

機関番号：82626

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20500502

研究課題名（和文） 足関節他動運動訓練機器が末梢組織の循環状態に与える影響に関する研究

研究課題名（英文） Study on effects of the passive motion exercise device for ankle on circulatory status of peripheral tissue

研究代表者

本間 敬子（HOMMA KEIKO）

独立行政法人産業技術総合研究所・知能システム研究部門・主任研究員

研究者番号：90357971

研究成果の概要（和文）：本研究は、足関節を対象として、他動運動訓練機器の適用が末梢組織の循環状態に与える影響を実験的に解明することを目的として実施した。足関節底背屈訓練装置を用いて他動運動訓練を行い、訓練中及び前後の安静時における生体信号の変化等を取得して、他動運動訓練機器が末梢組織の循環状態に与える影響の評価を行うとともに、脳血管疾患罹患者を被験者として、日常生活における循環状態の動向を評価した。これらの結果から、他動運動訓練機器の適用によって、末梢組織の循環が改善する可能性が示唆された。

研究成果の概要（英文）：This study was carried out aiming to clarify the effects of the ankle passive motion exercise device on circulatory status of peripheral tissue. In the experiments, passive motion exercise of ankle joint was conducted and biomedical signals were measured. Also, circulatory status of the subject who recovered from cerebrovascular disease was examined in his living environment. The results suggest that cutaneous blood flow can be increased by the use of the ankle passive motion exercise device.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：リハビリテーション

1. 研究開始当初の背景

リハビリテーションの実施や理学療法士の教育のために、ロボットを活用することを目的とした研究が国内外で進められているが、ロボットが提供する訓練の評価に際しては、理学療法士などが経験に基づき患者の回復度合いや、実際の患者の関節の挙動との類似性を主観的に判断せざるを得ず、客観的な指標が十分に存在するとは未だ言いがたい状況である。

そこで本研究は、末梢組織の循環状態に着目することによって、客観的指標の確立に寄与することを目指した。

2. 研究の目的

本研究では、これまでに実施した科研費基盤研究で得られた知見を更に発展させて、足関節を対象として、他動運動訓練機器の適用が末梢組織の循環状態に与える影響を実験的に解明することを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、「足関節の他動運動訓練動作を与えることにより、下腿の末梢循環機能の改善が得られる」という仮説を立て、この仮説を検証すべく、既に開発した足関節底背屈訓練装置を用いて他動運動訓練を行い、訓練中及び前後の安静時における、アキレス腱付近の組織血流量、局所表面温、局所皮膚温の変化ならびに装置の反力データ等をそのつと取得して、他動運動訓練機器が末梢組織の循環状態に与える影響の評価を行った。また、脳血管疾患罹患者を被験者として、計測実験を行った。

なお、いずれの実験についても、所属機関の倫理審査、および被験者への実験内容の説明と文書による同意を経た上で実施した。

(1) 循環機能低下模擬実験

上記の仮説を検証するため、駆血によって擬似的な血流減少を生じさせた状態で装置を用いた他動運動を実施し、下肢の末梢循環状態の改善の度合いについて検討を行うこととした。

末梢循環機能の低下状態を模擬するため、大腿部に圧力を加えて駆血を行い、この状態で他動運動訓練を行い、駆血を行わなかった状態との比較を行った。被験者は、若年健常者 11 名（男性 6 名、女性 5 名、平均年齢 23.2 ± 6.3 歳）である。

実験の手順は、以下の通りである。

①被験者は、左大腿部に駆血用の血圧計カフを装着し、車いすに座った状態で、20 分間安静を保つ（以下「安静 1」と称する）。

②被験者の左足を足関節底背屈訓練装置に載せ、訓練動作を行う。足底板の底背屈方向の動作範囲を 0° ~ 60°（足底板が水平の状態を 0° とし、背屈方向を正の向きとする）とし、一定速度で約 10 分間の底背屈運動を行う（以下「動作 1」と称する）。

③動作 1 終了後、被験者は 10 分間安静を保つ（以下「安静 2」と称する）。

④カフに圧力を加えて駆血を行う。加える圧力は、被験者の最高血圧の約 130%とした（以下「駆血」と称する）。

⑤駆血された状態で、再び訓練動作を行う。動作範囲は 0° ~ 60° とし、一定速度で 5 分以内の底背屈運動を行う（以下「動作 2」と称する）。

⑥動作 2 の終了後、直ちにカフを減圧する。

⑦被験者は 20 分間安静を保つ（以下「安静 3」と称する）。

(2) 健常高齢者による評価実験

加齢に伴って、健常者であっても末梢循環機能が低下する傾向がみられる。そこで、中高年の健常者を被験者に加えて実験を実施

し、仮説の検証をさらに深めることを目指した。

加齢が循環状態に与える影響を評価するため、高齢および若年の健常者を対象として装置を用いた他動運動を実施し、下肢の末梢循環状態の改善の度合いについて検討した。

被験者は、脳・中枢神経等の疾病で医師の治療を受けていたり、両下肢の重篤な怪我等をしたりしていない人で、高齢者 10 名（男性 9 名、女性 1 名、平均年齢 68.8 ± 5.6 歳）および対照群として若年者 6 名（男性 4 名、女性 2 名、平均年齢 23.0 ± 4.3 歳）である。

実験の手順は、以下の通りである。

①被験者の脚に各センサを装着する。その後被験者は車いすに座った状態で、20 分間安静を保つ。

②被験者の左足を装置に載せ、車いす座位の状態で行う。足底板の底背屈方向の動作範囲を 0° ~ 60°（足底板が水平の状態を 0° とし、背屈方向を正の向きとする）とし、一定速度で約 30 分間の底背屈運動を行う。

③動作終了後、被験者は車いす座位のまま 20 分間安静を保つ。

(3) 脳血管疾患罹患者の循環状態計測実験

脳血管疾患に罹患し、末梢循環機能が低下している人の場合、室温などの周辺環境が生体信号に及ぼす影響が、健常者の場合よりも著しいことが予想される。そこで、脳血管疾患罹患経験者を有し、左片まひの後遺症がある被験者 1 名（70 歳代男性）の協力を得て、末梢循環状態に関連すると予想される生体信号の、日常生活における変動の状況に関する計測実験を行った。

実験は、被験者の日常生活空間である老人保健施設において、のべ約 4 時間にわたって実施し、下肢の皮膚表面温、組織血流量、血中酸素飽和度等の生体信号とともに、生体信号への影響が特に大きいと予想される、居住空間の室温を計測した。また、循環状態の臨床的な指標として、足囲の計測を行った。なお、実験中、被験者は車いす座位で安静を保ち、食事や排泄は通常通り行われた。

4. 研究成果

(1) 研究の主な成果

循環機能低下模擬実験および(2)の実験については、末梢循環と密接な関連がある生体信号として、血流量および皮膚温に着目し、実験結果の分析を行った。また、(3)については、室内環境と生体信号それぞれの時系列変化に着目して評価した。

① 循環機能低下模擬実験

まず、血流量について分析を行った。各被験者の計測結果に対して、左右の脚について

別個に、動作区間ごとの平均血流量を算出し、当該脚の安静 1 における平均血流量を 100% として正規化した。

図 1 は、左右それぞれの、全被験者の平均値を示している。動作側である左脚については、安静 1 から動作 1 に移行すると正規化血流量の平均値が約 40 ポイント増加した。動作 1 が終了して安静 2 に移行すると、血流量は安静 1 の水準に戻った。駆血を行うことで、血流量は約 20 ポイント減少した。その後動作 2（駆血した状態での訓練動作）に移行すると、血流量は約 40 ポイント増加した。これに対して右脚については、各動作区間を通じて、正規化血流量平均値の著しい変化は見られなかった。

以上のように、末梢循環が低下した状態であっても、他動運動に伴って動作側の血流量が増加することが、実験結果から確認できた。

次に皮膚温についての分析を行った。安静 1 における平均温度を基準として、左右それぞれの表面温および深部温の動作区間ごとの平均値の変化について評価を試みたが、変化のパターンは被験者による差が著しく、統計的な評価が困難であった。

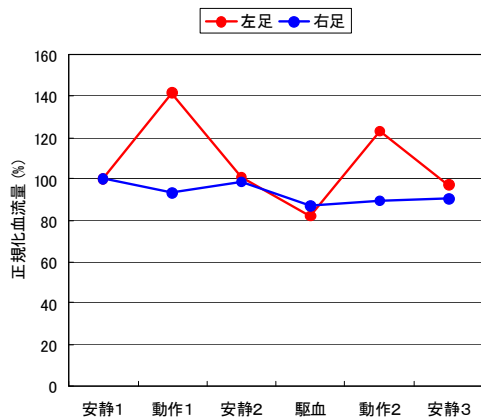


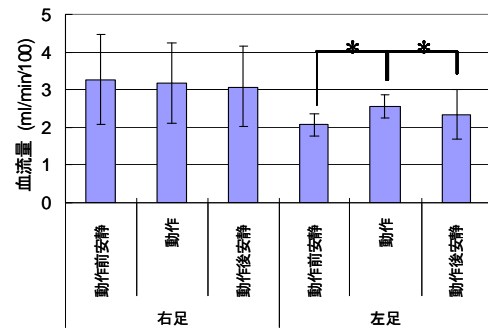
図 1 正規化血流量平均値の推移

② 健常高齢者による評価実験

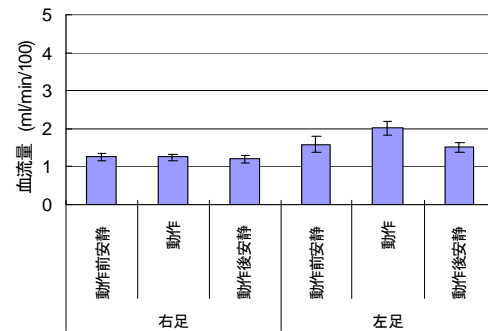
①と同様に、血流量および皮膚温に着目して分析を行った。血流量については、各被験者について、左右の脚について別個に、動作前安静時/動作時/動作後安静時の区分ごとの平均血流量を算出した。

高齢者群および対照群の、左右別の平均血流量および標準誤差の推移を図 2 (a) および (b) に示す。高齢者群および対照群のそれぞれについて、左脚と右脚の別に、区分ごとの平均血流量の間に有意差があるかどうかを確認するため、Friedman 検定および Scheffe 法による多重比較を行った。

高齢者群については、動作側である左脚において、動作前安静時と動作時の間、および動作時と動作後安静時の間で、危険率 5% で有



(a) 高齢者群 (N=10)



(b) 対照群 (N=6)

図 2 動作区分ごとの平均血流量の推移

意差が認められた。動作前安静時と動作後安静時との間では有意差は認められなかった。一方、右脚においては、いずれの区分の間にも有意差は認められなかった。一方、対照群においては、左右両脚において、いずれの区分の間にも有意差は認められなかった。

皮膚温については、各被験者の計測結果から、動作開始時点 (0min) および動作開始 30 分後 (30min) における左右両脚の表面温および深部温を抽出し比較を行った。高齢者群および対照群の、部位ごとの平均温度および標準誤差を図 3 (a) および (b) に示す。

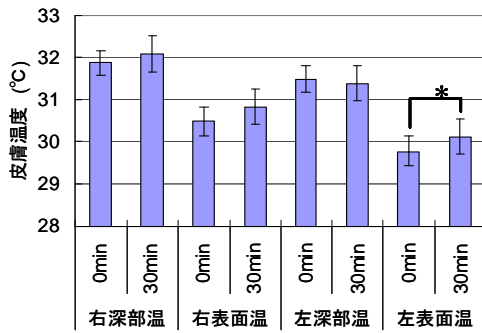
高齢者群および対照群のそれぞれについて、各部位における 0min および 30min の温度に有意差があるかどうかを、Wilcoxon の符号付順位和検定を用いて比較した。

高齢者群においては、動作側である左脚の表面温について、両側検定の危険率 5% で有意差が認められた。左脚の深部温、右脚の深部温および表面温については、有意差は認められなかった。

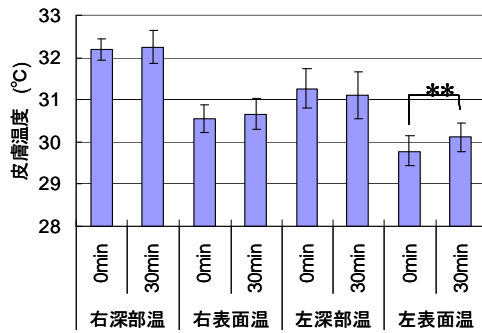
一方、対照群においては、左脚の表面温について、片側検定の危険率 5% で有意差が認められた。また、左脚の深部温、右脚の深部温および表面温については、有意差は認められなかった。

以上の結果から、健常高齢者においては、装置を用いた他動運動によって、動作側の循環状態に有意な変化が得られることがわかった。

③ 脳血管疾患罹患者の循環状態計測実



(a) 高齢者群 (N=10)



(b) 対照群 (N=6)

図3 動作開始時/動作開始30分後の平均温の比較

験

計測期間を通じて、室温は約0.8度の上昇が見られた。これに対し、被験者の皮膚表面温は、左右いずれも低下する傾向を示した。計測期間を通じて、表面温の左右差は認められなかった。組織血流量については、右側(健側)では時間の経過とともに増加する傾向を示したが、左側(患側)では減少の傾向を示した。血中酸素飽和度については、左側が右側より低い傾向を示した。足部の周径については、計測を行っていない日のほぼ同時時間帯を基準として、両側で周径が増加したが、特に左側で増加率が大きかった。

以上から、組織血流量や血中酸素飽和度については、患側の循環状態の低下に関連すると考えられる事象が認められた。一方、皮膚表面温については、循環状態の低下を示す度合いは低いと考えられた。

④ 成果のまとめ

循環機能低下模擬実験および健常高齢者による評価実験を通じて、機器を用いた他動運動を与えることによって、動作側に血流量の増加が見られた。また、健常高齢者による評価実験では、機器を用いた他動運動によって、動作側の表面温の上昇が認められた。これらの結果から、他動運動訓練機器の適用によって、末梢組織の循環が改善する可能性を示唆された。

一方、脳血管疾患罹患者の日常生活における計測結果から、患側の循環状態の低下と血流量や酸素飽和度との関連性が高いと考え

られ、機器を用いた他動運動による効果を評価するためには、これらの値に着目して分析を行うべきであることが明らかになった。

(2) 国内外における位置づけとインパクト

脳血管疾患における片まひ患者では、まひ側に浮腫が生じることが多いことが知られている。浮腫は二次的障害として表在感覚や関節運動の低下を引き起こす。こうした感覚の鈍麻や関節運動の低下によって生じる関節拘縮は、立位保持や歩行訓練を困難にするなどリハビリテーションの妨げとなり、結果として介護負担の増加につながる。そのため、下腿部浮腫の予防や改善は、介護予防の観点から非常に重要である。

疾患によって生じる浮腫の予防や改善を目的として、機器を用いた他動運動の適用が国内外で試みられており、浮腫の予防や改善において徒手的方法と同等あるいはそれ以上の効果を得られることが期待されている。本研究で得られた成果も、他動運動機器の適用によって浮腫の予防、改善が期待できることを示すものである。

(3) 今後の展望

本研究を通じて、他動運動機器が末梢組織の循環状態に与える影響の評価に取り組み、他動運動に伴って動作側の局所血流量の増加および局所皮膚温の上昇が生じることを明らかにできた。ただし、本研究は他動運動に伴う短期的な影響の評価に留まっており、今後は、より長時間、長期間の他動運動が循環状態に及ぼす影響についての評価を行っていく必要がある。

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)

[学会発表] (計3件)

- ① 本間 敬子、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)、生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 2010、2010年9月19日、大阪府大阪市
- ② 薄葉 眞理子、装置を用いた足関節他動的底背屈運動による皮膚血流の変化、第45回日本理学療法学会大会、2010年5月28日、岐阜県岐阜市
- ③ 本間 敬子、受動自由度を有する足関節底背屈訓練装置の開発 (第4報)、第7回生活支援工学系学会連合大会、2009年09月26日、高知県香美市

[産業財産権]

○取得状況 (計2件)

①名称：他動運動装置

発明者：本間 敬子、薄葉 真理子、砂子澤秀夫

権利者：産業技術総合研究所、株式会社穂高商会

種類：特許

番号：第 4548577 号

取得年月日：2010 年 7 月 16 日

国内外の別：国内

②名称：他動運動装置

発明者：本間 敬子、薄葉 真理子、砂子澤秀夫

権利者：産業技術総合研究所、株式会社穂高商会

種類：特許

番号：第 4450367 号

取得年月日：2010 年 2 月 5 日

国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

本間 敬子 (HOMMA KEIKO)

独立行政法人産業技術総合研究所・知能システム研究部門・主任研究員

研究者番号：90357971

(3) 連携研究者

薄葉 真理子 (USUBA MARIKO)

筑波技術大学・保健科学部・教授

研究者番号：60203527