運動後の姿勢制御評価の試み

Evaluation of Postural Control after Exercise

牧迫飛雄馬¹⁾ 谷 浩明²⁾ 西田 裕介³⁾ 加辺 憲人⁴⁾
岸田あゆみ⁵⁾ 増田 幸泰⁶⁾ 渡辺観世子⁷⁾ 田中 淑子⁸⁾

HYUMA MAKIZAKO, RPT¹⁾, HIROAKI TANI, RPT²⁾, YUSUKE NISHIDA, RPT³⁾, NORIHITO KABE, RPT⁴⁾,
AYUMI KISHIDA, RPT⁵⁾, YUKIYASU MASUDA, RPT⁶⁾, MIYOKO WATANABE, RPT⁷⁾, YOSHIKO TANAKA, RPT⁸⁾

¹⁾ Itabashi Rehabili Home-visit Nursing Station: 2-68-2, Itabashi, Itabashi-ku, Tokyo 173-0004, Japan. TEL +81 3-5943-3151

²⁾ Department of Physical Therapy, Faculty of Health Science, International University of Health and Welfare

³⁾ Physical Therapy Section, Health Sciences Program, Health and Welfare Sciences course, Graduate School of International University of Health and Welfare

⁴⁾ Department of Physical Therapy, Hatsudai Rehabilitation Hospital

⁵⁾ Department of Physical Therapy, Tokyoto Saiseikai Central Hospital

⁶⁾ Department of Physical Therapy, International University Health and Welfare Hospital

⁷⁾ International University Health and Welfare Rehabilitation Center

⁸⁾ Department of Physical Therapy, Yanagawa Rehabilitation Hospital

Rigakuryoho Kagaku 18(4): 213-217, 2003. Submitted May 26, 2003. Accepted Jul. 24, 2003.

ABSTRACT: The purpose of this study was to explore the possibility of evaluating postural control based on the changes in the center of foot pressure (hereinafter referred to as COP) after doing exercises. After doing treadmill exercise at a variety of velocities, forward-moving distances by running in place and changes of COP over time were measured using normal healthy young subjects. The healthy young subjects showed high values of forward-moving distances by running in place and COP just after treadmill exercise, which gradually decreased. It was found that the procedure varied according to the velocity of treadmill. It was also suggested that the COP value has a different implications from that of usual values. Consequently, it was considered that it is important to evaluate postural control just after exercise.

Key words: center of foot pressure, postural control, treadmill

要旨: 本研究の目的は、運動後の足圧中心動揺(以下COP)変化による姿勢制御評価としての可能性を探ることである。健康若年者を対象に速度の異なるトレッドミル運動後のその場ランニングでの前方移動距離、COPの経時変化を測定した。健康若年者において、その場ランニングでの前方移動距離、COPはトレッドミル運動直後に高値を示し時間経過とともに低下した。また、この変化は、TR速度によって異なることが示された。COPによる評価は従来の姿勢・動作評価とは異なるものを評価していることが示唆された。この結果より、運動直後のCOPで姿勢制御を評価することは有用となり得ると考えられた。

キーワード: 足圧中心動揺, 姿勢制御, トレッドミル

¹⁾ 板橋リハビリ訪問看護ステーション: 東京都板橋区板橋2-68-2 (〒173-0004) TEL 03-5943-3151

²⁾ 国際医療福祉大学保健学部理学療法学科 ³⁾ 国際医療福祉大学大学院医療福祉研究科保健医療学専攻理学療法分野

⁴⁾ 初台リハビリテーション病院 ⁵⁾ 東京都済生会中央病院 ⁶⁾ 国際医療福祉病院

⁷⁾ 国際医療福祉リハビリテーションセンター ⁸⁾ 柳川リハビリテーション病院

受付日 2003年5月26日 受理日 2003年7月24日

I. はじめに

高齢者および高齢障害者では立位能力、歩行能力が低下し、転倒の頻度は高くなる。転倒には様々な要因があるが、姿勢制御系の能力変化も要因のひとつと考えられる。これは、意図した運動に対し、姿勢制御系が正常に機能・反応しない状況が転倒を誘発してしまうものと考ええる。我々は、意図した運動を安全に遂行するために、環境に適した姿勢の調節を行っている。例えば、歩行や走行時は、常に局所の地形にあわせたり、荒れた地面から道を選択するような調節を無意識的に行っている。日常生活の中では、このような調節をエスカレータ、動く歩道などといった人工的な環境でも行っている。しかし、加齢による身体機能の低下などにより、こうした無意識での環境への姿勢、行動の適応が困難となると予想される。

姿勢調節能力の検査として、Nashner¹⁾は、姿勢調節に関与する視覚・体性・前庭感覚からの情報を操作した際の生体応答を反応時間、圧中心の移動軌跡などから分析する方法を提唱している。姿勢制御とバランスに関連して、床面に外乱を加えたときの反応や障害物の出現に対する身体反応様式を評価したものがある^{2,3)}が、Owingsら⁴⁾によると、健康高齢者において姿勢安定性の測定では、外乱刺激からの応答を予測できないと報告している。また、姿勢の調節に関連して、いくつか興味深い研究がある。

Anstis⁵⁾は閉眼にて8 km/hのトレッドミルランニングを行った後、その場でランニングを行うと無意識に前方へ進んでしまう距離が増加したと報告している。Anstisは、これをトレッドミル上で得られたランニング感覚の残効(aftereffects)と呼び、さらに、この残効はトレッドミルランニング終了後1から2分で徐々に消失すると報告している。この報告のなかでは、この感覚の残効は末梢レベルでの調節である可能性を示唆している。ただし、こうした残効に関する研究は、その場ランニングにおける前方移動の有無という現象のみを問題としており、残効の閾値や強度といった異なった視点からの検討の余地がある。また、この現象を定量的に評価することができれば、先述した姿勢制御能力の変化を捉える評価につながるのではないかと考えられた。

そこで、まず実験1では、Anstis⁵⁾の報告を基に、その場ランニングでの前方移動距離を指標として、追試研究に加え、残効の閾値や強度といった異なった視点から、

体性感覚残効がトレッドミル走行の速度変化に依存するかどうかについての検討を試みた。次に実験1の結果をふまえ、実験2として、残効の指標として静止立位での足圧中心動揺(Center of Foot Pressure: 以下COP)を用いた。実験2ではCOPにおける各指標で、トレッドミル走行・歩行前後の経時変化、ならびにトレッドミル速度変化による影響を検討することを目的とした。トレッドミル運動後のCOP変化を測定することで、その後の姿勢制御能力の定量評価を試みた。

II. 対象および方法

〔実験1〕トレッドミル走行による体性感覚残効の検討

1. 対象

対象者は、本研究の主旨、目的、方法を書面および口頭にて十分説明され、同意の得られた若年健康成人10名(男性5名、女性5名、年齢 22.1 ± 1.1 歳、身長 168.1 ± 8.7 cm、体重 60.3 ± 9.7 kg)であった。

2. 方法

対象者は視覚および聴覚の影響を極力制限する理由で課題を施行中に常時アイマスク及び耳栓を装着することとした。まず、安静座位保持後、15秒間のその場ランニングを施行した。その場ランニングは、閉脚立位より、検者の合図でその場でランニングを開始し、15秒間経過した時点で、検者からの合図で速やかに停止し、立位を保つようにした。その後、トレッドミル(車椅子用トレッドミルSPR-7050, SAKAI社製)上に設置されたハンドレールを把持した状態での走行を1分間行った。トレッドミル走行時は、徐々に速度を上げ、設定速度に達した時点から1分間の走行とした。トレッドミル走行終了20秒後、120秒後に15秒間のその場ランニングを行った。トレッドミル走行の速度は4, 6, 8 km/hのランダムとし、それぞれの速度での課題施行間には5分間の安静座位を挿入した(図1)。トレッドミル走行終了後のその場ランニング施行間は自然立位保持とした。その場ランニング開始立位の両踵中点と終了時立位の両踵中点の距離を移動距離としてメジャーで測定し、0.5 cm単位で記録した。

統計学的検討は、その場ランニング移動距離に関して、対象者とトレッドミル速度を要因とする二元配置分散分析を行った。統計処理は、StatView-J5.0を用い、有意水準は5%とした。

<実験1>

RP: 15秒間その場ランニング (running in place)

1分間トレッドミル走行: 4・6・8 km/hをランダムに実施。各課題間には5分間休息。

<実験2>

COP: 30秒間足圧中心動揺測定 (center of foot pressure)

1分間トレッドミル運動: 8 km/h走行および4 km/h歩行

2つの速度条件の測定は2週間以上の間隔を空けて実施。

図1 実験手順

〔実験2〕トレッドミル運動後の足圧中心動揺変化

1. 対象

対象者は、本研究の主旨、目的、方法等を書面および口頭にて十分説明され、同意の得られた若年健常成人20名（男性9名、女性11名、年齢 23.7 ± 1.6 歳、身長 164.6 ± 8.1 cm、体重 60.1 ± 9.1 kg）であった。

2. 方法

対象者は重心動揺計（TWIN GRAVI ANALYZER G6100, ANIMA社製）上に自然立位をとり、閉眼にて静止立位でのCOPを30秒間測定した。測定肢位は、閉眼自然立位とし、上肢は体側に自然下垂させ、下肢は肩幅程度の開脚位とした。また、つま先の開き角度は任意とした。COP測定肢位はなるべく同一の立位姿勢をとるように指示した。

COP測定後、トレッドミル（車椅子用トレッドミルSPR-7050, SAKAI社製）に設置された危険防止のためハンドレールを把持した状態で、8 km/hでのトレッドミル走行を1分間施行した。トレッドミル走行終了10秒後、120秒後、210秒後に再度30秒間の閉眼開脚でのCOPを測定した。トレッドミル走行終了直後、速やかに重心動揺計へ誘導し、自然立位姿勢を確認し、COPの測定を開始した。各測定間の安静椅子座位においてもアイマスクは装着し、閉眼を保持した。同様に4 km/hでのトレッドミル歩行後にも10秒後、120秒後、210秒後にCOPを測定した。な

お、先に行った測定の影響を除外するため、2つのトレッドミル速度条件の測定は2週間以上の間隔を空けて実施した（図1）。

統計学的検討は、総軌跡長、外周面積のそれぞれについて、トレッドミル速度とトレッドミル運動終了後経過時間を要因とする二元配置分散分析を行った。また、トレッドミル速度毎にトレッドミル運動終了後経過時間を要因とする一元配置分散分析を行い、水準間の比較を行うためにテューキー・クレーマーの方法（Tukey-Kramer's method）を用いた。統計処理は、StatView-J5.0を用い、すべての統計学的処理において有意水準は5%とした。

III. 結 果

実験1の結果を表1に示す。トレッドミル走行課題終了20秒後のその場ランニング前方移動距離は、有意な増加を示し、対象者（ $F_{9,18}=14.3$, $p<0.01$ ）、トレッドミル速度

表1 その場ランニング前方移動距離（cm）

トレッドミル走行前	92.7 ± 53.2	
	20秒後	120秒後
4 km/h	228.8 ± 93.4	160.1 ± 74.3
6 km/h	259.3 ± 127.5	176.2 ± 90.2
8 km/h	289.8 ± 131.0	177.7 ± 98.2

平均値 ± 標準偏差

表2 若年者におけるトレッドミル歩行・走行前後のCOP変化

	総軌跡長 (cm)		外 周面積 (cm ²)	
	4 km/h歩行	8 km/h走行	4 km/h歩行	8 km/h 走行
トレッドミル開始前	27.63 ± 6.54	29.18 ± 9.59	0.87 ± 0.59	1.09 ± 0.65
10秒後	32.82 ± 7.86	39.35 ± 10.52	1.23 ± 0.82	1.83 ± 1.20
120秒後	30.37 ± 7.53	29.82 ± 6.28	1.05 ± 0.60	1.33 ± 1.03
210秒後	26.07 ± 6.81	27.75 ± 7.52	0.89 ± 0.53	1.06 ± 0.55

平均値 ± 標準偏差 * p<0.05

($F_{2,18}=3.6$, $p<0.05$) のいずれも有意な主効果を示した。120秒後では、対象者の有意な主効果は認められた($F_{9,18}=61.2$, $p<0.01$) が、トレッドミル速度の主効果は認めなかった。

また、実験2の結果を表2に示す。総軌跡長に関して、分散分析の結果、速度による主効果は認められなかったが、時間による主効果は有意となった($F_{3,114}=30.2$, $p<0.01$)。また、速度と時間の交互作用も有意となった($F_{3,114}=4.2$, $p<0.01$)。テューキー・クレーマーの方法による比較では、4 km/hトレッドミル歩行課題においては、開始前と10秒後、10秒後と210秒後、120秒後と210秒後で有意差を認め($p<0.05$)、8 km/hトレッドミル走行課題においては、開始前と10秒後、10秒後と120秒後、10秒後と210秒後で有意差を認めた($p<0.05$)。また、外周面積に関して、分散分析の結果、速度による主効果は認められなかったが、時間による主効果は有意となった($F_{3,114}=7.9$, $p<0.01$)。また、速度と時間の交互作用は示さなかった。テューキー・クレーマーの方法による比較では、4 km/hトレッドミル歩行課題においては、どの項目でも有意差を認めなかった。8 km/hトレッドミル走行課題においては、開始前と10秒後、10秒後と210秒後で有意差を認めた($p<0.05$)。

IV. 考 察

我々はより速い速度での運動に順応すれば、記憶された体性感覚は強く、長時間に残効を認めるであろうという仮説のもとに実験1を実施した。

結果からその場ランニングにおける移動距離は20秒後に比べて120秒後が短くなる傾向がみられた。分散分析の結果では、トレッドミル速度の主効果は20秒後では認められたが、120秒後では認められなかった。つまり、トレッドミル運動終了20秒後では順応体性感覚の残効には速度の影響を認めたが、120秒経過すると速度による影響

は消失した。トレッドミルでは、運動の出力と姿勢の位置関係との間に平地歩行と比較して不一致が引き起こされている。したがって、トレッドミル上ではこの不一致を解消するため、身体からの出力と外部からの入力との調節が行われていると考えられる。その場ランニングでの残効は、このトレッドミル走行での調節が平地では不適切なため起こる現象であると考えられる。実験1から、この残効の大きさはトレッドミルでの走行速度に影響を受けることが認められた。ただし、ある一定時間以上経過すると、残効の走行速度依存性は徐々に消えていくことが示された。

しかし、この前方移動距離は姿勢の評価としては、精度に疑問があるなど不向きな点がある。そこで、実験2では、COPを指標として用いた。

静止立位でのCOPでは動揺の大小が必ずしも平衡能力の優劣を意味するとはいえず⁶⁾、外乱刺激を与えない静止立位でのCOPでは、動揺距離や面積などの変数から平衡能力の優劣を評価できるまでには至っていない。

実験2のCOP測定結果より、総軌跡長と外周面積はトレッドミル運動直後に高値を示し、時間経過とともに低下し、120から210秒経過するとその値は開始前とほぼ同等まで回復した。この変化は、総軌跡長については、速度と時間の交互作用が有意となったが、外周面積では有意な交互作用を示さなかった。このことは、COPのパラメータによって、トレッドミル速度の影響を受けやすいものとそうでないものがあることを示唆している。また、トレッドミル運動後の外周面積増加の程度も4 km/hと8 km/hで異なり、運動後の足圧中心の動揺は運動速度により異なることが示唆された。評価パラメータとして静止立位での測定値を用い、トレッドミル運動後の変化をとらえた本研究の結果より、姿勢制御能力を定量的にみていくことができる可能性があると考えられる。

今回用いたパラメータである総軌跡長、外周面積の変

化がどのような機序で起こるか、また、それが臨床的にどのような意味を持つかについては、未だに明らかではない。岩元ら⁷⁾によると迷路は直立姿勢維持において、軌跡長よりも面積のモニターを主として行っており、逆に、深部感覚は面積よりも軌跡長のモニターを主に行っていると推測している。

今回の課題であるトレッドミル上で運動した後に、安定した立位を保持するためには、トレッドミル上で適応した動作、姿勢変化などのあらゆる感覚を制御する機能が発揮される必要がある。運動直後のCOPは、トレッドミル速度に影響されるが、実験1のその場ランニング同様に120秒経過すると速度による差はみられなくなる。つまり、その場ランニングでみた残効と同様に、トレッドミル運動後のCOPにも同じような現象を確認することができた。

V. 結 語

本研究では、運動前後のCOP測定を用いた指標による姿勢制御能力評価の可能性を探ることを目的とした。実験1のその場ランニングという課題を用いたトレッドミル走行後の体性感覚残効の有無、持続性、速度依存性の検討から、トレッドミル走行で適応した体性感覚は、適応するトレッドミル速度の影響を受けるが、時間とともに速度依存の影響は消えることが確認された。トレッドミル運動後のCOPの変化をみた実験2では、トレッドミル

運動後のCOPはトレッドミル速度に影響を受けて増加することが明らかとなった。

COPパラメータによる残効の測定評価は、動的姿勢制御能力捉える手がかりになり得ると考えられたが、これを妥当性のある方法にするためには、今後さらなる検討が必要である。

文 献

- 1) Nashner LM: Computerized dynamic posturography. Handbook of balance function testing (by Jacobson GP, et al.), Mosby Year Book, St Louis, 1993, pp280-307.
- 2) Tang PF, Woollacott MH: Inefficient postural responses to unexpected slips during walking in older adults. J Gerontol, 1998, **53A**(6): 471-480.
- 3) Schillings AM, Wezel BMHV, Mulder TH, et al.: Muscular responses and movement strategies during stumbling over obstacles. J Neurophysiol, 2000, **83**: 2093-2102.
- 4) Owings TM, Pavol MJ, Foley KT, et al.: Measures of postural stability are not predictors of recovery from large postural disturbances in healthy older adults. J Am Geriatr Soc, 2000, **48**: 42-50.
- 5) Anstis S: Aftereffects from jogging. Experiment Brain Research, 1995, **103**: 476-478.
- 6) 山次俊介, 出村慎一, 野田政弘・他: 足圧中心動揺による評価変数の日間信頼性の検討. Equilibrium Research, 2001, **60**(4): 217-226.
- 7) 岩元正広, 井上裕章, 安田知久・他: 直立姿勢維持における迷路と深部感覚の役割. 耳鼻と臨床, 1997, **43**: 471-477.