

振動装置とスライドレールを使用した運動器具の開発

石田弘^{*1} 末廣忠延^{*1} 渡邊進^{*1}

1. 緒言

厚生労働省が行った平成25年国民生活基礎調査で、気になる自覚症状として腰痛は上位にあり¹⁾、生涯有病率は高い²⁾。腰痛の発症予防に関し、日本整形外科学会と日本腰痛学会が監修している腰痛診療ガイドライン2012では、腹筋や背筋の筋力増強運動、ストレッチング、持久性運動などの運動療法は有効であることが示されている³⁾。また、慢性腰痛に対する運動療法の有効性は高いが、最適な運動の種類、頻度、強度、期間は明らかにされていない³⁾。そのため、腰痛予防、あるいは、軽減するための最適な運動を考えることは重要である。

腰痛の発症機序の1つとして、体幹への負荷に対し姿勢を維持しようとする筋力が不十分で、腰部が過度に動くことが挙げられる⁴⁾。疫学的な研究で、腰部への身体的負荷が大きい作業は腰痛発症の危険因子であり、体幹の屈曲や回旋を伴う作業は腰痛の発症頻度を増加させることが報告されている³⁾。突然の負荷に対して身体的位置関係を維持するような反射的な体幹の運動制御は過剰な負荷を防ぐという脊柱の安定性のために重要である⁵⁾。加えて、体幹筋の反応時間の遅延があると脊柱の安定性が低下し、腰痛発症のリスクが高まる⁶⁾。したがって、体幹の回旋負荷に対し、負荷に応じた適切な筋活動によって身体的位置関係を維持するという運動が有効と考えられる。そこで、本研究の一つ目の目的は、器具を自分で振動させるのではなく、振動する器具を止めることで身体的位置関係を維持しながら、器具によって生じる体幹の回旋に拮抗する運動器具を開発することとした。二つ目の目的は、その運動器具によって生じる力を定量的に計測することとした。我々の知り得る範囲では、このような運動器具は存在せず、新たな運動療法の基礎的研究となる。

2. 方法

2.1 開発内容

例えば図1のように、振動装置を机上に固定設置し、装置の振動部を止めようとすれば体幹回旋の運動負荷となる。しかし、止める力が装置の最大出力より小さければ身体は振動方向に動き、止める力が装置の最大出力以上であれば、装置の正常な作動を妨げることになる。そこで図2のように、振動装置をスライドレール上に設置するという構造を考案した。この場合、装置の振動部を外部から止めれば、スライドレール上で装置自体が振動する。この振動部を外部から止める力が、装置自体をスライドレール上で動かす力と同等であれば、振動部の位置、つまり、身体的位置関係は変わらず、振動装置だけがスライドレール上で動くという状況になる。この構造であれば、身体的位置関係を変えないための負荷に応じた筋力が適切に生じたということが、振動部の移動で判断できる。

2.2 運動器具

今回開発した、振動装置とスライドレールを利用した運動器具を図3に示す。振動装置にはアイエアイ社製ロボシリンダ (RCP4-SA7C-56P-24-200-P3-R03) を使用した。スライドレールには日本トムソン社製C ループリニアウェイ ML のスライドユニット (ML12) と長さ500mm のトラックレール (LWL12B) を使用した。振動装置の操作は、コントローラーで往復回数 (回)、動作加減速値 (G)、スピード (mm/s)、往復距離 (原点位置 ± mm) を設定し、開始ボタンを押すことで自動運転となる。

2.3 力の計測

振動部を止めるための力とその力が生じる間隔を計測するため、図4のようにフレーム内に運動器具を設置し、振動部を固定した。振動部を止めるため

^{*1} 川崎医療福祉大学 医療技術学部 リハビリテーション学科
(連絡先) 石田弘 〒701-0193 倉敷市松島288 川崎医療福祉大学
E-mail: ishida@mw.kawasaki-m.ac.jp

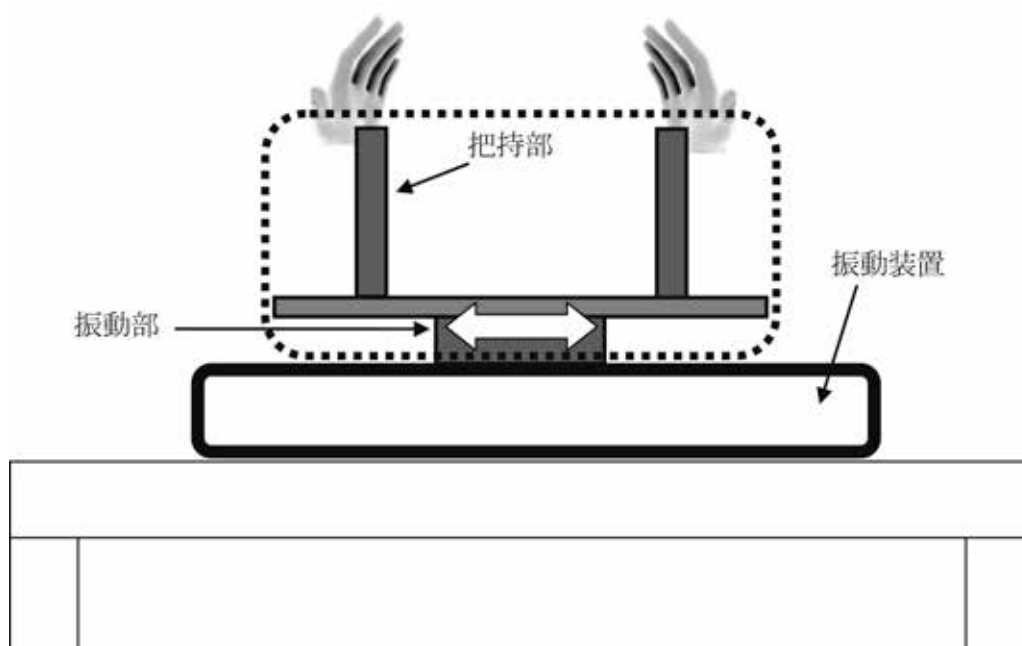


図1 机上に固定した振動装置の概略図

振動装置は机上に固定設置している。振動装置は振動部を白い矢印(⇔)の様に振動させる。つまり、振動装置自体は動かず、点線で囲んだ部分が白い矢印の様に振動する。把持部を止めている手には、装置が振動部を白い矢印の様に振動させる力が加わる。

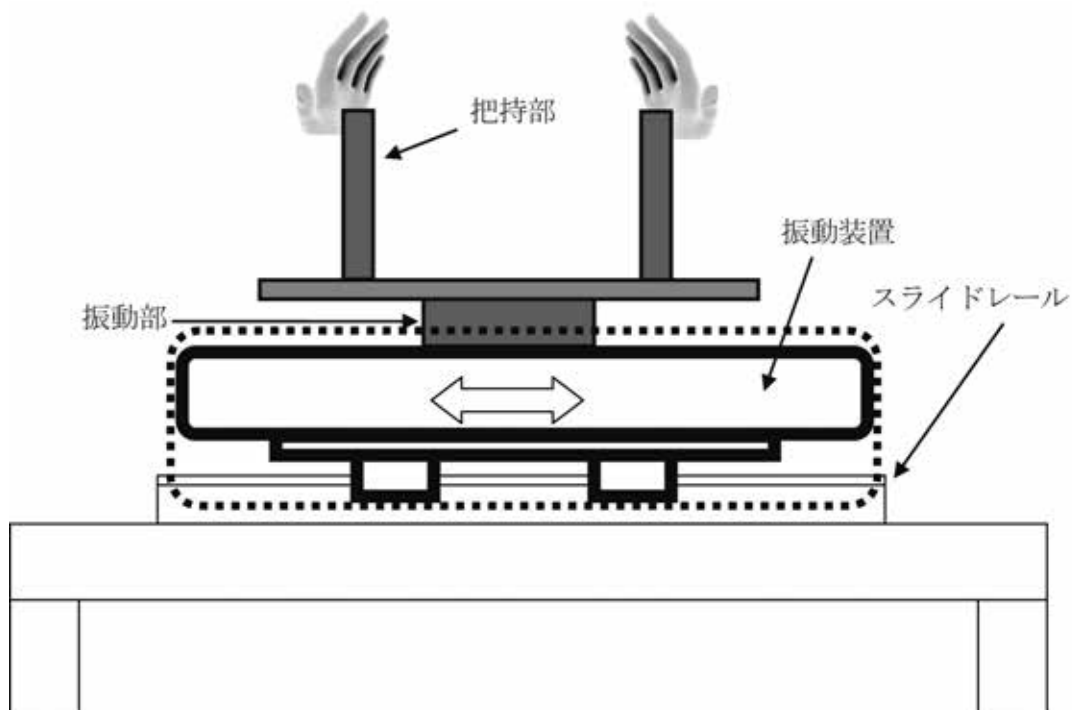


図2 振動装置とスライドレールを利用した運動器具の概略図

振動装置は机上のスライドレールに設置している。振動装置は振動部を振動させる力を生じるが、把持部を手で止めておけば、点線で囲んだ振動装置自体が白い矢印(⇔)の様に振動する。把持部を止めている手には、装置自体をスライドレール上で白い矢印の様に振動させる力が加わる。

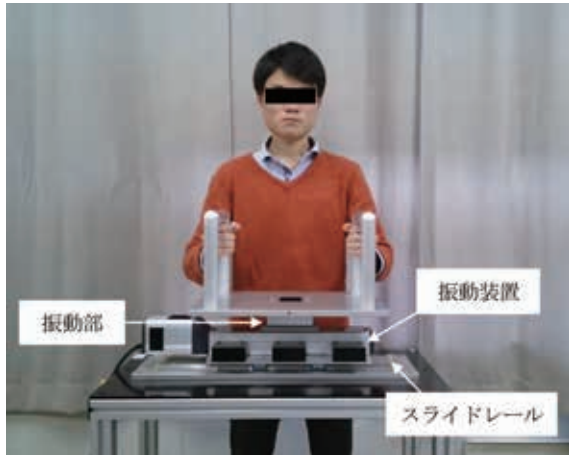


図3 振動装置とスライドレールを利用した運動器具

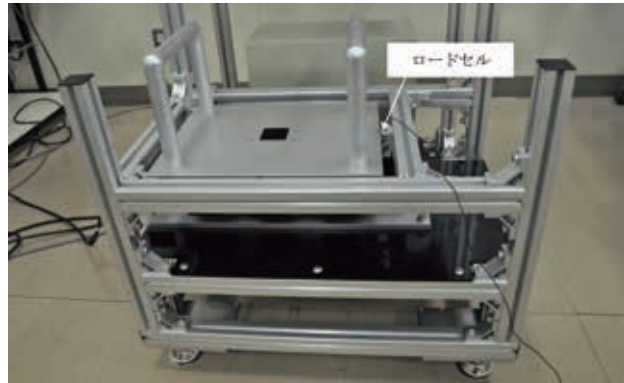


図4 測定時の設置

フレーム内に振動装置を設置し、振動部の右側中央とフレームとの間にロードセルを設置して、力を計測した。自動運転開始で、振動装置の振動部は向かって右側に作動するが、振動部はフレームで固定しているので、振動装置自体が左にスライドする動きから往復が始まる。

の力だけではなく、力が生じる間隔は、運動を行う際の難易度に関係するため計測した。例えば、力が生じる間隔が短いほど、素早く運動方向を変更することになり、運動の難易度は上がる。力の計測には、共和電業社製小型圧縮型ロードセル(LMB-A-200N)を振動部の右側中央とフレームとの間に設置した。圧縮によって生じた電圧は、共和電業社製センサインタフェース(PCD-400A)を経由してパーソナルコンピュータに入力し、共和電業社製ダイナミック収録ソフトウェア(DCS-100A)で力に変換して記録した(N)。サンプリング周波数は1000Hzとした。振動装置は、往復回数を7回、動作の加減速値を1Gで固定し、スピードを3条件(100mm/s, 200mm/

s, 300mm/s)、往復距離を3条件($\pm 20\text{mm}$, $\pm 40\text{mm}$, $\pm 60\text{mm}$)の計9条件で設定した。振動装置の設定後に自動運転を開始し、7往復中の力を連続して9条件で記録した。3~5往復目のデータから、ピーク値とピーク値出現間隔の平均値と標準偏差を算出した。

3. 結果

図5に代表的な力の計測結果を示す。まず、振動装置が左側にスライドし始める際に振動部の右側に設置しているロードセルに力が加わり、その後、減衰した。その後、振動装置は折り返し、右側にスライドして止まる際に力の立ち上がりがあった。その

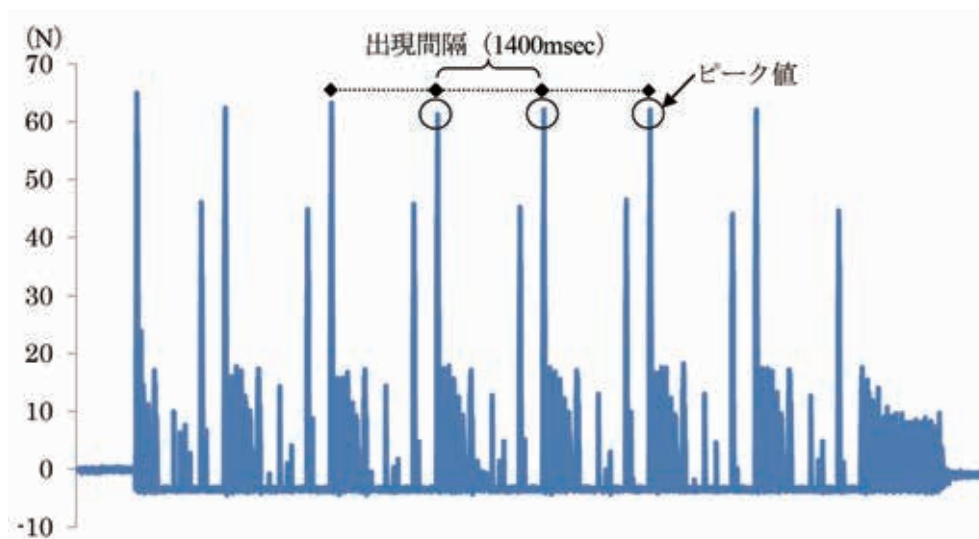


図5 代表的な力の計測結果

振動装置の往復回数は7回、動作の加減速値は1G、往復距離は $\pm 20\text{mm}$ 、スピードは100mm/sで設定した際の力を示している。

表1 ピーク値の平均値±標準偏差

	100mm/s	200mm/s	300mm/s
60mm	61.8 (61.7-62.0)	99.2 (99.0-99.6)	141.4 (141.0-143.0)
40mm	64.5 (63.6-65.1)	100.4 (96.9-102.0)	149.4 (146.0-153.0)
20mm	61.8 (61.3-62.1)	104.4 (103.0-106.0)	142.6 (140.0-143.0)

単位：N

表2 ピーク値出現間隔の平均値±標準偏差

	100mm/s	200mm/s	300mm/s
60mm	3000 (2999-3001)	1798 (1794-1800)	1400 (1398-1401)
40mm	2200 (2198-2203)	1401 (1394-1406)	1200 (1199-1201)
20mm	1400 (1398-1402)	1000 (999-1001)	800 (799-801)

単位：msec

約300msec後に振動装置が再度左側にスライドし始めてピーク値が出現した。振動装置が右側にスライドして止まった後に、左側に動き始めるまでの時間は全ての条件で約300msecであった。

振動装置が左側にスライドし始める際のピーク値を表1、ピーク値出現間隔を表2に示す。ピーク値は、往復距離による増減ではなく、スピードを速くすることで大きくなっていた。ピーク値出現間隔は、往復距離を短くすること、スピードを速くすることで短縮していた。

4. 考察

本研究では、身体的位置関係を変えなくても体幹の回旋負荷が生じる構造の運動器具の開発とその運動器具によって生じる力の計測を行った。その結果、振動装置をスライドレール上に設置するという構造の考案によって、新たな運動療法器具を開発することができた。腰部の位置関係を保持しながら、自らの四肢の運動をその負荷とすること、あるいは、不安定な支持面上で姿勢を保持することなどは一般的に行われているが⁷⁾、外部からの負荷を制動する本運動器具には新規性がある。運動器具によって生じる力は振動装置のスピード、そして、力が生じる間隔は振動装置のスピードと往復距離で、段階的に調節できることが分かった。器具の動きに合わせ、素早く運動方向を変更することは難易度が高いため、例えば、器具を使い始める際には、力が生じる間隔を長く設定することで器具の動きに合わせた運動が

行いやすいと考える。運動器具を使用する際には、遅いスピード、長い往復距離という設定から開始し、徐々に速いスピード、短い往復距離にすることで、発揮する力や力が生じる間隔を段階的に調節できることは魅力的である。振動装置がスライドして止まった後に、動き始めるまでの時間は、スピードや往復距離の設定には依存しなかった。つまり、運動方向が変わる前に必ず一定の時間があるということである。この一定の時間は、使用した振動装置の特性によるもので変更はできない。しかし、運動方向を変更するための準備ができる時間と考えれば、運動の難易度にも関係する。そのため、今後の振動装置の選定の際に考慮したい。

一般的に、体幹の安定を目的とした運動では、最大筋力の20-30%という低強度が推奨されている⁸⁾。先行研究では、健常男性の等尺性最大体幹回旋トルクが約90Nmで⁹⁾、健常者、ゴルファーの非腰痛者、ゴルファーの腰痛者間で等速性最大体幹回旋トルクに有意差はなく110~140Nmであったこと¹⁰⁾が示されている。例えば、最大体幹回旋トルクが90Nmの利用者が運動器具に向かって両肘関節を90°屈曲した肢位で運動器具の把持部を止めようとした場合、体幹回旋の中心から把持部までの長さを0.3mと仮定すると把持部で発揮できる最大体幹回旋筋力は300Nとなる。その場合、最大筋力の30%の負荷となる力は90Nとなる。あるいは、利用者の最大体幹回旋トルクを150Nmと仮定すれば、最大筋力の30%の負荷となる力は150Nとなる。今回、設定し

た振動装置の往復距離とスピードによって生じた力は約60-150Nであり、十分な負荷となる。しかし、今回、計測した力は振動部を固定して完全に止めたものであり、人が使用して反応が遅れた場合は、生じる力は減少する。今後、人の力で振動部を止めた際に、体幹筋力をどの程度発揮できているのか表面筋電図を用いて明らかにしていきたい。

5. 結語

今回、開発した運動器具は、振動する器具を止め

ることで運動できる構造であるということが示された。また、器具を止めるための力の定量化によって、体幹の安定を目的とした運動強度となるように段階的に調節できることが示された。

謝 辞

本研究は、平成28年度川崎医療福祉大学医療福祉研究費の補助を受けたものです。

文 献

- 1) 厚生労働省：平成25年国民生活基礎調査の概況。
<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-tyosa/k-tyosa13/index.html>, 2014. (2019.6.16確認)
- 2) Fujii T and Matsudaira K : Prevalence of low back pain and factors associated with chronic disabling back pain in Japan. *European Spine Journal*, **22**(2), 432-438, 2013.
- 3) 日本整形外科学会, 日本腰痛学会監修：腰痛診療ガイドライン2012. 南江堂, 東京, 2012.
- 4) Stuart McGill 著, 吉澤英造, 大谷清, 才藤栄一訳：腰痛—最新のエビデンスに基づく予防とリハビリテーション—. ナップ, 東京, 2005.
- 5) Moorhouse KM and Granata KP : Role of reflex dynamics in spinal stability: intrinsic muscle stiffness alone is insufficient for stability. *Journal of Biomechanics*, **40**(5), 1058-1065, 2007.
- 6) Cholewicki J, Silfies SP, Shah RA, Greene HS, Reeves NP, Alvi K and Goldberg B : Delayed trunk muscle reflex responses increase the risk of low back injuries. *Spine*, **30**(23), 2614-2620, 2005.
- 7) Richardson C, Hodges PW and Hides J 著, 齋藤昭彦訳：腰痛に対するモーターコントロールアプローチ—腰椎骨盤の安定性のための運動療法—. 医学書院, 東京, 2009.
- 8) Norris CM : Spinal stabilization: 4. Muscle imbalance and the low back. *Physiotherapy*, **81**(2), 127-138, 1995.
- 9) Parnianpour M, Nordin M, Kahanovitz N and Frankel V : 1988 Volvo award in biomechanics: The triaxial coupling of torque generation of trunk muscles during isometric exertions and the effect of fatiguing isoinertial movements on the motor output and movement patterns. *Spine*, **3**(9), 982-992, 1988.
- 10) Lindsay DM and Horton JF : Trunk rotation strength and endurance in healthy normals and elite male golfers with and without low back pain. *North American Journal of Sports Physical Therapy*, **1**(2), 80-89, 2006.

(平成29年11月8日受理)

Development of an Exercise Machine Using an Oscillation Device and Slide Rails

Hiroshi ISHIDA, Tadanobu SUEHIRO and Susumu WATANABE

(Accepted Nov. 8, 2017)

Key words : exercise machine, oscillation device, slide rail

Correspondence to : Hiroshi ISHIDA

Department of Rehabilitation

Faculty of Health Science and Technology

Kawasaki University of Medical Welfare

Kurashiki, 701-0193, Japan

E-mail : **ishida@mw.kawasaki-m.ac.jp**

(Kawasaki Medical Welfare Journal Vol.27, No.2, 2018 463 – 468)