

騎乗型他動訓練機の生体への効果

—最近の研究を中心に—

Effect to senior women by exercises on horse-back riding simulator

○ 三原 いずみ , 中野 紀夫

Izumi Mihara , Toshio Nakano

Home Appliance R&D Center, Panasonic Electric Works Co.,LTD

Key Words: horse-back riding simulator, cognitive performance, walking pattern, physical fitness

1. はじめに

1-1 騎乗型他動訓練機の歴史

1993年当時日本医科大学木村教授がヨーロッパの乗馬療法を視察し日本でも乗馬療法を浸透させたいとの思いを当社に打診されたことから、騎乗型他動訓練機の研究・開発は始まり、馬の常歩(なみあし)、速歩(はやあし)、駆足(かけあし)の3種類の動作が可能な6軸馬型ロボットが1995年に完成した。1998年には高齢者の筋力を中心とした体力への効果を検証した⁽¹⁾。(fig.1)

使用者が遥動している鞍にまたがることにより、使用者は鞍から落ちないように無意識に姿勢反射が働き、体幹や大腿の筋活動を中心とした運動が誘発される。これにより運動経験がない使用者でも簡単に運動することを可能にした。

2000年に鞍がリンク機構により前後・左右にスライドする家庭用のモデルを開発し、現在の機種で6代目となる。

その間、鞍が動きながら鞍全体が前後に傾斜する機構が追加され、運動強度2~3METsの軽い運動が可能となった。また上半身を音楽に合わせて体操させ運動時の消費カロリーをさらに増やす運動ソフトも開発した。

これらの開発に合わせ運動効果も検証した。高齢者・中年者を対象に、体力については体幹・大腿の筋力、姿勢、O脚、バランス、歩行速度への効果。体姿については体重減少、ウェストなど各身体部位寸法の減少。運動療法では、糖尿病やメタボリックシンドロームへの効果を検証した⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

1-2 騎乗型他動訓練機の機構

騎乗型他動訓練機は馬の常歩動作を再現する3軸動作を一つのモーターで実現するため、リンクとクランク機構を

用いて前後動作が左右運動に2倍の周波数で同調する関係を保ち、前後動作作用ギアと左右動作作用ギアの位相の組合せで乗馬のスムーズな8の字動作軌跡を実現している。

現在の騎乗型他動訓練機は、上下動、Yaw動作を加えた5軸動作が可能であり、馬の常歩に近い動作を再現している。

1-3 高齢者のQOL向上

加齢により脳の高次機能と行動体力の低下する高齢者は、QOLを維持または向上させるためには、脳の高次機能と行動体力のトレーニングを日常生活に組み入れることが必要となる。

脳の高次機能については、比較的運動強度の高い有酸素運動は、60~70歳にかけて加齢に伴う認知機能低下に対する抑制効果あることが示唆されている⁽⁶⁾⁽⁷⁾。しかし、低負荷の運動やスキルを伴う運動についてのまだ研究事例が少ない。

また、行動体力については、足把持力トレーニングは行動体力で重要な歩行、バランス力の向上に効果があることが報告されている⁽⁸⁾⁽⁹⁾。

軽負荷の運動が可能な騎乗型他動訓練機は、上半身を音楽に合わせて体操させる運動ソフトを開発したように、大腿部、腰部の筋力を使って鞍を固定すれば、上半身の運動や下肢・足の運動は比較的容易に追加できる。この騎乗型他動訓練機運動の特徴を生かし、いくつかの部分的な機構の変更と運動ソフトを作成し、認知機能と行動体力の維持、向上の二つの効果が同時に達成できるのでないのか考えた。



Fig.1 Development history of Horse Riding Simulation Equipment

(a) Six axis horses type robot in 1995 ; (b) Home appliance of Horse Riding Simulation Equipment in 2000 ; (c) Home appliance of Horse Riding Simulation Equipment in 2003 ; (d) Home appliance of Horse Riding Simulation Equipment in 2005; (e) Home appliance of Horse Riding Simulation Equipment in 2008



Fig.2 Equipment which we used for exercise



Fig.3 Stirrup physical exercises

2. 対象と方法

2-1 対象とトレーニング方法

騎乗型訓練機（当社製）を用いて 1 回 30 分，週 3 回，12 週間の訓練を実施する。用いた騎乗型他動訓練機は 3 軸動作の他動訓練機である。（Fig.2）

Fig.1(e)より大きさはコンパクトで，高齢者の乗りやすさを考慮している。また，鞍を幅広にしかつ足指部のエラストマが盛り上がり，足指でその盛り上がりをつめる形状にした。

対象者は 55～69 歳の健常な女性 30 名で，被験者は年齢，体重，BMI がバランスするようランダムに 2 群に振り分け，一群は揺動しながらシートが傾斜する時間を長くし，体幹を積極的に訓練して運動強度を増やす体幹運動群 15 名（年齢：62.8±3.7 歳，体重：52.1±8.3 kg，BMI：22.1±3.7）である。もう一群はシート動作に合わせて足指の伸展・屈曲と膝の伸展・屈曲を行い，歩行のような運動スキルを要求するあぶみ体操併用群 15 名（年齢：62.7±3.5 歳，体重：53.2±8.6kg，BMI：22.5±3.1）である。

体幹運動群(以後:体幹群)では，揺動運動をしながら腹筋と背筋の訓練を意識してもらい，前傾時には腹筋に効くように上体を後方へ倒し，後傾時には上体を前方へ倒す。9 週目以降は，物足りなければ腕も上げて体幹の訓練を行う。

あぶみ体操併用群(以後:足指群)では，揺動運動をしながら 3 週目以降，足指「ぐう」「ばあ」動作（足指の伸展と屈曲）と左右交互動作（膝の伸展と屈曲）を追加する。最初

は騎乗型訓練機の正回転時のみ，9 週目以降は逆回転時にも導入する。あぶみ体操の例を図 5 に示す。

本研究は，当社倫理委員会の承認を得，対象者にはインフォームドコンセント得ている。

2-2 測定項目

12 週間の訓練前後で測定を行った。行動体力は，筋力・体力，姿勢，歩容を測定した。

体力として，体幹と大腿部の等尺性最大筋力を測定した。オージー技研社製の筋力計 GT-10，GT-30，GT-50，GT-350 (OG 技研)を用いて，膝伸展・屈曲筋力，股関節伸展・屈曲筋力，背筋力，腹筋力を測定した。足ゆび間力(日伸産業)，足ゆび屈曲力を（握力計 T.K.K.5401，竹井機器工業を改良），握力を測定した。柔軟性は，長座位体前屈を測定した。

歩容は，身体の解剖学的指標計 7 箇所にもマーカーをつけ，歩容を CCD カメラで収録し，足首の伸び，上体引き上げ，歩幅，歩行速度，腕の振りを測定した。合わせて UP & GO テストも行った。

姿勢は，姿勢身体の解剖学的指標計 20 箇所にもマーカーをつけ，2.5m 位置から正面，側面，背面の 3 方向から同時に写真撮影した。撮影時は，両足を揃え，両手は下腹部に置き，リラックスするように指示した。骨盤角度は，上前腸骨棘と上後腸骨棘を結んだラインと水平線のなす角，背中の角度は鉛直線と肩峰-耳珠のなす角度とした。

脳機能として，敏捷性課題（全身反応，PVT）と認知課題（ストループ，N-バック，数字記憶）の成績を比較す

Table 1. Isometric maximum muscular strength increase ratio per body weight in comparison with before exercise

	Trunk G., Post (n=15)		Toe G., Post (n=15)	
Trunk extension	144.1	(24.2) ****	136.9	(31.6) ***
Hip joint extension	129.5	(26.4) ***	137.9	(26.1) ****
Knee flexion	118.4	(24.5) *	120.8	(16.6) ***
Ankle plantarflexion	122.3	(24.6) **	134.8	(26.5) ***
Toe grasp	120.8	(19.3) ****	120.3	(17.0) ***
Toes	125.8	(36.8) *	154.7	(29.7) **** †
Ankle dorsiflexion	144.9	(32.7) ***	132.7	(25.7) ***
Knee extension	138.1	(30.4) ***	129.7	(20.6) ****
Hip joint flexion	127.9	(20.7) ***	114.6	(15.2) ** Δ
Trunk flexion	121.1	(28.7) *	116.1	(12.9) ***
Hand grasp	100.6	(9.0)	104.9	(6.9) *

Values are means (SD) ; n: no. of subjects ; * significant differences between pre and post (P<0.05);

** significant differences between pre and post (p<0.01); *** significant differences between pre and post (p<0.001);

**** significant differences between pre and post (p<0.0001) ; † significant differences between Trunk G. and Toe G.

(p<0.05); Δ significant differences between Trunk G. and Toe G. (P<0.10)

Table 2. Comparison of physical fitness between pre-exercise and post-exercise

	Trunk G. (n=15)		Toe G. (n=15)	
	Pre	Post	Pre	Post
sit-up (times)	4.9 (4.3)	11.5 (8.1) ***	6.3 (5.7)	12.1 (9.1) **
Trunk flexion (cm)	36.6 (6.5)	40.1 (6.6) **	37.5 (8.2)	41.8 (6.3) ***
One-leg standing time with eye open (sec)	109.4 (31.0)	109.8 (27.0)	99.7 (42.3)	105.6 (30.6)

Values are means (SD) ; n: no. of subjects ; ** significant differences between pre and post (p<0.01);

*** significant differences between pre and post (p<0.001);

Table 3. Comparison of walking pattern and static posture between pre-exercise and post-exercise

	Trunk G. (n=15)		Toe G. (n=15)	
	Pre	Post	Pre	Post
Normal walking speed (m/min.)	75.2 (7.4)	80.8 (9.3) **	74.2 (9.8)	78.7 (11.2) *
Step length (cm)	61.6 (5.1)	62.2 (5.3)	60.4 (4.5)	62.2 (5.4) *
Ankle angle (°)	119.8 (5.1)	120.4 (6.8)	120.1 (8.0)	121.9 (9.7)
Brachial swing angle (°)	18.3 (15.3)	12.8 (9.3) *	16.3 (6.7)	16.1 (10.0)
Cephalic up-and-down motion (cm)	3.8 (1.2)	3.8 (1.1)	3.7 (0.8)	4.0 (1.0)
Up & Go Test (sec)	8.0 (0.9)	7.4 (0.5) **	8.1 (0.7)	7.4 (0.9) **
Inclination of neck (°)	20.4 (6.4)	16.7 (8.8)	19.5 (5.4)	11.7 (3.3)**** †
Inclination of pelvis (°)	18.3 (4.7)	18.2 (7.1)	16.3 (5.4)	16.7 (5.7)

Values are means (SD) ; n: no. of subjects ; * significant differences between pre and post (P<0.05);

** significant differences between pre and post (p<0.01); *** significant differences between pre and post (p<0.001);

**** significant differences between pre and post (p<0.0001) ; † significant differences between Trunk G. and Toe G. (p<0.05)

る。また主観評価 (VAS 法: もの忘れずる, 他) の評価を行った。

全身反応は, 3 m 前に設置されたランプが 3 色のうち特定の色に点灯したときすばやく両足を床から離す選択反応課題を約 30 回繰り返すもので, 反応時間の測定には竹井機器社製の全身反応計 Type-II を使用した。

PVT は, 画面に約 3 秒間隔で映し出される 3 種類の単純図形のうち, 特定の標識図形が提示されたときに足マウスをクリックし, その反応時間を測定した。

ストループは, あか, あお, みどり, きいろ, のいずれかの文字が画面に提示されるが, その文言に惑わされずに文字の色を答える。

N-バックは, 1 桁の数字を数秒間隔で提示して三つ前に提示された数字と同じかどうかを判断し, 正答率を評価する前頭葉の機能検査である。

数字記憶は, 画面に提示される 20 桁の数字列を 30 秒間で先頭から記憶し, 口頭で再生する即時記憶の課題である。

3. 結果

12 週間のトレーニングの前後の結果を表 1~表 4 に示した。

3-1 等尺性最大筋力と体力

等尺性最大筋力は, 体幹群の握力以外両群とも姿勢, 歩行に関わる全ての筋力は訓練前に比べ増加した。足指群の足指間力は体幹群に比べ有意に増加し, 股関節屈曲力は, 体幹群が足指群に比べ有意傾向で増加した。体幹群は腹側筋群が増加傾向を示し, 足指群は背側筋群増加傾向を示した (Table.1)。

両群とも上体起こし回数と長座位体前屈は両群とも訓練前と比較すると増加した。しかし, 開眼片足立ち時間は訓練前後で有意差がなかった。訓練前の時間が力群ともほぼ 120 秒であったことが原因と考えた (Table.2)。

3-2 歩容と立位姿勢

立位姿勢は, 骨盤角度には両群とも訓練前後で変化はなかったが, 首の角度は足指群が小さくなり, 猫背が改善した。 (Table.3)

両群とも通常歩行速度は速くなり, UP & GO テストは時間が短縮した。通常歩行において, 足指群は歩幅が増加し, 体幹群は腕の振りが増加した。体幹群は速く足を動かし通常歩行速度が速くなった。対して足指群は, 歩幅の長くなりつまり歩容が改善することにより通常歩行速度が増加した。 (Table.3)

3-3 認知課題, 反応時間

足指群は, 数字記憶数, N-Back テスト正答率, ストループテストで訓練後増加した。体幹群は, N-Back テスト正答率, ストループテストで訓練後増加し, 数字記憶数では有意な増加はなかった。PVT 正答率は両群とも訓練前に高い正答率だった。「物忘れ」の主観評価 (VAS) では両群とも点数が増加した。 (Table.4)

体幹群は, N-Back テスト, PVT テスト反応時間, 全身反応時間全て訓練後に短縮した。足指群は N-Back テストは反応時間が短縮したが, PVT テスト, 全身反応時間は有意な短縮はなかった。全身反応時間は, 体幹群が訓練後足指群に比べ有意傾向で短縮した。 (Table.4)

足指群は数字記憶数で有意な増加が示すように認知課題で改善し, 体幹群は全身反応時間の短縮が示すように反応時間で改善した。

4. 考察

評価結果から, 騎乗型訓練機を用いた運動において, 運動ソフトの種別によって効果にも違いが生じることがわかった。

敏捷性の向上には運動スキルを要求する訓練よりも運動強度を増やす訓練が有利であった。体幹群は, 騎乗型訓練機を速度を上げて腹筋や背筋に意識させたこともあり大筋

Table 4. Comparison of affiliation problem test and reaction time between pre-exercise and post-exercise

	Trunk G. (n=15)		Toe G. (n=15)		
	Pre	Post	Pre	Post	
Number of number memory test	9.5 (2.1)	9.9 (2.2)	8.5 (2.2)	10.3 (2.8) *	
Correct answer rate of N-back (%)	71.8 (13.9)	77.3 (12.9) *	71.1 (16.5)	80.8 (11.9) *	
Correct answer rate of PVT (%)	95.5 (5.2)	98.5 (1.6) *	97.8 (3.9)	99.4 (1.2)	△
Time of stroop test (sec)	162.9 (41.2)	150.2 (34.3) *	155.3 (43.2)	138.4 (32.5) *	
Forgetfulness VAS (mm)	73.1 (21.6)	83.5 (24.7) *	67.4 (22.1)	86.6 (16.6) **	
Reaction time of N-back test (sec)	1.46 (0.2)	1.20 (0.2) ****	1.27 (0.2)	1.11 (0.2) **	
Reaction time of PVT test (sec)	0.67 (0.1)	0.64 (0.0) *	0.66 (0.1)	0.65 (0.1)	
Systemic reaction time (sec)	0.47 (0.1)	0.44 (0.1) *	0.50 (0.1)	0.48 (0.1)	△

Values are means (SD) ; n: no. of subjects ; * significant differences between pre and post (P<0.05);

** significant differences between pre and post (p<0.01); **** significant differences between pre and post (p<0.0001)

△ significant differences between Trunk G. and Toe G. (P<0.10)

群, 腹側への負荷が大きくなり, パワーやスピードを高める目的により適していると考えられる. その結果スピードが大きく関与する反応課題で改善がみられやすい可能性がある.

認知課題の成績向上には運動スキルを要求する訓練が相対的に有利であった. ストロープと N-バックは両群で向上したが, 数字記憶課題では足指群のみに効果が確認された. トレーニング中にあぶみ体操併用群の被験者からコメントを求めると, 運動中に実感されるのは運動の激しさではなく, 「騎乗型訓練機の動きに合わせて脚や足指を動かすのは頭で汗をかいているようで」といった動作の難しさであった. VAS 法による主観評価「もの忘れ」の訓練前からの増加量と数字記憶課題の訓練前からの増加量の相関係数は, $r=0.38$ ($p<0.05$)と正の相関があったことは興味深い.

NIRStation を用いた騎乗型訓練機での揺動運動中, oxyHb の評価では, 運動開始数分後には前頭部や頭頂部において増加傾向を示す. この傾向は, 揺動運動しながら同時に注意を配分する課題がある場合に増大する. これらのことは騎乗型訓練機による運動が前頭部や頭頂部の脳血流を変化させることを示した⁽¹⁰⁾.

また, 足指群の運動は揺動する騎乗型他動訓練機のシートを大腿部で締めると同時に, 下肢, 足, 足指, 腕は歩行に合わせて動かすように指示した. このことは, 落ちないように姿勢を正常に保ち, 騎乗しながら歩行の訓練をすることとほぼ等しい. 騎乗型訓練機の体幹・大腿・下肢の筋力アップ, 各種体力増加を合わせて, 姿勢改善, 歩容の改善につながったのではないかと考えた.

5. 結論

乗るだけで体幹・大腿部の運動が可能な騎乗型訓練機は大腿部を除いた身体部位では容易に運動を付加できるという特徴を利用して体幹・大腿部の運動を負荷訓練と足指, 足, 下肢, 腕を歩行のように動かすという運動スキルを要求する訓練を, 初期高齢女性を対象に 1 日 30 分, 週 3 回, 12 週間行った. 体幹を負荷する訓練は, 運動のパワーとスピードを向上させ, 歩行のような運動スキルを要求する訓練は, 歩容, 姿勢の向上と認知機能の向上をさせた.

6. 謝辞

最後に, 国際医療福祉大学 木村 哲彦 教授, 京都大学 森谷 敏夫 教授, 愛知医科大学 丹羽 滋郎 名誉教授はじめ,

ご指導いただいた先生方に深く感謝いたします.

参考文献

- (1) 四宮葉一, 木村哲彦, 乗馬療法機器の開発と筋力トレーニング効果と検証, TVRSJ, vol.3, 2001
- (2) Masakazu Kubota, Yuzo Sato, Mechanical horseback riding improves insulin sensitivity in elder diabetic patients, DIAB, vol. 3396, pp.1-7, 2005
- (3) Toshio Nakano, Izumi Mihara, Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med, vol.55 Suppl, pp.S102-S108, 2006
- (4) 三原いずみ, 白澤直人, 5軸動作他動式運動器具の体重とウエストの減少効果, 松下電工技報, vol.56, no.1, p4-10, 2008
- (5) 三原いずみ, 丹羽滋郎, デジタル写真撮影による姿勢評価を用いた乗馬型他動訓練機のアライメント改善効果, BPES, pp33-36, 2006
- (6) Kramer F., Hahn S., Cohen N.J., Banich M.T., McAuley E., Harrison C.R., Chason J., Vakil E., Bardell L., Boileau R.A. and Colcombe A. : Ageing, fitness and neurocognitive function., Nature, Vol. 400, p. 418-419 (1999)
- (7) Kramer F., Exercise, cognition, and the aging brain, J. Appl. Physiol., Vol. 101, p. 1237-1242 (2006)
- (8) 村田伸, 忽那龍雄, 在宅障害高齢者に対する転倒予防対策, 日本在宅ケア学会誌, vol.7, No.2, pp67-74, 2004
- (9) 伊原秀俊, 三輪恵, 足指訓練の持続効果, 整形外科と災害外科, vol.46, no.2, pp.393-397, 1997
- (10) 中野紀夫, 萩原啓, 騎乗型訓練機による脳活性と認知課題の学習促進, パナソニック電工技報, vol.58, no.2, pp.34-39, 2010