

歩行運動の生理的反応とその主観との関係性 Relationship of subjective and physiological responses of locomotion

廣瀬 昇*1
Noboru Hirose

田中 和哉*1
Kazuya Tanaka

跡見 友章*1
Tomoaki Atomi

*1 帝京科学大学 医療科学部 理学療法学科

Teikyo University of Science, Faculty of Medical Science, Department of Physical Therapy

長谷川 克也*2
Katsuya Hasegawa

清水 美穂*3
Miho Shimizu

跡見 順子*3
Yoriko Atomi

*2 JAXA 宇宙研究開発機構

*3 東京農工大学 セルツーボディダイナミクスラボ

Japan Aerospace Exploration Agency Tokyo University of Agriculture and Technology, Cell to Body Dynamics Laboratory

脳の進化・発達と運動機能の間には密接な関係がある。外部環境に適応するには身体運動の多様化が必須である。ヒトは直立二足歩行を獲得し、進化した。運動生理学分野では「主観的運動強度」を用い、至適運動強度が運動の持続性、継続性を保証する。今回は、歩行運動時の生理的反応とその主観との関係性を調査し、歩行運動と行動発現を紹介する。快適に運動行動を実現できることと情動や感情の起源について考えてみたい。

1. 運動生理学分野より捉えるヒトの歩行運動

完成されたヒトの歩行は自動化され、無意識下での身体活動と言える。さらに、歩行とは個人が有する運動技術であり、バイオメカニクス、運動生理学的側面など様々なパラメータ変数により運動分析をすることが可能である。その一方でヒトが環境の中を移動するという歩行本来の複数に亘る目的を達成する一手段でもある。運動生理学分野より、日常生活の活動に適応する歩行の生理学的コストパフォーマンスを測定する客観的な方法として、生理学的コスト指数 (Physiological cost index 以下、PCI) が挙げられる (MacGregor, 1979)。同測定法は、自由歩行を中心として心拍数を利用した測定であり、簡便に心臓血管系反応が把握できるため、効果判定としてリハビリテーション分野に応用される。また、生理学的強度 (HR, %HR max, %Vo2 max)、物理的強度 (歩行速度など) の両者を反映することのできる指標としても確立されている。

リハビリテーション分野の研究報告では、中枢神経疾患患者における歩行の運動効率についての報告が多く、在宅の脳卒中片麻痺患者の屋外歩行の実用性の判別について、PCI による判断係数値の信頼性が最も高く、生活機能の予測因子として利用できることを報告している (横塚, 2000)。加えて、地域在住高齢者や運動発達障害者、脳卒中患者など対象者においても適応が拡大されている。

PCI の計測方法は、心拍数誘導性に定常状態でされた継続して歩行時代謝エネルギー効率を示しているが、一般的に心拍数の変動は、運動負荷に対する生理反応以外の要因にも影響されている。例えば、運動習慣や精神的緊張等、主観的要因に対する配慮が必要であると考えられ、PCI の解釈には注意が必要である。

自覚的な運動負荷に対する精神的指標を表すものとして、主観的運動強度指数 (Ratings of Perceived Exertion 以下、RPE)

連絡先: 廣瀬 昇, 帝京科学大学医療科学部理学療法学科
〒409-0193 山梨県上野原市八ツ沢 2525, Tel: 0554-63-4411

がある。RPE は、疾患・分野を問わず、運動強度を対象者の感覚的に感じる自覚強度として数値化するものとして提唱された指標である (Borg, 1970)。また、主観的運動強度指数は現在、身体作業に対する自覚強度を評価・利用する場合指標および処方目標として利用され、多くの分野で研究報告をされている。

筆者らは、生理学的な運動強度と主観的要因との関係性を明確にし、多角的な理学療法評価法としてどのように利用すべきか検証した。歩行速度課題の運動負荷に関する口頭指示による課題提示から生理学的な運動効率が推定できる適切な運動負荷を設定することができ、歩行速度がストレスを感じるような課題でないと、自覚的には認識しにくいことを明らかにした。

一方で、運動はその感情により、運動行動に大きな影響を及ぼす。筆者らは、運動に対する感情が運動時間をコントロールし、身体活動性を規定していることが示唆された。また、運動が「嫌い」といった感情を持つだけで身体活動量を減少させている可能性も示唆された。そこには、運動に対し、「嫌い」、つまり負の感情を持つことは、日常における健康を保つための運動行動 (健康行動) の行動パターンそのものを変容させ、少しでも動くという身体活動を除外するような行動へと定着させてしまう危険性がある。そこには、体力低下へと繋がる負の健康行動サイクルが構成されてしまう可能性があり、運動への感情が引き起こす身体活動量の減少は、運動継続にも大きな弊害をもたらす可能性も考えられる。

本来、ヒトの歩行時の主観的要因はどこから影響を受けるのであろうか。本研究では、ヒトの主観的要因が無意識で自動化されたヒトの歩行効率性から捉え、精神的指標となる自覚的運動強度指標へ及ぼす相互性について検討した。また、日常生活の生活行動因子の側面からも検証したので、報告をする。

2. 歩行運動の生理的反応とその主観との関係性

2.1 対象

対象者は、本研究の目的を説明し承諾の得られた健康成人 44 名を対象とした。平均年齢は 22.8±6.7 歳、男性 31 名、女

性 13 名, 身長 166.9±8.3cm, 体重 63.5±11.5kg, BMI 22.3±2.3kg/m²であった。

2.2 実験方法条件

PCI 測定は, 20mの歩行路の片側から歩行をはじめ, 20mのマーク点で方向転換して歩行を継続し, 3 分間往復する, マクレガーの変法を用いた。検者が歩行距離と歩数を計測し, PCI を算出した[(PCI (beats/m) = 歩行時心拍数 - 安静時心拍数 (beats/minute) / 歩行速度 (m/minute))。歩行中の心拍数, 血中酸素飽和度は携帯型パルスオキシメーター (日本光電製) を用いて測定した。

なお, 主観的要因の指標として主観的運動強度指数 (Rating of perceived exertion 以下 RPE) を用い, 歩行前と歩行終了直後に聴取した。歩行速度は, できるだけ速くとした最大速度歩行と自由歩行の 2 条件を口頭指示によって計測した。歩行測定前には十分な座位安静を保持し, 安静の定常状態後, 各条件での PCI を計測した。各条件の測定順序は各測定間の交絡を防ぐため, くじ引き法によるランダムに実験統制を実施した。

2.3 アンケート調査方法

身体活動に関するアンケート調査は横断的調査で, 調査方法は事前に聴取内容について書面にて提示し, 同室内, 同一時間内で行う, 集合調査として実施した。その内容は, 一日の代表的な生活様式に関わる労働時間, 家事時間, 運動時間, 余暇時間 (特別な運動を行わない余暇時間) の各時間数について聴取した。

質問項目は, 自由記述法による数字での単一回答を求めた。各時間数の判別に関しては, 検者より事前に簡単な日常生活時間の分配の説明後, 被験者自身の判断で行った。特に余暇活動時間内でも身体運動を伴う時間数については, 運動時間として判断をし, 身体活動を伴わない時間数のみを余暇時間として取り扱った。

2.4 統計手法

統計処理は歩行速度 2 条件の測定結果の平均値に対し, 歩行速度と自覚的運動強度の測定指標の 2 要因について t 検定を行った。また, PCI, RPE との関係を検討するために Pearson's の相関分析を実施した。

また, 独立変数を RPE とし, それぞれの従属変数を労働時間, 家事時間, 運動時間, 余暇時間とし, 重回帰分析 (ステップワイズ法) を行った。回帰の有意性に関しては分散分析による検定で, 有意水準 5% 未満として行った。従属変数の選択および, 回帰モデルの採用には, 重相関係数および自由度調節済み決定係数を用いた。なお, 統計ソフトは SPSS 19.0 を用いて行った。

2.5 結果

(1) 自由速度歩行および最大速度歩行の条件下での PCI と RPE との関係性

自由速度歩行では, 歩行速度, PCI, RPE の平均値はそれぞれ 1.11m/sec, 0.18±0.17bts/m, 7.1±1.8 となり, PCI と RPE に相関関係は認められなかった。最大速度歩行では, 歩行速度, PCI および RPE の平均値はそれぞれ 1.7m/sec, 0.43±0.14 bts/m, 12.0±2.7 であり, PCI と RPE に相関関係が認められた。

(2) 自覚的運動強度と各生活時間との関係性

自覚的運動強度と各生活時間との関係性はステップワイズ法による多変量解析結果は, いずれも運動時間 (余暇時間内での運動を含む) との 1 要因のみ有意であった (p<0.05)。また, 選

択された 1 変量の重回帰分析により, 自覚的運動強度 (RPE) $y = 7.3 + 0.024x \times$ 運動時間 (分/日) の回帰式が求められた。その際の ANOVA (分散分析) の結果は有意であり, 適合性は比較的高い ($R^2=0.55$) と考えられた。

3. 日常が導き出す歩行運動の基盤構造

3.1 非効率拘束条件から「身体性の気づき」

本研究では, PCI と RPE に相関関係は, 自由速度歩行条件ではなく, 最大速度歩行条件下のみを正相関の関係性が認められた。身体的ストレスの生理学的指標と知覚努力の心理学的指標との間の基本的な関係性 (Borg, 1973) を報告しているが, 最大速度条件下, つまり, 最大努力下のみに関係性が示され, 特定条件下で同様の結果を示した。神経系構造が同定されている基本的感覚モダリティーあるいは運動感覚と「努力感」との間に類似性がある (Nobel, 1996) とされ, 努力は単一の受容器や神経系の構造物に直接結合していない複雑な感覚経験から成り立つと考えられている。Sparrow, Chernigovskiy らは, 代謝エネルギー消費は消化器や心血管系, リンパ系および他の内臓のすべての受容器官から感覚刺激を提供されることが情報基盤を考えられている。つまり, ヒトの歩行では, (最大努力下のような) 非効率拘束条件が働くことで心臓血管系信号としてのストレス応答が発動し, 「身体性の気づき」への重要な情報として伝達されると考えられた。しかしながら, 身体運動は筋内代謝エネルギー消費が主であり, 心臓血管系だけでなく, 骨格筋運動から筋感覚情報も大きな関与が考えられるため, 今後検証が必要と考える。

3.2 運動効率に基づいた適応過程に生ずる「身体知」

RPE と日常生活との関係性において, 本研究では, 運動時間数 (運動をしている余暇時間数も含む) と RPE との間に負の関係性が認められた。そのことが意義することは, 複雑で多様な要因に影響を受ける日常生活の活動の中で, 身体活動を受動化させられた両者の相互作用から生まれる運動行動ではなく, 自ら選んだ能動的な運動行動を持つことが外部の環境と適応を持つものと考えられる。つまり, 自ら様々な外部環境下に置くことで, 身体自覚的に感じる運動行動が軽減することになり, 結果として身体性が増加するものと考えられた。ヒトの運動制御は良く自己組織化された発展的なものであり, 人間工学的な側面からは巧みさがヒトの特徴であると考えられるが, 意識的な思考能力や人格を持ち, 非物質的な処理を行うこともヒトのパフォーマンスの特徴であることもいうまでもない (Sparrow, 2000)。さらにダイナミカル・システムズ・アプローチ (Zanone, Kelso, 1992) では, ヒトの活動をシステム全体のふるまいが分析対象となり, それが環境によって規定される運動の協応パターンに近づく, 半永久的な変化を学習とみなしている。つまり, その多様な外部環境下に自ら置くことが最も重要であり, エネルギー消費量を軽減させるような運動効率に基づいた運動の適応過程に生ずる「身体知」に繋がると考えられた。しかしながら, この制約条件はヒトの基本動作である歩行や立ち上がり動作などに限られ, 文化的な身体行動やその結びつきがどうなるのかはこの限りでないと考えられる。従って, 今後は非物質的な処理を伴ったパフォーマンスについても検証を進めていきたい。

参考文献

1. MacGregor :The objective measurement of physical performance with long term ambulatoryphysiological surveillance equipment. Proceedings of the Third International Symposium on Ambulatory Monitoring, London Academic Press p29-39,1979.
2. 横塚 美恵子,他:在宅脳血管障害者の屋外歩行実用度を規定する運動能力因子.理学療法科学 15 卷 2 号, p33-36,2000.
3. Borg GAV:Psychophysical basis of perceived exertion. Med Sci Sports. Exerc,14(5),p377-381,1982
4. 廣瀬昇,他:歩行速度の違いによる Physical Cost Index と主観的運動強度の関係に関する検討.日本スポーツリハビリテーション学会誌,Vol.2 p31-36,2013.
5. 廣瀬昇,他:身体活動に影響を及ぼす運動感情についての一考察.理学療法科学, 25 卷 5 号, p699-703, 2010
6. Borg GAV.Perceived exertion: a note on "history" and methods.Med Sci Sports. 1973 Summer;5(2):90-3.
7. Nobel,BJ:et al.Perceived exertion.Champaign IL:Human Kinetics.
8. Sparrow,WA:Metabolic energy expenditure and the regulation of movement economy.Psychonomic Bulletin & Review,June, Volume 5, Issue 2:173-196,1998.
9. Chernigovskiy,VN:Interceptors. American Psychological Association,1967
10. Sparrow, WA: What Is the Appropriate Criterion for Therapeutic Intervention in the Motor Domain?.The Behavioural and Brain Sciences,1996
11. Zanone PG,et al: Evolution of behavioral attractors with learning: nonequilibrium phase transitions. J Exp Psychol Hum Percept Perform:May;18(2):403-21,1992