

三次元微細振動刺激を用いた浮腫軽減効果の検討 —bioelectrical impedance analysis を用いた検証—

櫻井敬晋^{1) 2)}, 中澤正孝²⁾, 久保慶東²⁾, 笹木正悟^{1) 2)}, 福林徹³⁾

¹⁾早稲田大学大学院スポーツ科学研究科

²⁾東京有明医療大学

³⁾早稲田大学スポーツ科学学術院

キーワード: 三次元微細振動刺激, 浮腫, 生体電気インピーダンス法,
前十字靭帯再建, 局所的水分量

【抄録】

近年, 浮腫の予防や軽減が社会的関心事の一つとなっている. 若年者では下肢筋の不使用が継続するデスクワークなどによる浮腫, 中高年者では心肺機能の低下などにより浮腫が引き起こされると考えられている. また外科的侵襲や術後の炎症反応により浮腫を引き起こす場合があることも報告されている. 一方, 三次元の微細振動を生じる振動板の上で一定の肢位を保持する全身振動刺激(Whole Body Vibration: 以下 WBV)が注目され, 筋力増強, 柔軟性の向上および骨密度上昇などの効果を持つことが報告されている. 本研究では WBV に末梢循環促進効果があるという報告に着目し, 下肢に浮腫を発症した女性を対象として三次元微細振動刺激を加える実験を行った. 対象は若年群 18 名 36 脚, 中高年群 14 名 28 脚および前十字靭帯再建術後群(以下 ACL 再建術後群)12 例 12 脚の 3 群から成る成人女性 44 名である. 若年群では筋活動の不足や日内変動から発症する浮腫, 中高年群では老化に伴う心肺機能の低下から発症する浮腫, そして ACL 再建術後群では外科的侵襲による炎症反応から発症する浮腫といった3つの異なった機序で発症した浮腫に対し, 三次元微細振動刺激の浮腫軽減効果を検討することを目的とした. 評価方法は生体電気インピーダンス法(bioelectrical impedance analysis: 以下 BIA)を用い, すべての群に振動刺激を加える試行と振動刺激を加えない試行を行い, 下肢(大腿部, 下腿部)の生体電気インピーダンス値(以下 BI 値)の計測を試行直前(以下 pre), 直後(以下 post)および試行後 30 分(以下 post-30)の 3 回にわたって行った. そこから体水分量の変化を推定し, 三次元微細振動刺激による浮腫軽減効果の有無について検討した.

BI 値の測定結果は三次元微細振動刺激を加えた場合, 大腿部 BI 値の pre に対する変化率は, post で若年群が $103.8 \pm 3.9\%$, 中高年群が $101.9 \pm 1.9\%$, ACL 再建術後群が $103.9 \pm 6.9\%$, post-30 で若年群が $104.9 \pm 5.5\%$, 中高年群が $101.7 \pm 1.3\%$, ACL 再建術後群が $104.7 \pm 3.3\%$ であった. 下腿部 BI 値の pre に対する変化率は, post で若年群が $103.0 \pm 2.3\%$, 中高年群が $101.6 \pm 0.9\%$, ACL 再建術後群が $107.6 \pm 5.9\%$, post-30 で若年群が $103.4 \pm 2.8\%$, 中高年群が $101.5 \pm 1.7\%$, ACL 再建術後群が $105.5 \pm 4.7\%$ であった. グループ間に交互作用は認められず, 大腿部および下腿部の時間にのみ有意な主効果が認められ, pre に対して post および post-30 が有意に高い BI 値を示した($p < 0.05$).

本研究は, 発生機序の異なる下肢の浮腫を有する 3 群において, WBV が BIA によって評価した

局所的含水量をいずれの群においても低下させることを明らかにした。本研究の結果は、三次元微細振動刺激が発生機序の異なる下肢の浮腫を軽減する可能性を示唆している。

スポーツ科学研究, 8, 262-269, 2011 年, 受付日:2011 年 8 月 12 日, 受理日:2011 年 9 月 27 日
連絡先 〒359-1192 埼玉県所沢市三ヶ島 2-579-15 電話 03-6703-7070 Fax 03-6703-7100
e-mail t-sakurai@tau.ac.jp

I. 緒言

健康女性において朝夕で下肢周径を比較した場合、夕刻に周径が増加し、生理的な浮腫が発症することが知られている(杉下ら 1994)。また、中高年者では加齢による循環器系、泌尿器系および運動器系の機能低下により浮腫が発症する場合がある(Lexell et al.1988, 辻ら 2006)。一方、外傷後の浮腫発症は疼痛の増大や関節可動域などに悪影響を及ぼす傾向があるとされている(大野ら 1999)。前十字靭帯(以下 ACL)再建術後などの外科的侵襲に伴い浮腫が発症し、重度の場合にリハビリテーションを遅延させる要因となることも知られている(臼田 2006)。このように様々な要因で発症する浮腫は、間質腔に過剰の水分が貯留した状態と定義され、毛細血管壁の傷害、平均毛細血管圧の上昇およびリンパ管の通過障害などにより、ヒスタミンやブラジキニンといった代謝物質の拡散が阻害され、疼痛、関節可動域制限および感覚障害などを引き起こすことが挙げられている(本郷ら 2001, 林ら 2004)。医学臨床的には血流促進効果をもつ手技療法や理学療法を施すことで浮腫の軽減がはかられているが、労力や時間を要する場合が多く、安全かつ簡便な浮腫軽減法の確立が求められている。

近年、健康意識の高まりとともに三次元微細振動刺激装置を用い全身振動刺激(Whole Body Vibration:以下 WBV)を行うトレーニング法が注目され、多くのスポーツ選手がストレングストレーニング、ストレッチングおよびリラクゼーション等に用いている。WBV を用いたトレーニングは筋力増

強、柔軟性の向上および骨密度上昇など身体能力を向上させることが報告されている(Delecluse et al.2003, Tillaar 2006, Verschueren 2004)。これらの報告の多くは振動刺激が筋紡錘を介して伸長反射を引き起こし、筋活動が促進されることが筋力向上の要因の一つと考察している(Eklund et al.1966)。さらに、WBV が上肢や下肢の皮膚血流量を著明に増加させたと報告するものがあり(Rittweger et al.2000, Hinds et al.2008, Everett et al.2007), Schindl et al.(2001)は WBV によって膝窩動脈の平均血流速度および大腿四頭筋と腓腹筋の筋血流量が有意に増加したことを示し、WBV によって末梢循環量が増加することを示唆している。これらのことから、WBV が有する筋活動促進による筋ポンプ作用と末梢循環量に及ぼす効果に着目し、下肢に対する振動刺激が間質液を含めた体液量に影響を及ぼし、効率的に浮腫を軽減するのではないかと仮説を導出した。そこで我々は、この仮説を基に異なった機序によって発症した浮腫に対して三次元微細振動刺激の有用性を検討することを目的とし研究を行った。その評価には生体電気インピーダンス法(bioelectrical impedance analysis:以下 BIA)を用いて下肢含水量を推定し、三次元微細振動刺激が浮腫を軽減する効果の有無について検討した。

II. 方法

1. 対象

医師の診察により下肢に浮腫が発症している

と判定された成人女性 44 例 76 脚を対象とし, 若年群 18 名 36 脚(平均±標準偏差:年齢 24.7±1.9 歳, 身長 162.5±4.1 cm, 体重 55.0±6.9 kg), 中高年群 14 名 28 脚(平均±標準偏差:年齢 45.3±5.2 歳, 身長 156.3±5.9 cm, 体重 55.1±10.5 kg), ACL 再建術後群 12 例 12 脚(平均±標準偏差:年齢 22.3±2.3 歳, 身長 161.2±4.8cm, 体重 57.3±8.3kg, 術後 5.8±0.3 週)に群分けした. この群分けの目的は, 若年群は筋活動の不足や日内変動から発症する浮腫, 中高年群では老化に伴う心肺機能の低下から発症する浮腫, そして ACL 再建術後群では外科的侵襲といった炎症反応から発症する浮腫といった 3 つの異なった発生機序を持つ被検者に対し, 本研究の有効性を検証するためである. 実験に先立ち医師に診察により, この 3 群に該当する浮腫を発症した被検者を抽出した. なお本研究は花田学園倫理審査委員会の承認の後, 事前に書面にて研究の内容と目的を十分に説明し, 承諾を得られた被検者に対し実験を開始した.

2. 実験手順

被検者をランダムに半数ずつ振動刺激を加える群(以下 V 群)と, 振動刺激を加えない群(以下 N-V 群)の 2 群に分けた. V 群は Power

Plate®(Power Plate International 社製)を用いて振動刺激を加える試行で, 振動刺激直前(以下 pre), 振動刺激直後(以下 post)および振動刺激後 30 分(以下 post-30)に生体電気インピーダンス値(以下 BI 値)測定を行った. N-V 群は振動刺激を加えずに同様の試行を行った. BI 値の測定は循環器系の影響を一定にするため, 5 分間の安静臥床の後に行った. なお, BI 値測定時間帯は一定とし, 被検者の運動や飲食を測定 4 時間前より制限した. また測定条件は V 群, N-V 群ともに一定とした.

3. 三次元微細振動刺激

振動刺激には Power Plate®を用いた. 被験者を振動板と同じ高さに調節した台に仰臥位で寝かせ, 身体が水平に位置するようにした. その際, 振動刺激の効果を反映しやすいよう下腿後面及び踵部が振動板に密着するように被験者の位置を調節し, 周波数 50Hz, 3 分間の連続振動刺激を加えた(図 1).

振動刺激の効果を反映しやすいよう下腿後面及び踵部が振動板に密着するように被験者の位置を調節し, 周波数 50Hz, 3 分間の連続振動刺激を加えた.

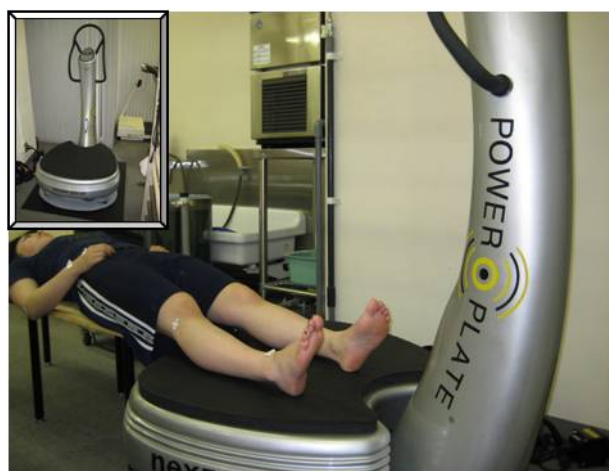


図 1 三次元微細振動刺激装置 (左上)および被験者の肢位(右下)

4. 浮腫の評価

浮腫の評価には BIA を用いた。BIA は生体に微弱な交流電流を流すことによって得られる電気抵抗値から身体組成を推定する方法である(田中ら 2001)。白田(2006)はこの方法を応用し、穿刺による貯留物の内容量と BIA の値を比較し、両者に高い相関があったことを示している。BIA の測定機器は生体電気インピーダンス方式体組成計 Physion XP(フィジオン社製)を用いた。Physion XP は四肢十二電極法を用い、身体に 12 個の電極を貼付し電気抵抗値から身体組成を推測する測定機器である。電極貼付位置は被験者を仰臥位にて、電流印加電極を第 2 中手骨と第 3 中手

骨の中間および第 2 中足骨と第 3 中足骨の中間とし、電圧計測電極を遠位が橈骨茎状突起と尺骨茎状突起の中間および内果と外果の中間、近位が腕橈関節外側および膝部外側腓骨頭上とした。(図 2)。なお、電極の貼り付け位置はあらかじめ剃毛し、紙やすりにて角質除去したうえでアルコール清拭し、皮脂を取り除いた。得られたデータのうち左右の大腿部 BI 値および左右の下腿部 BI 値から浮腫の評価を行った。各被験者における大腿部および下腿部の浮腫は、pre の BI 値に対して post および post-30 の BI 値の変化率を用いて評価した。



図 2 生体電気インピーダンス方式体組成計 Physion XP を用いた測定風景

四肢に 12 個の電極を貼付し身体組成を推定する。得られたデータのうち左右の大腿部 BI 値および左右の下腿部 BI 値から浮腫の評価を行った。

5. 統計処理

測定結果は、平均値(mean)±標準偏差(SD)で表示した。統計的検査量の算出には IBM SPSS statistic (ver. 19.0 for Windows) を用いた。BI 値の経時的変化および対象群間の比較を検討するために、BI 値の 3 水準(pre, post, post-30)

と対象グループ 3 水準(若年群, 中高年者群, ACL 再建術者群)を要因とした二元配置分散分析を用いた。統計学的有意水準は 5% 未満とした。

III. 結果

V 群(図 3 上)および N-V 群(図 3 下)の大腿部 BI 値の経時的変化を図 3 に示した。V 群の大腿部 BI 値の pre に対する変化率は、post で若年群が $103.8 \pm 3.9\%$ 、中高年群が $101.9 \pm 1.9\%$ 、ACL 再建術後群が $103.9 \pm 6.9\%$ 、post-30 で若年群

が $104.9 \pm 5.5\%$, 中高年群が $101.7 \pm 1.3\%$, ACL 再建術後群が $104.7 \pm 3.3\%$ であった. N-V 群の大腿部 BI 値の pre に対する変化率は, post で若年群が $99.5 \pm 1.7\%$, 中高年群が $101.1 \pm 4.1\%$,

ACL 再建術後群が $99.8 \pm 4.1\%$, post-30 で若年群が $97.3 \pm 5.4\%$, 中高年群が $101.7 \pm 3.5\%$, ACL 再建術後群が $100.1 \pm 5.8\%$ であった.

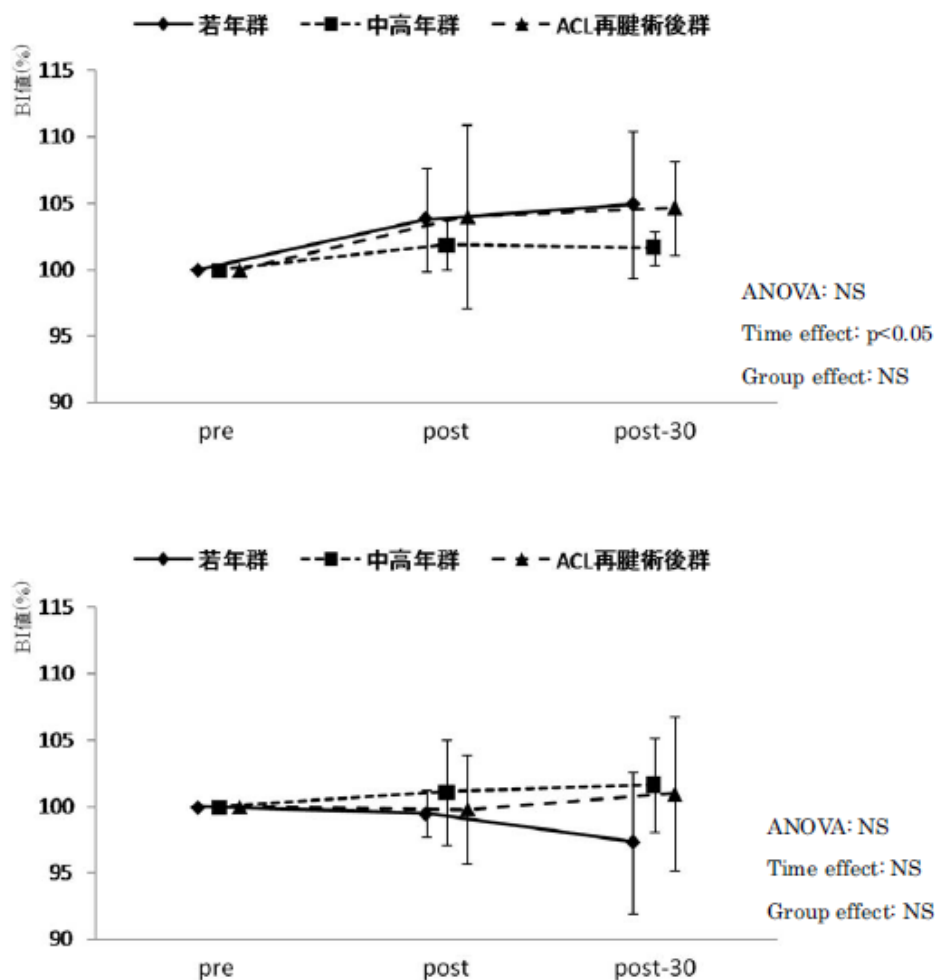


図3 大腿部における pre の BI 値を 100%としたときの post および post-30 の変化率 (図上は V 群, 図下は N-V 群を示す)

また, V 群(図4上)および N-V 群(図4下)の下腿部 BI 値の経時的变化を図4に示した. V 群の下腿部 BI 値の pre に対する変化率は, post で若年群が $103.0 \pm 2.3\%$, 中高年群が $101.6 \pm 0.9\%$, ACL 再建術後群が $107.6 \pm 5.9\%$, post-30 で若年群が $103.4 \pm 2.8\%$, 中高年群が $101.5 \pm 1.7\%$, ACL 再建術後群が $105.5 \pm 4.7\%$ であった. N-V

群の下腿部 BI 値の pre に対する変化率は, post で若年群が $99.5 \pm 1.8\%$, 中高年群が $101.0 \pm 1.4\%$, ACL 再建術後群が $102.1 \pm 1.7\%$, post-30 で若年群が $98.4 \pm 4.7\%$, 中高年群が $101.5 \pm 1.5\%$, ACL 再建術後群が $103.2 \pm 3.3\%$ であった.

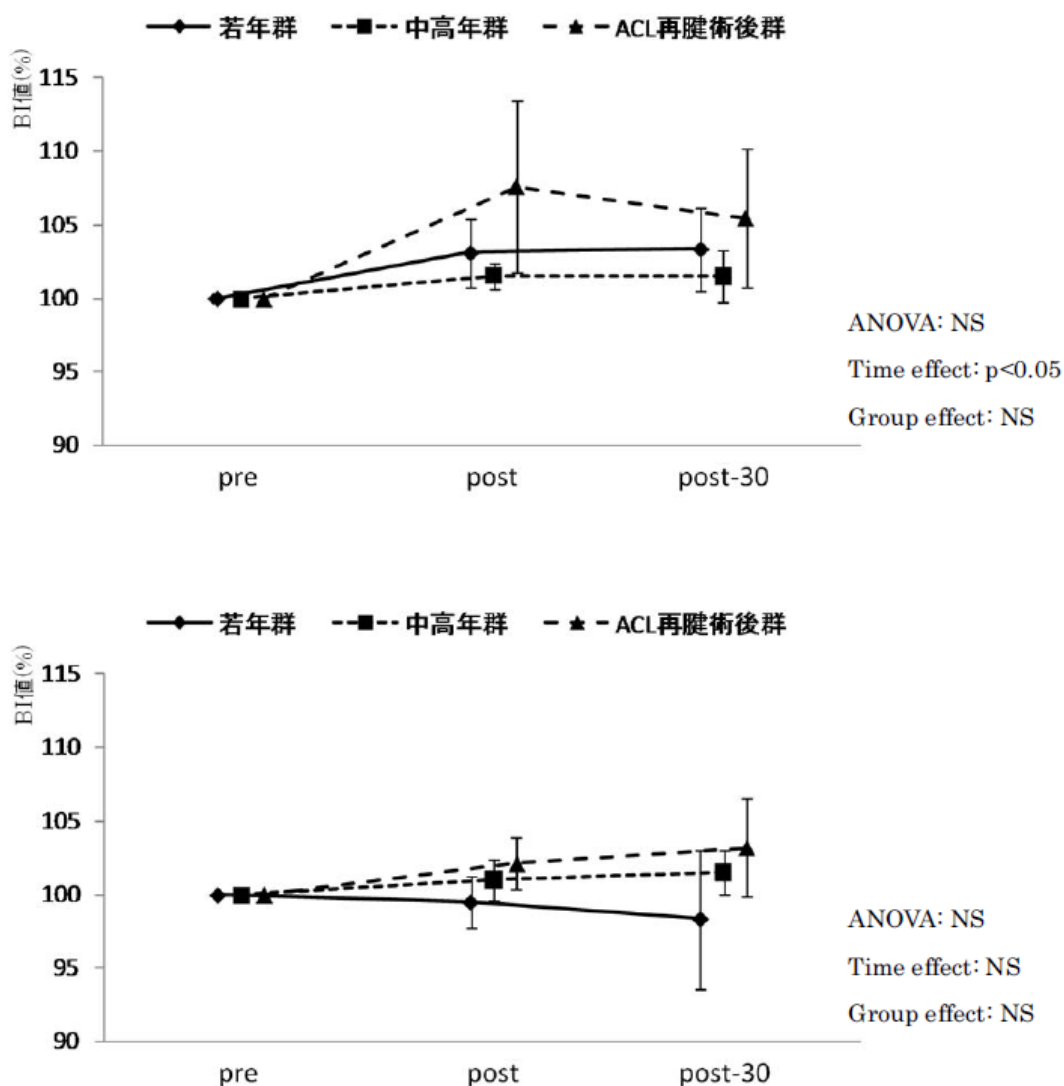


図 4 下腿部における pre の BI 値を 100%としたときの post および post-30 の変化率 (図上は V 群, 図下は N-V 群を示す)

三次元微細振動刺激の浮腫軽減効果を検討するために、大腿部および下腿部の BI 値に対して、時間 (pre, post, post-30) とグループ (若年群, 中高年群, ACL 再建術群) における二元配置分散分析を実施した. その結果, グループ間に交互作用は認められず, V 群の大腿部および下腿部の時間にのみ有意な主効果が認められた. V 群では, pre に対して post および post-30 が有意に高い BI 値を示した ($p < 0.05$) が, NV 群では, pre, post および post-30 の間に有意差は認められなかった.

IV. 考察

浮腫を発症した下肢に三次元微細振動刺激を加えると BI 値が有意に増加するのに対して, 振動刺激を加えない場合は BI 値の変化が認められなかった. BI 値の増加は電気抵抗値の低い水分が下肢から減少したことによって引き起こされたと考えられ, 三次元微細振動刺激によって浮腫が軽減したことを示唆している. また, 対象を若年群, 中高年群および ACL 再建術後群としたが, 一般的に中高年者では循環器系, 泌尿器系および運動器系の機能低下が生じていることが知られ (Lexell et al.1988, 辻ら 2006), これらは平均毛

細血管圧の上昇を惹起して浮腫の原因となる。一方、若年者では下肢筋の不使用が継続するデスクワークや長時間の立位保持を起因として浮腫を引き起こすと考えられている(早川 2005)。また ACL 再建手術後に手術による侵襲や術後の炎症反応により浮腫を引き起こす場合があることも報告されている(白田 2006)。このように異なる浮腫の発生機序を想定した実験の結果、大腿部および下腿部の BI 値に対して、グループ間における交互作用は認められず、V 群の時間にのみ有意な主効果が認められた。このことから浮腫の発生機序にかかわらず三次元微細振動刺激が浮腫軽減作用をもつことが推測された。

Schindl et al.(2001)は若年者に対して 9 分間の連続 WBV を加える実験を行い、膝窩動脈の平均血流速度が有意に増加したが心拍数と血圧には統計学的に明らかな変化がなかったと述べている。また、WBV を用いたレジスタンス運動と自転車エルゴメーターを用いたペダリング運動を比較した研究において、WBV 運動の心拍数、血圧および酸素摂取量の変化が有意に小さいと報告されている(Rittweger et al. 2000)。このことから WBV は心肺機能に対し、比較的 low 負荷な中で実践できる試技であると考えられる。本実験における被験者は振動板に下腿後面および踵部をのせて仰臥位の姿勢を保持するのみであり、身体への負荷は運動負荷に比べてより少ないと考えられる。今後、WBV 中の詳細な心肺機能の変化を観察し、WBV の処方指針を確立する必要がある。

この振動刺激が末梢循環量に効果を及ぼすメカニズムについては未だ明らかにされていない部分が多いが、局所的な浮腫軽減のメカニズムについては筋ポンプの活性化が挙げられ、これによって静脈還流を促進したと考えられる(Schindl et al. 2001)。今回 post で浮腫軽減効果があらわれたことは、受動的な振動刺激による筋の収縮と弛

緩の繰り返し筋ポンプを活性化させたことによる影響と考えられる。豊島ら(2005)は指尖容積脈波を用いて WBV における交感神経機能を評価しており、振動刺激開始直後に交感神経の機能が亢進し、振動刺激終了後に一度低下するが緩やかに持続的に亢進したことを報告している。一般的に血管の収縮は血流量を減少させ、骨格筋における毛細血管圧が低下することで浮腫を軽減させる一因となることが考えられており(早川 2005)、本研究においても post-30 で浮腫軽減効果が持続していたことは、振動刺激による交感神経の持続的な機能亢進により、post で減少した浮腫の状態を維持した可能性が考えられる。以上のことから post では局所的な筋ポンプ作用が浮腫を軽減させると考えられ、post-30 では交感神経の機能亢進作用が関与してその効果が持続したことが一因であると推測される。

本研究では異なる機序で下肢に発症した浮腫について三次元微細振動刺激の効果を検討した。若年群に代表される日内変動による浮腫、中高年群に代表される加齢に伴う心肺機能低下による浮腫、および ACL 再建術後群に代表される外科的侵襲による炎症反応から発症する浮腫である。本結果より、いずれの群においても、振動刺激を加えなかった場合には BI 値の増加は認められなかった。一方、振動刺激を加えた場合には、いずれの群においても BI 値の増加が認められた。このことから、WBV を応用した三次元微細振動刺激は、短時間に局所的な身体的部位の浮腫を軽減することが可能であると示唆された。

V. 結論

本研究は、浮腫の発症メカニズムの異なる若年女性群、中高年女性群および ACL 再建術後女性群において、WBV が BIA によって評価した BI 値を WBV 直後から 30 分後まで低下させることを明らかにした。本研究の結果は、異なるメカニ

ズムによって発症した浮腫に対して、三次元微細振動刺激が水分量を低下させ、浮腫を一定時間軽減する効果があることを示唆している。

参考文献

- ・ Delecluse.C , Roelants.M , Verschueren.S . (2003)Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 35(6):1033-1041.
- ・ Eklund.G and Hagbarth.K . (1966) Normal variability of tonic vibration reflexes in man. *Exp Neurol* 16(1): 80-92.
- ・ Everett.L, Petrofsky.J, Hinds.C, Schwab.H, Thorpe.D(2007)The effect of whole body vibration on lower extremity skin blood flow in normal subjects. *Med Sci Monit*13(2):71-76.
- ・ 早川弘一監訳(2005)ガイドン臨床生理学, 第 1 版. 医学書院, 東京, 255-315.
- ・ 林久恵, 伊藤沙夜香(2004)いわゆる下肢のむくみ・冷え性と理学療法. *理学療法* 21(6): 830-837.
- ・ Hinds.C, Petrofsky.J, Zimmerman.G(2008) The effect of 30 Hz vs. 50 Hz passive vibration and duration of vibration on skin blood flow in the arm. *Med Sci Monit*14(3): 112-116.
- ・ 本郷利憲, 廣重力監修(2001):標準生理学, 第 5 版. 医学書院, 東京:545-566.
- ・ Lexell.J, Taylor.C, Sjöström.M (1988) What is the cause of the ageing atrophy? Total number, size and proportion of different fiber types studied in whole vastus lateralis muscle from 15- to 83-year-old men. *J Neurol Sci* 84: 275-294.
- ・ 大野みゆき, 徳原尚人, 前田豊敬, 日高正巳, 武政誠一, 他(1999)外傷患者に対する中周波刺激の臨床効果に関する一考察. *物理療法研究会会誌* 6:13-17.
- ・ Rittweger.J , Beller.G , Felsenberg.D (2000) Acute physiological effects of exhaustive whole-body vibration exercise in man. *Clin Physiol* 20(2):134-142.
- ・ Schindl.K , Grampp.S , Henk.C , Resch.H , Preisinger.E , et al . (2001)Whole-body vibration exercise leads to alterations in muscle blood volume. *Clin Physiol* 21(3): 377-382.
- ・ 杉下知子, 手塚圭子, 法橋尚宏, 日暮眞 (1994)健全女性における医療用弾力性ストッキングの下肢周径変動におよぼす効果. *母性衛生* 35(1):50-53.
- ・ 田中喜代次, 中塘二三生, 大河原一憲, 増尾善久(2001)生体電気インピーダンス(BI)法の有用性と利用限界. *バイオメカニクス研究* 5(2):91-101.
- ・ Tillaar.R (2006) Will whole-body vibration training help increase the range of motion of the hamstrings? *J Strength Cond Res* 20(1):192-196.
- ・ 豊島裕子, 遠藤陽一(2006)全身振動刺激が自律神経系に及ぼす影響. *自律神経* 42(5): 320-326, 2005.
- ・ 辻哲也, 里宇明元:老化と廃用 総論. *総合リハ* 34(7):623-628.
- ・ 臼田いつか(2006)前十字靭帯再建術後の関節水腫が筋回復に及ぼす影響 - Bioelectrical impedance 法による関節水腫判別の有用性 -. 早稲田大学大学院人間科学研究科修士論文:8-26.
- ・ Verschueren.S , Roelants.M , Delecluse.C , Swinnen.S , Vanderschueren.D, et al.(2004) Effect of 6-month whole body vibration training on hip density, muscle strength, and postural control in postmenopausal women: a randomized controlled pilot study. *J Bone Miner Res* 19(3):352-359.