

令和 2 年 6 月 22 日現在

機関番号：82626

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K19949

研究課題名（和文）認知症を防ぐオン・ベッド・リハビリテーションシステムの開発

研究課題名（英文）Development of On-Bed Rehabilitation System for Dementia-Prevention

研究代表者

菅原 順（Sugawara, Jun）

国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・主任研究員

研究者番号：00357261

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：ヒトの循環制御機能の生理学研究で用いられている下半身陰圧刺激（Lower body negative pressure: LBNP）を応用し、歩行等の立位で行うリハビリトレーニングをベッドに寝た状態で実施できるリハビリシステム（オン・ベッド・リハビリテーションシステム）の開発を進めた。本申請課題では、循環器系および筋系に対する負担度やそれに対する生理応答について検証を行った。このシステムでは、循環系に対して1-2秒程度で仰臥位から立位と同じ程度の重力刺激を加えられ、また、逆の刺激（立位 仰臥位）も付加することを可能とした。このシステムを使用した生理学実験を行い、2報の学術論文を発表した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我が国では「少子高齢化」が加速し「寝たきり対策」が喫緊の課題である。臥床期間の延長は、廃用症候群を引き起こし、さらなる離床の延期をもたらすため、早期に離床し、速やかにリハビリテーション（リハビリ）を開始させる必要がある。「オン・ベッド・リハビリテーションシステム」の実用化に向け、システム使用時の生理学的基礎知見を得ることを目的とした。本研究により、システムを使用した際の循環および自律神経応答が明らかとなった。本研究で得られた結果は、安全かつ効果的なLBNP リハビリプログラムを構築に向けての重要な示唆を呈示するものである。

研究成果の概要（英文）：We challenged to develop a rehabilitation training system using Lower body negative pressure stimulation.

We built the system which could apply orthostatic stimulation on autonomic nervous system, a circulatory system, the stimulation to muscles and bones muscular system in a patient who is lying on the bed. By using this system, gravity stimulation as same as body weight could be applied on a subject for a couple of seconds, and it also could make similar stimulation of postural change from standing to lying down (e.g., supine position). We used this system and determined physiological responses to simulated orthostatic stimulation. Our findings (Tomoto et al. Front Physiol. 2018; Ninomiya et al. Front Physiol 2019) could provide important physiological information which advances the development of the "on-bed rehabilitation system".

研究分野：リハビリテーション

キーワード：ベッドレスト 循環応答 立位負荷

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

極端な少子高齢化という歪んだ人口分布によって、要介護者を支える介護者の高齢化と人数不足に拍車がかかっている。それゆえ「寝たきり対策」は本邦の火急の課題である。「寝たきり」のきっかけは、脳梗塞や骨折のような重篤なものから、風邪や転倒といった軽微なものまでさまざまであるが、臥床期間が延びると廃用症候群が進行し、離床が困難になってしまう。「廃用症候群 臥床の延長 廃用症候群の進行」という悪循環が続けば、身体的不活動が引き金となり、心臓血管疾患、呼吸器疾患、認知症の発症や症状悪化をもたらす。それゆえ、できるだけ早く離床し、速やかにリハビリテーション(以下、リハビリ)を開始することが望ましい。しかしながら、専門施設・設備やマンパワーには制限があり、在宅の場合には家族など介護者の負担が甚大となるため、実現には困難を伴う。このような問題に対し、本提案では、できるだけ早く離床し、速やかに本格的なリハビリへ移行するための「橋渡し」リハビリシステム(脱寝たきり支援システム)の構築を目指す。

地球上で生活をする我々は、重力という物理的的刺激に常時暴露されている。この重力刺激は立位であれば安静状態であっても、骨格筋系に関しては抗重力筋へ負荷を掛け、また循環系に関しては、脳や内臓への血流を維持するための血压制御を生体に求める。このように、重力はヒトの生理機能を維持するための極めて重要な刺激と考えられるが、臥床はその刺激からの逸脱を意味する。それを避けるために、我々は、下半身陰圧刺激(Lower body negative pressure: LBNP)を活用する。密閉した容器内に仰臥位の状態で下半身を入れて、容器内の気圧を下げると、血液が下半身に貯留するため、仰臥位姿勢のまま立位姿勢時の循環動態および交感神経活動を誘発できる(Levine et al. 1994)。我々が開発したプロトタイプでは、このようなLBNPの特色に加えて、抗重力筋に対して鉛直方向への力を付加できる仕様となっている。そのため、転倒リスクを伴わず、立位姿勢維持や歩行練習の機会を提供し得る(特願 2015-242245)。この基盤技術に、エビデンスに基づく安全かつ効果的なリハビリプログラムを付加すれば、専門知識や熟練した技能を必要とせず、介護者の最小限のサポートで、要介護者がより早期から、安全かつ効果的なリハビリトレーニングを実践できると思われる。

### 2. 研究の目的

ユーザーフレンドリーなLBNPリハビリ装置を開発し、後述の介入研究を通してユーザビリティ評価を行い、装置の最適化(安全性、操作性等の改善)を図る(課題1)。また、仰臥位姿勢で模擬重力刺激を付加した際の生理応答や安全性を検証し、安全かつ効果的なLBNPリハビリプログラムを構築する(課題2)。

### 3. 研究の方法

実験 : 若年健常者18名を対象に、30mmHgの陰圧刺激を付加した際の全身および脳循環応答を検討した。ハーネスで腰部を固定し、チャンバー内への体の引き込みを防いだ。

実験 : 健常若年成人13名を対象とし、LBNPシステムでの下半身陰圧刺激に対する循環応答を、足底面に荷重が加わった場合と加わらない場合を比較した。静脈還流量の減少という刺激に筋および腱からの運動刺激の入力が加わった場合に、自律神経系の循環調節がどのように変化するかを検討するため、30mmHgおよび50mmHgの陰圧負荷を加えた時の血压、心拍数、脳血流速度(中大脳動脈)、呼気二酸化炭素分圧応答を計測した。

実験 : 安全性の検証という観点から、下半身陰圧刺激を段階的に増強していった時の血压反射感受性の変化を検討した。運動習慣のない健常成人(13名)を対象に、前失神に至るまで段階上昇的に下半身陰圧負荷試験を行った。負荷前後に5分間の一心拍毎の安静時RR間隔(RR)と収縮期血压(SBP)を測定し、RRおよびSBPの変動を低周波数帯(LF: 0.05-0.15Hz)と高周波数帯(HF: 0.15-0.35Hz)に分け、各帯域におけるパワーを算出し、さらに伝達関数解析を用いて圧反射感受性を評価した。

### 4. 研究成果

本研究で使用したLBNPシステムを図1左に示す。チャンバーはアクリル樹脂製で、下半身挿入口部分を、伸縮性・気密性の高いウェットスーツ素材でシールした。シール部の伸縮性が高いため、陰圧を付加すると、体はチャンバー内(写真左方向)に容易に引き込まれる。図1右に陰

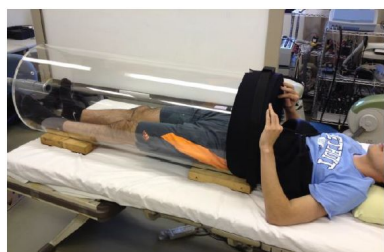


図1 LBNPシステム外観および陰圧付加時の足底面にかかる荷重の例

圧付加時の足底面にかかる荷重の例を示す。陰圧が摩擦抵抗を上回ると圧の増大とともに荷重

は直線的に増大が確認された。

実験 : 30mmHg の陰圧刺激を加えると、心拍出量および中大脳動脈の平均血流速度は安静時水準を維持したが、一回拍出量、中大脳動脈の最高血流速度および拍動性血流速度、拍動性指数 (PI) は有意に低下した (図 2)。脳循環における拍動性変動の増大は、近年、脳血管疾患や認知症の発症リスクとして注目されていることから、本実験で得られた知見は、当該疾患のリスクマネジメントに活用できるポテンシャルを有するかもしれない。

実験 : 足底面に荷重が加わる設定では、50mmHg の陰圧刺激を加えた場合に、体重の 67.3% 相当の荷重が確認された。平均血圧および心拍数の応答に体性神経系入力の有無における違いは観察できなかった。体性神経系入力がない条件では、最高脳血流速度は有意に低下したが、体性神経系入力を加えることで、その応答は有意に減弱した。最低脳血流速度は両条件とも、LBNP 付加中に維持された。

実験 血圧制御機能の指標である圧反射感受性指標 (LF-Gain) は下半身への陰圧刺激を付加すると、有意に増大した ( $P < 0.01$ )。これは、生体が、模擬重力刺激に対して、血圧を維持し脳血流を維持するための循環制御を行っていると考えられる。

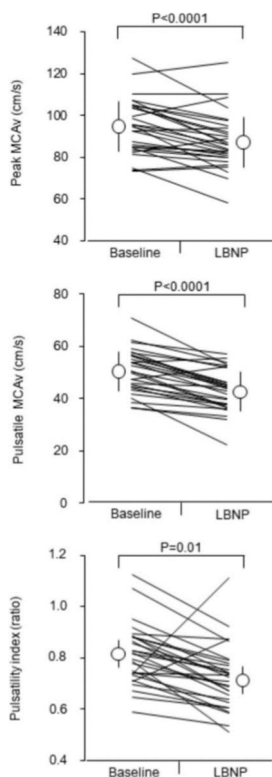


図 2 LBNP 刺激付加中の脳循環応答

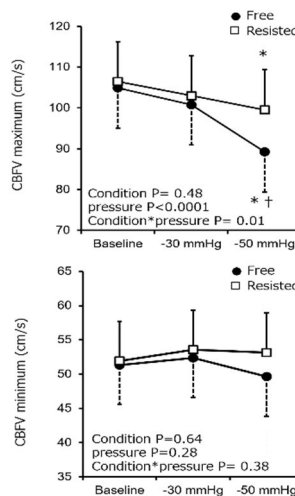


図 3 段階的 LBNP 刺激中の最高および最低脳血流速度の変化：測定面への荷重ありとなしとの比較

## 5. 結論

本研究により、LBNP システムを使用した際の循環および自律神経応答が明らかとなった。本研究で得られた結果は、安全かつ効果的な LBNP リハビリプログラムを構築に向けての重要な示唆を呈示するものである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Ninomiya Y, Tomoto T, Ogoh S, Imai T, Takahashi K, Sugawara J	4. 巻 10
2. 論文標題 Effects of Mild Orthostatic Stimulation on Cerebral Pulsatile Hemodynamics	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Front Physiol	6. 最初と最後の頁 230
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fphys.2019.00230	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Tomoto T, Imai T, Ogoh S, Maeda S, Sugawara J	4. 巻 9
2. 論文標題 Relationship between Aortic Compliance and Impact of Cerebral Blood Flow Fluctuation to Dynamic Orthostatic Challenge in Endurance Athletes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Front Physiol.	6. 最初と最後の頁 25
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fphys.2018.00025	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Ninomiya Y, Tomoto T, Ogoh S, Imai T, Takahashi K, Sugawara J
2. 発表標題 Effects of Mild Orthostatic Stimulation on Cerebral Pulsatile Hemodynamics
3. 学会等名 American College of Sports Medicine（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山本拓也、 福家真理那、 二宮友佳、 山邊貴之、 東本翼、 竹村雅裕、 菅原順
2. 発表標題 下肢筋力発揮が下半身陰圧刺激中の循環動態に与える影響
3. 学会等名 産総研 ニューロリハビリシンポジウム 2017 「介入と評価-パラダイムシフトに向けて-」
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	柴田 茂貴  (Shibata Shigeki)  (90636474)	杏林大学・保健学部・教授   (32610)	
研究 分担者	平澤 愛  (Hirasawa Ai)  (30459945)	杏林大学・保健学部・学内講師   (32610)	