このモニターは、毛細血管レベルの酸素動態を反映すると言われている。測定指標は組織酸素化血液量(以下酸素化ヘモグロビン(Oxy-Hb))、組織脱酸素化血液量(以下脱酸素化ヘモグロビン(Deoxy-Hb))を採用し、筋の浅層(皮下約2cm)と深層(皮下約4cm)のOxy-HbおよびDeoxy-Hbそれぞれの差を取ることで測定値を割り出した。Oxy-Hbは動脈血内に多く存在し、Deoxy-Hbは静脈内に多く存在すると言われている。下肢筋ポンプ作用を利用した運動により、筋組織内の血流量が増加するとOxy-Hbが増し、静脈還流作用によりDeoxy-Hbが減少する。安静時は血流量が低下するためOxy-Hbが減少し、静脈還流作用も低下するためDeoxy-Hbが増加する。つまりこの2つのヘモグロビン値の変動から静脈還流を予測することで、浮腫の改善につながると仮定し、この機器を利用した。

測定部位は左腓腹筋の中央部とし、組織酸素モニター(発光用プローブと受光用ディレクターが埋め込まれた遮光用ホルダー)を貼用した。左下肢の静脈は心臓へ向かう際に解剖学的に様々な抵抗を受けるため両側下肢に浮腫が発生する場合は、右側よりも左側の方が浮腫の程度は強い。そこで、より浮腫が生じやすい左側の血行動態を観察するために左足の腓腹筋に装着することとした。一方で効き足の違いにより、測定値に差が出ることが予測されたため、体成分分析装置にて研究参加者の左右下肢の筋肉量(kg)を測定し差の検定を行った。研究参加者の装着の様子を図1、測定の様子を図2-1に示した。図2-2(シーソーボード)

2) 筋肉量の測定には、体成分分析装置InBody 720



図 2-1 測定の様子



図 2-2 シーソーボード

を使用した。原則測定時間は午前中を設定し、少なくとも朝食から2時間経過していることとした。筋ポンプ力を明確にするために体重により標準化し、筋肉率(%)を筋肉量/体重×100で算出した。筋肉率は骨格筋量より算出した。念のため、骨格筋量と下肢筋量の相関をとり確認した。

4. 実験システムの設定

研究参加者は図2-1のように、膝の角度を90°になるように椅子に腰掛け、水平にしたシーソーボード中央に足を乗せた。シーソーボードは高さ75mm、幅300mm、長さ210mmの素材がポリプロピレンのボードである。足を乗せた水平の状態から最大底屈および背屈30°を作るために、シーソーボードの高さを調節し設定した。また、最大底屈および背屈20°を確保するために床から高さ150mmのステンレス製の丸い盤を置き、そこに底屈・背屈運動によってボードがぶつかるように設定した。送光用プローブと浅層用と深層用のディテクターをそれぞれホルダーに装着し、センサホルダーを左足腓腹筋中央にしっかり貼用した。

10分間椅座位安静をとった。これを基準値に設定し、最大底背屈運動20°を交互にメトロノームのテンポ60にあわせて20回実施し、その後2分間の休息を入れ、全部で3セット実施した。休息2分間は予備実験で、Oxy-HbおよびDeoxy-Hbが安定するまでに約2分間要していたことから設定した。次に一定時間の安静をとり、最大底背屈運動30°を同様に3セット実施した。参加者の割り付けは非ランダム化であり、最初の研究参加者の測定を30°から始めたことから、次は20°から始め、開始角度を記録し、交互になるように努め、研究参加者が同数になるように実施し、疲労等によるデータの歪みが生じないように努めた。

5. データ処理

得られたデータはLabchart (ADInstrument) ソフトウェアを用いてコンピュータに連続的に取り込んだ。実験終了後に0.1秒毎にデータを処理し、エクセルファイルに展開した。その後、研究参加者の安静時と20°、30°の足関節底背屈運動1~3回目、休息1~3回目のOxy-HbおよびDeoxy-Hbの平均値を求めた。加えて20°と30°の足関節底背屈運動前と運動中のOxy-HbとDeoxy-Hbの変動量の平均値を求めた。その後、基準値と運動、休息1~3回目でt検定を行った。参加者の運動歴に差があり、この運動歴が筋肉量に関連があると仮定し、研究参加者の筋肉率を1変量の分布で見て、中央値より筋肉率の高い群と低い群の2群に分類した。同様にそれぞれの群の基準値と運動、休息1~3回目においてt検定を行った。有意水準はt検定の多重比較を考慮しp値を調整するBonferroni法で調整しp<0.05/6%未満とした。統計解析ソフトはSAS InstituteのJMP、Pro.12およびIBM、SPSSver 24を使用した。

6. 倫理的配慮

本研究は、所属大学の研究科倫理委員会の承諾(受付番号:2015-1-41)を得て実施した。

結 果

1. 研究参加者の特性

健康な21歳から23歳の17名の女性が研究に参加した。体成分分析装置からBMI、骨格筋量、体脂肪率等の測定を実施し、また、全身に占める骨格筋量の割合を求めるために、骨格筋量/体重×100の計算式にて算出した。中央値39.11%より高い群を高筋肉率群(7名)、中央値39.11%より低い群を低筋肉率群(8名)とした。1変量の分布にて中央値にあたる2名は除外した。

表 1 腓腹筋の血液酸素動態の変化

	足関節底背屈運動 (30°)				足関節底背屈運動 (20°) (n=17)			
	Oxy-Hb	p value	Deoxy-Hb	p value	Oxy-Hb	p value	Deoxy-Hb	p value
基準値	9.58±1.67		7.07±1.09		9.50±1.61		7.19±1.01	
運動 1	9.87±1.38	0.145	6.69±0.91	0.010	9.69±1.50	0.086	6.89±0.93	0.002*
休息 1	9.50±1.60	0.070	6.84±1.00	0.048	9.53±1.68	0.656	7.20±1.15	0.960
運動 2	9.89±1.40	0.037	6.80±0.95	0.035	9.94±1.52	0.002*	6.89±0.95	0.000*
休息 2	9.57±1.52	0.071	6.97±1.03	0.364	9.65±1.61	0.006*	7.22±1.15	0.749
運動 3	9.88±1.32	0.120	6.80±0.95	0.016	9.95±1.49	0.000*	6.81±1.05	0.002*
休息 3	9.69±1.53	0.333	7.20±1.33	0.572	9.64±1.65	0.096	7.08±1.09	0.307

Note : Oxy-Hb, Deoxy-Hb (1×10⁴個/mm³) 有意水準 Bonferroni 法 p<0.05/6*

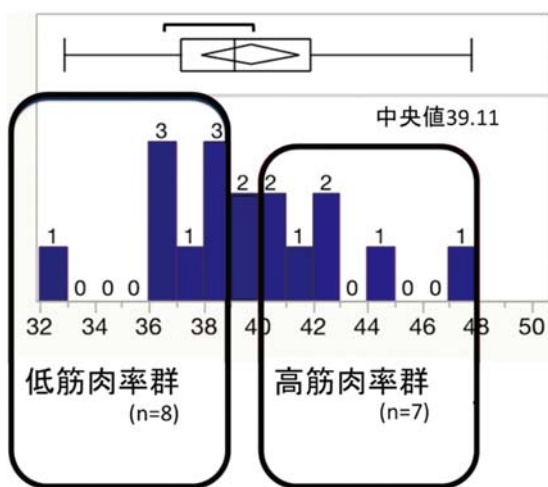


図 3 研究参加者の筋肉率の分布

参加者の BMI (kg/m²) は 16.2~24.7 であり、全身の筋肉率 (%) は 32.9~44.6 であった。骨格筋量 (kg) は 16.2~26.4、体脂肪率 (%) が 16.2~38.4 であった。運動歴はほぼ全員が小学校から中学校にかけて運動部に属していたが、その後高校あるいは大学まで運動を続けているものは半数にとどまっていた。

また、高筋肉率群と低筋肉率群を比較すると、BMI (kg/m²) は 19.1±1.70 と 21.3±2.07、筋肉率 (%) においては 41.3±1.7 と 37.0±1.8、体脂肪率 (%) においても 23.0±2.8 と 30.6±3.9 でそれぞれ 2 群に有意差を認めた (p=0.04、p=0.00、p=0.001)。

効き足の違いの有無の確認のために、研究参加者の両側下肢の筋肉量 (kg) の比較を行ったが、両足の筋肉量 (kg) に有意差はなかった (p=0.816)。また、骨格筋量と下肢筋量の相関はピアソンの積率相関係数 r=0.716、p=0.004 であった。

2. 足関節底背屈運動時、休息時の腓腹筋の血液動態の変動

表 1 に 30°、20° の足関節底背屈運動時と休息時の血行動態の変動を示した。30° の足関節底背屈運動による変化を見ると Oxy-Hb は基準値 9.58±1.67 (1×10⁴個/mm³) から運動 1 中に 9.87±1.38 (1×10⁴個/mm³) と増加し、その後休息時 1 には 9.50±1.60 (1×10⁴個/mm³) に減少した。運動 2・3 中も同様の増加を示し、休息時に減少した。一方、Deoxy-Hb は基準値 7.07±1.09 (1×10⁴個/mm³) から運動 1 中 6.69±0.91 (1×10⁴個/mm³) に減少し、その後休息 1 では 6.84±1.00 (1×10⁴個/mm³) と運動 1 より増加した。運動中 2・3 も同様の変動であった。20° の足関節底背屈運動でも 30° のそれと同様の変動結果が得られた。

3. 角度の違いによる足関節底背屈運動時の腓腹筋の血行動態変動

角度の違いによる足関節底背屈運動後の腓腹筋の Oxy-Hb および、Deoxy-Hb の変動を基準値と比較した (表 1)。30° では、基準値と運動 1~3 中の Oxy-Hb に有意差はなかった (p=0.145、p=0.037、p=0.120)。Deoxy-Hb においても基準値と運動 1~3 中に有意な減少はなかった (p=0.010、p=0.035、p=0.016)。

一方、20° 運動では、基準値と運動 1 中の Oxy-Hb の増加に有意差はなかった (p=0.086) が、基準値と運動 2・3 中の Oxy-Hb は有意に増加した (p=0.002、p=0.000)。Deoxy-Hb では、基準値と運動 1~3 中のすべてにおいて有意に減少した (p=0.002、p=0.000、p=0.002)。

4. 全身の筋肉率の違いによる下肢血行動態の変化

下肢の血行動態は、筋肉率と関連すると仮説をたて、図 3 に示すように筋肉率を低筋肉率群と高筋肉率群に分

表 2 低筋肉率群の腓腹筋の血液酸素動態の変化

	足関節底背屈運動 (30°)				足関節底背屈運動 (20°) (n=8)			
	Oxy-Hb	p value	Deoxy-Hb	p value	Oxy-Hb	p value	Deoxy-Hb	p value
基準値	10.07±1.53		6.57±0.89		9.95±1.61		6.70±0.98	
運動1	10.16±1.45	0.455	6.27±0.81	0.005*	9.96±1.55	0.954	6.65±0.99	0.297
休息1	10.08±1.53	0.866	6.50±0.93	0.183	10.16±1.63	0.007*	6.73±1.06	0.535
運動2	10.17±1.45	0.327	6.34±0.83	0.038	10.23±1.54	0.006*	6.59±0.97	0.081
休息2	10.05±1.49	0.725	6.64±0.89	0.302	10.12±1.63	0.048	6.68±0.99	0.363
運動3	10.14±1.40	0.599	6.36±0.83	0.062	10.22±1.51	0.032	6.46±0.94	0.029
休息3	10.09±1.55	0.886	6.60±0.93	0.797	10.08±1.57	0.164	6.63±0.93	0.126

Note : Oxy-Hb, Deoxy-Hb (1×10⁴個/mm³) 有意水準 Bonferroni 法 p<0.05/6*

表 3 高筋肉率群の腓腹筋の血液酸素動態の変化

	足関節底背屈運動 (30°)				足関節底背屈運動 (20°) (n=9)			
	Oxy-Hb	p value	Deoxy-Hb	p value	Oxy-Hb	p value	Deoxy-Hb	p value
基準値	9.15±1.62		7.52±1.11		9.10±1.60		7.56±0.93	
運動1	9.62±1.35	0.209	7.05±0.87	0.096	9.46±1.50	0.074	7.10±0.87	0.001*
休息1	8.98±1.49	0.129	7.14±1.03	0.087	8.98±1.61	0.229	7.62±1.13	0.618
運動2	9.64±1.40	0.131	7.20±0.91	0.181	9.69±1.54	0.202	7.15±0.90	0.001*
休息2	9.15±1.51	0.973	7.27±1.10	0.193	9.23±1.57	0.780	7.70±1.11	0.194
運動3	9.66±1.30	0.185	7.19±0.92	0.084	9.71±1.52	0.005*	7.13±1.10	0.033
休息3	9.34±1.52	0.101	7.74±1.11	0.618	9.25±1.72	0.295	7.49±1.10	0.692

Note : Oxy-Hb, Deoxy-Hb (1×10⁴個/mm³) 有意水準 Bonferroni 法 p<0.05/6*

類し分析した。低筋肉率群と高筋肉率群の足関節底背屈運動による腓腹筋の血液酸素動態の変動を表2・3に示した。低筋肉率群のOxy-Hbは30°の運動で、基準値と運動1～3中、休息1～3との間に有意差はなかった。しかし20°の運動では、休息1と運動2で有意差を認めた(p=0.007、p=0.006)。Deoxy-Hbは、30°の運動の運動1でのみ有意であった(p=0.005)。一方、高筋肉率群のOxy-Hbは30°の運動で、基準値と運動1～3中、休息の1～3との間で有意差はなかった。20°の運動で基準値と運動1・2中、休息1～3で有意差はなかったが、運動3でのみ有意であった(p=0.005)。Deoxy-Hbは、30°の運動で、基準値と運動1～3中、休息1～3で有意差はなかった。20°の運動では基準値と運動1・2中で有意であった(p=0.001、p=0.001)。運動3および休息1～3では有意差はなかった。

表4・5は、Oxy-Hbの基準値から運動1～3の変化率を低筋肉率群と高筋肉率群とで比較したものである。30°運動、20°運動において、どちらも運動1～3の基準

値からの変化率は高筋肉率群の方が大きい有意差はなかった。Deoxy-Hbにおいても同様であるが、20°運動の運動1でのみ高筋肉率群の方が有意に基準値からの減少率が大きかった(p=0.050)。

考 察

本研究は、足関節底背屈運動が下肢浮腫の改善、予防ケアとなるのかを明らかにするために、足関節底背屈運動の負荷角度と性差による筋肉率の違いに着目した。最初に足関節底背屈運動が下肢浮腫ケアになりうるかについて、次に性差による効果的な負荷角度について考察する。

1. 足関節底背屈運動による腓腹筋の血行動態変動と浮腫

下肢浮腫は、筋ポンプ作用の低下に伴う静脈還流障害により、細胞外にある組織間質液量が増加することにより起こる。従って、下肢浮腫の改善のためには、この静脈還流量を促進することが必要である。本研究では、筋

表 4 筋肉率群の違いによる Oxy-Hb の変化率の比較

	Oxy-Hb の基準値からの変化率 (%) (n=17)					
	足関節底背屈運動 (30°)			足関節底背屈運動 (20°)		
	低筋肉率群	高筋肉率群	p value	低筋肉率群	高筋肉率群	p value
運動 1	1.02±3.08	6.21±14.48	0.322	0.11±1.69	4.39±1.69	0.080
運動 2	1.14±2.49	6.40±12.97	0.265	2.92±2.05	7.05±8.46	0.190
運動 3	0.89±3.36	6.93±15.48	0.284	2.87±2.83	7.15±6.67	0.108

Note: 有意水準 p<0.05

表 5 筋肉率群の違いによる Deoxy-Hb の変化率の比較

	Deoxy-Hb の基準値からの変化率 (%) (n = 17)					
	足関節底背屈運動 (30°)			足関節底背屈運動 (20°)		
	低筋肉率群	高筋肉率群	p value	低筋肉率群	高筋肉率群	p value
運動 1	-4.39±3.03	-5.58±8.45	0.711	-1.85±4.61	-6.11±3.29	0.05*
運動 2	-3.27±3.75	-3.68±6.99	0.880	-2.64±3.65	-5.49±2.85	0.099
運動 3	-2.93±3.85	-4.08±5.59	0.626	-4.52±4.60	-5.99±7.26	0.624

Note: 有意水準 p<0.05*

ポンプ作用による静脈還流に大きく関与している腓腹筋の血行動態が足関節底背屈運動の負荷によりどのように変動するかを観察した。

血行動態の変動は、組織酸素モニターで Oxy-Hb と Deoxy-Hb の運動負荷による変動によって評価した。本研究では運動中に、Oxy-Hb が増加し Deoxy-Hb が減少し、休息時には、Oxy-Hb が減少し Deoxy-Hb が増加するという結果を得た。これは、足関節底背屈運動により、腓腹筋が弛緩と収縮を繰り返すことでエネルギー産生が起これ、酸素が消費される。それを補うために酸素供給が生じたため、循環血液量が増加し、腓腹筋への動脈血流入量に影響を与え Oxy-Hb が増加したと考えられる。一方、Deoxy-Hb が運動中に減少するのは、静脈の動態の変動を反映しており、Deoxy-Hb は動脈にはほとんど存在しないということによる¹⁸⁾。従って、Deoxy-Hb が減少したということは、静脈還流量の増加を示すと考えることができる。森ら⁹⁾の研究においても足関節底背屈運動にて同様の結果が得られていることから、静脈還流量の増加は血流のうっ滞を改善させ、浮腫改善、予防につながるケアとなることが示唆された。

また、足関節底背屈運動以外に、傳法谷ら¹⁹⁾の仰臥位安静による血行動態の測定では、10 分後には Deoxy-Hb が減少し始め、臥床安静による静脈還流の改善が示されたと報告している。

2. 負荷角度の違いによる足関節底背屈運動

前述したように森ら⁹⁾の足関節底背屈運動による血行動態の変動は明らかになっているが、負荷角度においては提示されていない。また、本間ら¹⁰⁾は、受動性運動として、足底板の動作範囲を 0°~60° (最大底屈 30° から最大背屈 30°) の範囲で設定し、30 分の一定速度底背屈運動の実施によって、血流量の増加を認めたとしている。ここでは、負荷角度が 30° のみとなっており、負荷角度の違いの効果を明らかにしていない。青田¹²⁾は同じく血行動態の評価を超音波 duplex 法による膝窩静脈の血流量測定で行い、受動運動における足関節底背屈運動の変化角度を 5°、10°、20° の 3 段階で実施している。変化角度が 5° ではほとんど血流量の増加は認められなかったが、変化角度 10° と 20° の場合は同等の血流量が得られたとしている。さらに最大背屈角度 20°~30° の可動域 10° の場合の背屈運動時の血流量が多かったことを報告している。この実験では、最大背屈角度を 20°~30° の背屈運動が効果的な運動であることを示唆した。

本研究は、最大底背屈 30° の運動と最大底背屈 20° の運動を一定のテンポ 60 (1 回/1 秒) に設定した時の Oxy-Hb および Deoxy-Hb の変動を評価した。30° の運動では、基準値と運動 1~3 で有意差は認められなかった。20° 運動の Oxy-Hb は、運動 2・3 中で、Deoxy-Hb は運動 1~3 で有意差が認められた。さらに、30° での

足関節底背屈運動は運動1中の変動量が20°よりも大きかった。つまり、30°での運動では、運動1中の血行動態の変動が大きく、20°の運動1では血行動態の変化は小さかった。しかし運動2・3と継続して行くと、30°の運動では運動2・3では変動量は変わらないが、20°の運動の場合は運動1～3と変化量が少しずつ大きくなっていった。このことから、可動域が大きいほど、腓腹筋にかかる負荷が大きくなり、エネルギー産生増大とともに酸素の消費量も増大していた。さらに消費された酸素を補うための酸素の供給が起こるため、20°という負荷が少ない条件の運動よりも30°という負荷をかけた運動の方が運動と休息によるOxy-Hb、Deoxy-Hbの変動量が大きくなったと考えられる。しかし、30°という負荷をかけた運動を実施することで、筋肉が疲労し、運動2・3以降で筋ポンプ作用の機能が低下したと考えられる。一方で20°の運動では、1回の運動中の血行動態の変動量は小さいが、1回の足関節底背屈運動によるエネルギー消費量が少ない分、腓腹筋の疲労も少なく、運動2・3と継続しても、筋ポンプ機能が十分に働き、運動2・3中も血行動態の変化に有意差が得られたと考えられる。青田¹²⁾の研究では、運動の可動域を10°にし、最大背屈運動角度が20～30°の範囲で運動することが、効率的な血流量をもたらすことを明らかにしている、本研究でも最大底背屈30°の負荷の多い運動を持続的に行うよりは、最大底背屈20°の負荷の少ない運動を持続的に行う方が、効率的であるとの示唆が得られた。しかし、今回は底背屈運動の最大可動域角度のみに注目し、運動を決める要因となる運動のテンポの違いまでには至っていない。本研究では1回/秒のテンポであったが、これを倍速にする試みも考えられた。すでに底背屈運動の運動回数に着目した研究がある²⁰⁾。この研究では、運動回数を挙げると血流速度は増すがその持続時間は短いことを明らかにした。さらに、血流速度を最大限にしつつも運動頻度を少なく設定する作動対効果を探る必要性を述べている。本研究においても、20°と30°の2種類の角度を設定したが、この作動対効果としてどちらの角度が良いかについては、明確に評価できていないため今後検討が必要である。

3. 筋肉率の違いによる運動時、休息時の腓腹筋の血行動態の変化

本研究では、腓腹筋の筋ポンプ作用は、性差、年齢による個々人の骨格筋量の違いが影響しているのではないかと考えた。底背屈運動等の研究は、成人男性が研究参加者になっていることが多く、底背屈運動として設定した運動が、そもそも研究参加者には運動負荷になってい

なかったのではないかと考察している論文²⁰⁾もあり、本研究では女性を研究参加者とし、さらに筋肉量を体成分分析装置で測定し、高筋肉率群と低筋肉率群の2群に分け血行動態の推移の仕方、変動の違いを比較検討することとした。

高筋肉率群は低筋肉率群と比較して、Oxy-HbおよびDeoxy-Hbの変動が大きいことが明らかになった。さらに、高筋肉率群の基準値は低筋肉率群と比較してOxy-Hbが低く、Deoxy-Hbが高い値であった。これらは、高筋肉率群は、腓腹筋の筋肉量が低筋肉率群より多く、腓腹筋周囲の毛細血管を圧迫しやすく、筋ポンプ作用が働きやすい状況下にあった一方で、低筋肉率群は腓腹筋量が少ないことから、腓腹筋周囲の毛細血管の圧迫が生じにくく、毛細血管抵抗が少なく、そのため、負荷をかけた運動を実施しても筋ポンプ作用が働きにくい状況であったと考えられる。本研究の高筋肉率群の20°負荷運動時と低筋肉率群の30°負荷運動時のOxy-Hb、Deoxy-Hbの変動量を比較すると、高筋肉率群の20°負荷運動の方が1回の変動量が大きい結果が得られていることから裏付けることができる。

また、高筋肉率群も低筋肉率群も30°よりも20°の足関節底背屈運動の方が、1回の運動でのOxy-HbやDeoxy-Hbの増減量は小さいが、Oxy-Hbは運動回数を重ねても増加を維持し、Deoxy-Hbは運動毎に減少していた。

一方で、同じ20°の足関節底背屈運動において高筋肉率群と低筋肉率群を比較すると、高筋肉率群の方が運動1でOxy-HbとDeoxy-Hbの増減量が大きい、低筋肉率群では、運動2以降もOxy-HbとDeoxy-Hbの増減量が大きく、同じ20°の足関節底背屈運動でも血行動態の変動の様子に違いが生じた。高筋肉率群は、1回の運動で、血行動態が大きく変動するポンプ機能を有しているものの、低筋肉率群は、その機能が低い。しかし運動2以降に血行動態の変動が大きくなることが示されている。腓腹筋の筋収縮が弱いことから1回の運動による血流増加が少ないものの、回数を重ねることで、血流量が増えたと考えられる。これらのことから、低筋肉率群の作動対効果を上げる方法は、運動負荷のみを上げるのではなく、弾性ストッキング等で、腓腹筋自体を圧迫した状態で軽い運動負荷をかけると、腓腹筋の毛細血管が圧迫されやすくなり、高筋肉率群と同様の血行動態の変動を得ることができるのではないかと推測できる。

今回の高筋肉率群の運動歴は、小学校から高校まであるいは大学中も部活を通して運動に親しんでいるものたちであった。一方、低筋肉率群は小学生から中学までは

運動に親しんでいたが、それ以降目立った運動をすることのない集団であり、筋肉率でも 2 群に有意差があった。女性のみを筋肉率で 2 群に分けても高筋肉率群と低筋肉率群で、血行動態に違いが出ていることから、性差、体格などを考慮した作動対効果のあるメニューを模索する必要があることも示唆された。

結 論

成人女性 17 名を研究参加者として、最大底背屈角度を 30° および 20° に設定した足関節底背屈運動を実施し、腓腹筋血行動態の変動にどのように影響するかを明らかにするために、レーザー組織血液酸素モニターを用いて、Oxy-Hb および Deoxy-Hb の測定を行い、下記の結果が得られた。

- 1) 30° および 20° において、足関節底背屈運動中に Oxy-Hb は基準値から増加し、一方 Deoxy-Hb は減少した。その後の休息時には、Oxy-Hb は減少し、Deoxy-Hb は増加した。
- 2) 30° の運動中の Oxy-Hb の変動は基準値と比較した有意差は認められなかった。一方、20° の運動の運動 2・3 では、有意に増加していた。
- 3) 30° の運動中の Deoxy-Hb は基準値と比較した有意差は認められなかった。一方、20° の運動の運動 1～3 では、有意に減少していた。
- 4) 筋肉量の違いより、足関節底背屈運動中の Oxy-Hb および Deoxy-Hb の変動の違いを認めた。

以上より、足関節底背屈運動が下肢浮腫改善、予防に効果のある運動の可能性が示唆されたが、今後性差や個別性および適切な作動対効果が期待される足関節背屈運動を検討する必要がある。

本研究は文部科学省科学研究費補助金（挑戦的萌芽研究 15K15845）の助成を受けて行われた。平成 28 年国際リンパ浮腫フレームワーク・ジャパン研究協議会第 6 回学術集会にて発表をした。

利益相反はない。

文 献

- 1) 植竹貴子, 香取洋子, 高橋真理: 下肢浮腫を有する妊娠末期の妊婦に対するリフレクソロジーを用いた統合的アプローチの効果, 日母性看会誌, 13 (1), 25-32, 2013.
- 2) 星 和子, 高橋千佳子, 中嶋実穂: 産褥期の下肢浮腫に対する実態調査, 仙台市立病院医誌, 23 (1),

97-102, 2003.

- 3) 我部山キヨ子, 寺田香里, 宮崎つた子: 産褥期の浮腫に関する研究 - 産褥早期の浮腫と褥婦の身体および生活の関連性 -, 母性衛生, 42 (4), 520-527, 2001.
- 4) Bamigboyy AA, Hofmeyr GJ: Intervention for leg edema and varicosities in pregnancy What evidence?, Eur J of Obstetrics Gynecology Reprod Biol 129, 3-8, 2006.
- 5) 中川有美, 信田佳子, 松原千春, 他: 産褥期の下肢の浮腫に対する足浴効果, 下呂温泉病院年報, 35, 7-12, 2010.
- 6) 多久島康司, 道上文和: 妊娠に伴う下肢浮腫と上部消化器症状に対する柴苓湯の有効性について - 蒼朮製剤と白朮製剤の比較検討 -, 医学と薬学, 64 (5), 709-715, 2010.
- 7) 廣田彰夫: なるほど! 浮腫のしくみ, 日本医事新報, 4596, 38-40, 2012.
- 8) 平井正文, 新美清章, 岩田博英: 静脈機能不全に対する保存的治療法, 脈管学, 49, 217-223, 2009.
- 9) 森 明子, 国安勝司, 藤田大介, 他: 足関節底背屈運動が腓腹筋の血行動態に及ぼす影響について, 川崎医療福祉会誌, 18 (1), 163-167, 2008.
- 10) 本間敬子, 薄葉真理子: 受動自由度を有する足関節底背屈訓練装置の開発 (第 5 報), (社) 日本機械学会 No.10-52 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 2010 論文集, 282-283, 2010.
- 11) 今戸啓二: 足関節運動装置の開発と筋ポンプ作用に関する考察, 日臨バイオメカ会誌, 28, 425-431, 2007.
- 12) 青田洋一: 深部静脈血栓症を予防するための CPM を駆使した椅子の開発, 科学研究費助成事業 (科学研究費補助金) 研究成果報告書 (基盤研究 (c)) 2010-2012, 課題番号 22500511), 2013.
- 13) いまさら聞けない看護技術, DVT 予防策運動療法 (下肢) <http://www.nurse-happy-life.com/19698/>
- 14) 村瀬訓生, 大澤拓也, 藤岡正子, 他: 段階的弾性タイツ着用が自転車運動中の末梢血行動態に及ぼす影響 - 運動体位の相違による検討 -, 脈管学, 50 (4), 467-473, 2009.
- 15) 木村直人, 岩根久夫, 藤村俊仁, 他: ストレッチングの実施時間の相異が前腕骨格筋の血行動態に及ぼす影響 - 筋赤外分光法 (NIRS) による評価 -, J Phys Fit Nutr Immunol, 6 (2), 137-144, 1996.
- 16) 原 貴也, 宅間 豊: 腓腹筋の持続伸長が局所酸素動態に及ぼす影響, 土佐リハジャ, 3, 31-36, 2004.
- 17) 瀧口 悟, 前川賢治, 小野 剛, 他: 安静時ヒト咬筋

- 血行動態に対する直線偏光近赤外線照射の影響, 日
顎関節会誌, 21 (2), 105-109, 2009.
- 18) Hosoi Y, Yasuhara H, Shigematsu H, et al. :
Influence of Popliteal vein thrombosis on subse-
quent ambulatory venous function measured by
near-infrared spectroscopy, *Am J Surgery*, 177
(2), 111-116, 1999.
- 19) 傅法谷郁乃, 小柴朋子, 田村照子 : 仰臥位における
下肢の部位別圧迫が腓腹筋血行動態に及ぼす影響,
繊維製品消費科学, 56 (4), 356-365, 2015.
- 20) 對馬浩志, 櫻庭 満, 館山智格, 他 : 足関節底背屈運
動における運動回数の違いが運動後の静脈血流速度
に及ぼす影響について, 第 49 回日本理学療法学術
大会抄録集, 41 (Suppl.No.2), Doi [https://doi.org/
10.14900/cipt2013.1320](https://doi.org/10.14900/cipt2013.1320).

The effects of ankle plantar-dorsiflexion exercise on gastrocnemius hemodynamics in women : Preventive care for edema

Shizuka Yuri¹⁾, Yoko Takeishi²⁾, Yasuka Nakamura²⁾, Fumi Atogami²⁾, Toyoko Yoshizawa²⁾

Department of Nursing, Tohoku University Hospital¹⁾
Division of Women's Health Nursing Tohoku Graduate School of Medicine²⁾

ABSTRACT

PURPOSE : Lower limb edema of the women in a perinatal phase causes disturbances in venous return. This study examined changes in gastrocnemius muscle hemodynamics with plantar-dorsiflexion exercise based on comparisons of muscle percentage and exercise strength.

METHODS : Volunteers comprised 17 healthy adult women aged 20 years and over. Maximum ankle plantar-dorsiflexion was performed at 20° and 30°. In two separate exercise sets at each angle, plantar-dorsiflexion was alternately performed at a rate of one repetition per second in three sets of 20 repetitions, with two minutes of rest between sets. Gastrocnemius hemodynamics was assessed with oxygenated (oxy-Hb) and deoxygenated hemoglobin (deoxy-Hb).

RESULTS : At each angle of plantar-dorsiflexion exercise, significant differences in oxy-Hb, and deoxy-Hb were not observed between resting baseline values and the first, second, and third sets at 30°. Exercise at 20° showed a significant increase in oxy-Hb following the second and third exercise sets ; in contrast, deoxy-Hb values showed significant decreases with exercise at both angles, during the first through third sets. In comparison with resting baseline values, the high muscle percentage group showed extremely large changes in oxy-Hb and deoxy-Hb with exercise at 20°, and 30°. In contrast, although changes in oxy-Hb, and deoxy-Hb with exercise at 20°, and 30° in low muscle percentage group were small, and there was no significant difference between 2 groups.

CONCLUSION : Ankle plantar-dorsiflexion exercise stimulates venous return, and results suggest that exercise performed at 20° has a more sustained effect than exercise at 30°.

KEY WORDS : ankle plantar-dorsiflexion exercise, oxy-Hb, deoxy-Hb, hemodynamics, muscle mass percentage