

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 21 日現在

機関番号：15101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K11328

研究課題名(和文) 下半身陽圧歩行補助装置を用いた前庭リハビリテーションの試み

研究課題名(英文) Use of a Lower Body Positive Pressure Treadmill for Vestibular Disorders Rehabilitation

研究代表者

松尾 聡 (MATSUO, Satoshi)

鳥取大学・医学部・教授

研究者番号：40219390

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：下半身陽圧(LBPP)歩行装置を用いた歩行運動を健康成人(健常群)と前庭障害患者(VD群)に行い、LBPP歩行装置が前庭リハビリテーションに使用できるか検討した。健常群とVD群で副作用はなく、心血管系の負荷が少ない歩行運動ができることが分かり、安全にリハビリテーションができると考えられた。歩行運動中のLBPP負荷の外乱で、視覚、前庭、深部覚入力に対する重みづけが変化する可能性が示唆され、新規の前庭リハビリテーション法となる可能性が示唆された。問題点として、平衡機能に及ぼす個人差が大きく、今後は、歩行速度等の詳細な検討を行い、有効なプロトコルの確立をめざし研究をすすめたい。

研究成果の学術的意義や社会的意義

歩行中の深部感覚の外乱として下半身陽圧負荷を用い免荷し、免荷が歩行運動に及ぼす影響を調べた。下半身陽圧負荷で深部感覚に外乱をあたえ信頼性を低下させると、その感覚の重要性は低下し、感覚入力の信頼性に応じて感覚が再統合されることが示唆された。これを慢性化した前庭代償不全の患者に用い、感覚を再統合させることができれば、本法は新規の前庭リハビリテーション法になる可能性が示された。

研究成果の概要(英文)：A device for walking rehabilitation has been developed, which has a treadmill within a lower body positive pressure (LBPP) chamber to unload the lower extremities. We tested here usefulness of our device for vestibular rehabilitation in normal subjects and patients with vestibular disorders. LBPP did not change blood pressure but reduced heart rates during walking in both subjects, which suggests a low risk of cardiovascular side effects. A stabilometer was used for measuring dynamic equilibrium in the standing position before and after LBPP walk. The results showed that applying LBPP perturbed proprioceptive input because of unloading the subject's weight during walking, which might elicit sensory reweighting of the visual, vestibular or proprioceptive inputs. Our LBPP device will provide a novel tool for vestibular rehabilitation. However, sensory integration of posture is a complex system and further research is needed to establish protocols for proper rehabilitation.

研究分野：耳鼻咽喉科学、神経生理学

キーワード：前庭 リハビリテーション 下半身陽圧負荷 歩行運動 感覚統合

1. 研究開始当初の背景

平衡障害の原因として、末梢性前庭機能障害によるものは多い。慢性期の治療では前庭代償機能不全に対し、種々の前庭リハビリテーションが行われている。しかし代償機能不全で症状が遷延する症例も多い(山中, 2016)。特に高齢者では遷延化する傾向は顕著で、筋、骨および関節の退行性変化により下肢関節痛を有する者が増加し、歩行運動が困難である場合が多い(Kawai et al., 2008)。

我々は下半身に陽圧を加え、浮力により下肢荷重を減少させて歩行運動が容易に行える下半身陽圧負荷(lower body positive pressure, LBPP)歩行補助装置(昭和電機)(以下、LBPP歩行装置とする)を開発した(Kawai et al., 2008)。このLBPP歩行装置は、対象者に履かせたウエストシール(スカート状のもの)でナイロン製袋の上部に開いた穴を密閉し、外付けの送風機から空気を送り込み袋内の圧力を高める。その圧力はウエストシールを介して対象者を押し上げる浮力になり、対象者の下肢荷重量を減少させることができる。この状態でトレッドミルを動かす。この装置を用いると下肢荷重量を調節しながら歩行運動が可能になる。我々は本LBPP歩行装置を用い、正常ボランティア、高齢者、整形外科疾患手術後患者を対象に、歩行運動の有用性について報告してきた。ウエストシールは十分な強度があり、手すりを持たなくても対象者の体重を支えることができる。すなわち高齢者でも転倒せず、安全に歩行できる(Matsuo et al., 2017)。我々のデータでは、本装置によるLBPP負荷は(1)血圧に影響を及ぼさない。(2)下肢皮膚血流、皮膚温に影響を及ぼさない。(3)心拍数を低下させる。(4)歩行時下肢痛がある対象者の痛みを軽減する。(5)歩調を変化させることが判明した(Sota et al., 2013)。前庭リハビリテーションの分野でも、安全に使用できると考えている。

2. 研究の目的

本研究の目的はLBPP歩行装置を前庭リハビリテーションに応用することである。そこで、(1)LBPP歩行装置の前庭障害者の循環機能、自律神経機能への影響、安全性の検討、(2)末梢前庭障害患者の歩行運動の解析と、LBPP負荷による浮力で体性感覚入力に変化したとき(見かけ上の体重が軽くなったとき)の歩行運動の解析、(3)LBPP歩行装置の前庭リハビリテーションに対する有効性を検討した。

3. 研究の方法

今回健康成人と前庭障害者を対象に、歩行中の深部感覚の外乱として下半身陽圧負荷を用い免荷し、免荷が歩行運動に及ぼす影響を調べた。体重免荷量を0~5%(5分間)、40%(5分間)、0~5%(5分間)と変化させ、歩幅の変化量を解析した。さらに歩行前後の重心動揺検査でロンベルグ率について検討した。歩行速度は1.0~4.0 km/hで行った。

本装置は最大50%まで体重負荷を軽減できる(てらすウォーク®、昭和電機)。ウエストシール装着後は全ての対象者が介助者なしで歩行した。体重免荷量が5%のとき気圧は約3.5 mmHg、体重免荷量が40%の気圧は約25 mmHgであった。

本研究は臨床研究「下半身陽圧歩行補助装置を用いた前庭リハビリテーションの研究(17B002)」として、鳥取大学医学部倫理審査委員会の承認を受けた。対象者の選択基準は、同意取得時の年齢が20歳以上であることとした。除外基準は、妊娠中あるいは妊娠の可能性のある女性、薬物常用者またはアルコール中毒者、重症の精神障害を有する者、その他、研究責任者が対象者として不適当と判断した者とした。対象者は試験前1ヵ月間に薬物を摂取していないものとした。研

究当日、室温は 25 ± 0.3 、実験開始 2 時間前の食事を不可とした。

歩行運動の解析のために、歩幅と遊離相の膝関節の屈曲角度を測定した。足底部圧を圧センサ (FlexiForce、Nitta) で、片足の動きを距離センサ (測距モジュール、シャープ) で、それぞれサンプリング周波数 1 kHz で AD 変換し、記録した。また、歩行運動をストップウォッチで時間計測しながら、三脚に固定したビデオカメラ (JVC ケンウッド) で側方から撮影した。その後、映像編集ソフト Kinovea (Creative Commons Attribution 3.0, <https://www.kinovea.org/>) を用いて、歩行運動を解析した。

4. 研究成果

(1) LBPP の外乱効果

いずれの速度で歩いても、LBPP(40%免荷)負荷歩行にすると、歩幅に乱れが生じた (図 1)。図 1 の様に歩幅が大小に乱れるが、40%免荷前の歩幅と比べて有意に増大した (43.9 ± 2.1 cm から 46.5 ± 2.3 cm、N=13、速度 3 km/h)。しかし、人によって平均値が小さくなることもあった。ビデオ解析で、歩行遊離期の膝屈曲角度に有意な差は認められなかった。歩幅に関して、2 km/h 歩行は 4 km/h 歩行時に比べてばらつきが多かった。

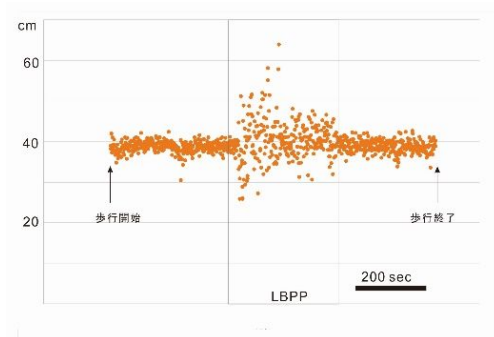


図 1 LBPP 負荷が歩行運動 (歩幅) に及ぼす影響
LBPP 負荷による浮力が生じたあと、すぐに歩幅の変動が大きくなる。LBPP 負荷中は変動が大きいが、大気圧に戻すと変動は小さくなる。

(2) 重心動揺計検査

LBPP 負荷後、重心の総軌跡長 (TTL)、重心の軌跡外周面積 (OAC) は平均値に差はなかった (図 2、3)。

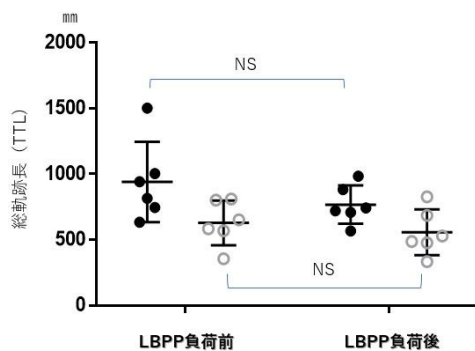


図 2 LBPP 負荷前後の重心の総軌跡長 (TTL)
● 閉眼 ○ 開眼
閉眼時、開眼時で重心の総軌跡長 (TTL) に変化はない。

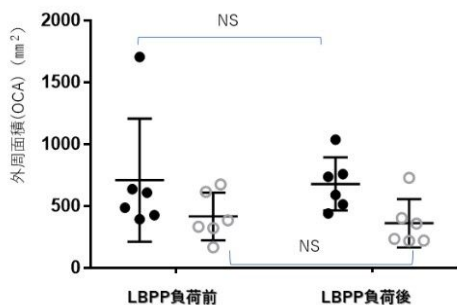
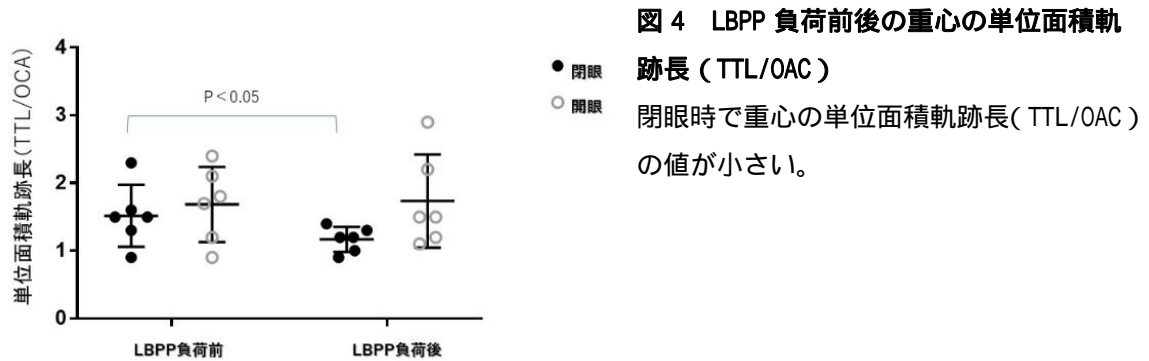


図 3 LBPP 負荷前後の重心の軌跡外周面積 (OAC)
● 閉眼 ○ 開眼
閉眼時、開眼時で重心の軌跡外周面積 (OAC) に変化はない。

LBPP 負荷後、閉眼での単位面積軌跡長 (TTL/OAC) の値が小さくなった (図 3)。これは LBPP 負荷歩行後、高周波数動揺成分が減少している可能性を示唆する(山田他, 1993)。



(3) Romberg 率

姿勢制御における視覚入力への重みづけを評価するために Romberg 率を計算した。群別に歩行運動前後で比較すると、健常群では Romberg 率が歩行運動後に上昇する傾向を認めた(図 5)。不安定面上でのバランスエクササイズとしてバランスボードを用いた実験で、Romberg 率が運動後に有意に増加した報告と結果は一致している。従って、健常者では歩行運動中の下半身陽圧負荷を用いた外乱で視覚入力に対する重みづけが高まる可能性が示唆された (Peterka, 2002)。このデータは中枢神経系が感覚統合における感覚入力に対する重みづけをそれぞれの感覚入力の信頼性に応じて調節することを示唆している (Hwang et al. 2014)。すなわち本装置で感覚の重みづけを調節することも可能かもしれない。VD 群では Romberg 率が歩行運動後に上昇する傾向はなかった (図 6)。現時点では理由は不明であるが、感覚入力に対する重みづけに個人差があることは間違いない。今後は歩行速度、歩行様式等の検討を行い、あたらしい前庭リハビリテーション法として有効なプロトコルの確立をめざし、研究をすすめたい。

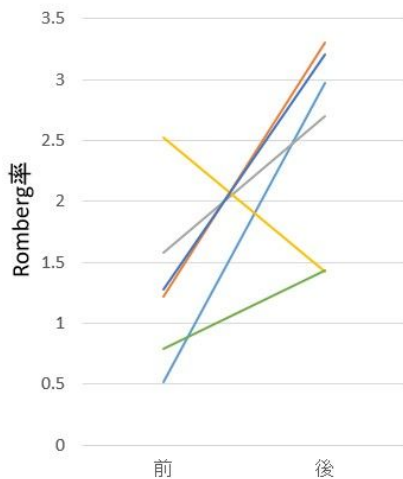


図 5 LBPP 歩行前後のロンベルグ率 (健常群)

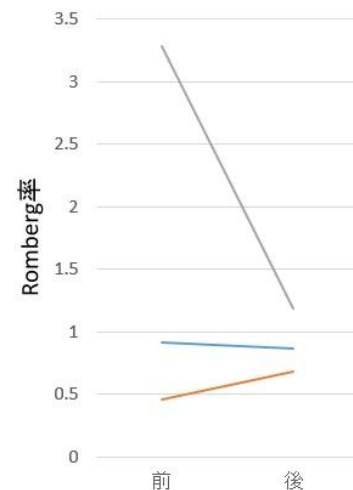


図 6 LBPP 歩行前後のロンベルグ率 (前庭障害群)

<引用文献>

山中 敏彰, 難治性めまい平衡障害に対するアプローチ めまいリハビリテーションの段階的治療戦略 代償不全の前庭障害, *Equilibrium Research*, 2016. 75(4): 219-227.

山田剛寛, 他, 熟練の平衡生理学的研究 - 平衡台における直立姿勢維持において - . *Equilibrium Research*, 1993, 52: 225-236.

Shepard NT, et al., Vestibular and balance rehabilitation therapy. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 1993. 102(3 Pt 1): 198-205.

Kawai Y, et al., Cardiovascular responses to lower body positive pressure. In: *Adaptation Biology and Medicine*, .2008: Narosa Publishing House Pvt. 29-36.

Sota T, et al., Effects of lower body positive pressure on cardiovascular responses during walking in elderly women. *Physiol Res*, 2013. 62(6): 653-62.

Matsuo S, et al., The effect of lower body positive pressure and walking on fluid turnover in human legs. In: *Adaptation Biology and Medicine*, Narosa Publishing House Pvt. Ltd. 2017. 186-195.

Hwang S, et al., Dynamic reweighting of three modalities for sensor fusion. *PLoS One*, 2014. 9(1): p. e88132.

Peterka RJ, Sensorimotor integration in human postural control. *J Neurophysiol*, 2002. 88(3): 1097-118.

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 中村 陽祐, 松尾 聡, Ezomo Ojeiru Felix, 曾田 武史, 竹内 裕美	4. 巻 122巻4号
2. 論文標題 下半身陽圧負荷を用いた体重免荷が歩行運動に及ぼす影響 前庭リハビリテーションへの応用を目指して (会議録)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本耳鼻咽喉科学会会報	6. 最初と最後の頁 574-574
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 中村 陽祐, Felix Ezomo Ojeiru, 松尾 聡, 曾田 武史, 松尾 紀子, 竹内 裕美	4. 巻 78巻5号
2. 論文標題 下半身陽圧負荷を用いた体重免荷が歩行運動に及ぼす影響 前庭障害者のリハビリテーションへの応用(会議録)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Equilibrium Research	6. 最初と最後の頁 542-542
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 中村陽祐, Ezomo Ojeiru Felix, 松尾 聡, 曾田武史, 松尾紀子, 竹内裕美
2. 発表標題 下半身陽圧負荷を用いた体重免荷が歩行運動に及ぼす影響 -前庭障害者のリハビリテーションへの応用-
3. 学会等名 第78回日本めまい平衡医学会総会学術講演会
4. 発表年 2019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
研究協力者	中村 陽祐 (NAKAMURA Yosuke) (70403417)		

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 協力 者	恵祖茂 オジェイル金寿朗 (EZOMO Ojeiru Felix)		