プローブ反応時間からみた自転車エルゴメータの 回転数に関する研究

Relationship between Probe Reaction Time and Bicycle Ergometer RPM

劉 恵林¹⁾ 霍 明²⁾ 丸山 仁司²⁾

HUILIN LIU, MS, RPT¹⁾, MING HUO, MS, RPT²⁾, HITOSHI MARUYAMA, PhD, RPT²⁾

¹⁾ China Rehabilitation Research Center; 10 North Road, Fengtai District, Beijing, China. Tel +86 10-6756-3322

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

Rigakuryoho Kagaku 21(1): 13-16, 2006. Submitted May 9, 2005. Accepted Nov. 17, 2005.

ABSTRACT: We measured the probe reaction time, which is an index of attentional demand, of 19 healthy people on a bicycle ergometer with changes of load and pedal revolutions, and determined the optimum RPM. The probe reaction time was measured at loads of 40, 60, 80, 100, 120 watts at pedal revolutions of 20, 40, 60, 80, 100 rpm, respectively. As a result of analysis of variance with pedal revolution as a factor, a significant effect was found. Furthermore, a post-hoc test (Tukey-Kramer test) showed significant differences between each of the pedal revolutions at 80, 100, 120 watts, and indicated the minimum probe reaction time at 60 rpm. These results suggest the optimal RPM was 60 rpm.
Key words: probe reaction time, bicycle ergometer, optimal RPM (revolutions per minute)

要旨: 健康成人19名を対象に、注意需要の指標であるプローブ反応時間を測定し、自転車エルゴメータ駆動時負荷強度とペダル回転数の変化により、至適ペダル回転数を求めた。方法では、運動強度は40, 60, 80, 100, 120 wattsにそれぞれペダル回転数20, 40, 60, 80, 100 rpmの条件で、プローブ反応時間を測定した。それぞれの運動強度のプローブ反応時間は回転数を要因とした分散分析の結果、有意な主効果がみられた。また、各ペダル回転数間を多重比較検定 (Tukey-Kramer検定) した結果、80, 100, 120 wattsにおいて各ペダル回転数間で有意差を認め、プローブ反応時間は60 rpm時が最小値を示した。したがって、至適ペダル回転数は60 rpmであることが推察できた。

キーワード: プローブ反応時間、自転車エルゴメータ、至適ペダル回転数

¹⁾ 中国リハビリテーション研究センター：中国北京豊台区角門北路10号 (〒100068) TEL +86 10-6756-3322

²⁾ 国際医療福祉大学 保健学部理学療法学科

I. はじめに

自転車エルゴメータの研究は、工学、医学、スポーツ競技などの様々な分野で行われている。特に臨床医学では、運動負荷試験、全身持久力の維持・改善、心肺機能の強化、下肢筋力増強効果、関節可動域の改善などを目的とし、内部障害疾患や中枢神経疾患及び整形外科疾患患者などの運動療法として処方されている。

運動負荷試験の場合では、自転車エルゴメータはトレッドミルと同様によく使用される。奈良¹⁾は自転車エルゴメータの生理学的な負荷プロトコールについて、運動強度は50~200 watts、ペダル回転数はトレーニングをしていない人では50~60 rpmが適当であるとしている。しかし、よく鍛練された自転車競技選手では80 rpm以上でも可能である。老人や障害者がその速さを維持することが困難な場合、45 rpmで行うことを推奨することもある。また、大川²⁾は機械的効率の高いペダル回転数は60 rpm前後と指摘した。至適速度はエネルギー必要量が最も少なくなり作業の速さがあり、これを至適速度 (Optimal Speed) という。至適速度をみるための指標に生理学的なものや心理学的なものがあり、その心理学的な指標として反応時間を用いるものがある。

心理学領域では、環境からの情報を処理できる容量(注意を配分できる容量)には限界があると考えられてきた。たとえば、ある運動課題をしている際に、別の課題を行わせる。運動課題が比較的単純であれば二次課題に向けられる注意は比較的多く配分することが可能であり、二次課題に対する反応も比較的素早く遂行できることとなる(図1)。このように、ある運動課題施行中に二次課題(単純反応時間)を挿入し、二次課題に対する反応時間が相対的に短ければ、二次課題に対する注意の配分が多いと解釈し、主課題は自動化していると判断をする。このような研究手法をプローブ反応時間(Probe Reaction Time, 以下P-RTと略す)と呼んでいる。P-RTは主課題の注意需要を敏感に識別する方法として推奨されてきている³⁾。P-RTは対象者が好みの速度で連続的運動する状態で測定が可能のため、かなりの障害のある患者にも利用できる利点がある。

こうしたP-RTを用いた注意需要の研究は歩行時には行われていたが³⁾、エルゴメータ駆動時には行われていない。この研究の目的は、P-RTを用いて様々な運動強度における至適ペダル回転数を求めることである。

図1 容量モデルに基づく注意需要

図2 プローブ反応時間 (P-RT) 測定装置概要

II. 対象と方法

対象者は健康成人男性19名(年齢: 22.8 ± 4.5 歳, 身長: 176 ± 7.2 cm, 体重: 68.6 ± 8.6 kg)であった。全ての対象者は自転車駆動経験者であった。全対象に本研究の目的、方法、リスクなどを口頭で説明し、研究参加の同意を確認した。

課題は、自転車エルゴメータ駆動時のP-RT課題である。主課題は自転車エルゴメータによる駆動運動、二次課題は光刺激に対する口頭での反応課題とした(図2)。

機器構成はデジタル・ストレージ・オシロスコープDCS-7040(KENWOOD製, 以下オシロとする)を使用し、光刺激装置は電気・光・音刺激装置SMP-3100(日本光電富岡会社製)を使用した。また、自転車エルゴメータはエルゴメータ232CXL(コンビ製)を使用した。サドルの高さは有酸素的作業時に、一番効率的であるとされる大転子の高さとした⁴⁾。ハンドルの位置は体幹の動揺を防ぐ

ため、各運動強度における肩関節屈曲60°になるように調節した⁵⁾。

実験機械内の信号の流れでは、測定開始前、対象者には1.5 m前方から発せられる光刺激 (Duration, 0.1 sec) を感知したらできるだけ素早く口頭で“パァ”と発するよう指示した。光刺激の2～3秒前に、口頭で“ヨーイ”の予告合図を入れた。対象者の発声音はヘッドホンに取り付けたマイクロフォンにより集音し、光刺激装置の刺激開始信号によるトリガーでオシロの挿引を開始し、画面上に波形を描出した。光刺激から発声音までの潜時の測定は、オシロの画面上の画面を一回毎にストップしカーソルを移動して行った。

実際の実験の手続きでは、各運動強度は40, 60, 80, 100, 120 wattsであり、ペダル回転数20, 40, 60, 80, 100 rpmをランダムにして発声による反応時間の測定を行った。反応時間の測定は、自転車エルゴメータ駆動開始3分から3分の間に10回の光刺激をランダムに与えた。実験前には、実験内容の説明を行い、課題に慣れるために数回の練習を施行した。疲労を考慮し、ペダル回転数を変える度に5～10分間の休憩時間を入れた。また、各対象者において全ての測定を同じ日に実行し、検者違いによる誤差を避けるため、P-RTの測定、記録は同一検者で行った (図3)。

統計分析では、P-RT測定値をコンピューターに入力、解析ソフトStatviewを用いて、対象者とペダル回転数をそれぞれ要因とする2元配置分散分析を行い、さらに各ペダル回転数間に多重比較検定 (Tukey-Kramer検定) を行った。

図3 プローブ反応時間 (P-RT) 測定の流れ

III. 結 果

各運動強度及び各ペダル回転数時のP-RTの平均値と標準偏差を表1に示す。P-RTについて対象者とペダル回転数をそれぞれ要因とする2元配置分散分析の結果、各40, 60, 80, 100, 120 watts時のペダル回転数について有意な主効果を認めた ($F(4, 927)=18.355$ $p<0.01$, $F(4, 927)=9.232$ $p<0.01$, $F(4, 927)=32.451$ $p<0.01$, $F(4, 927)=24.500$ $p<0.01$, $F(4, 927)=23.753$ $p<0.01$)。各ペダル回転数間を多重比較検定 (Tukey-Kramer検定) した結果、80, 100, 120 wattsにおいて各ペダル回転数間で有意差を認め、P-RTは60 rpm時が最小値を示した。被験者についても有意な主効果を認めた ($F(18, 4)=42.809$ $p<0.01$, $F(18, 4)=52.613$ $p<0.01$, $F(18, 4)=53.858$ $p<0.01$, $F(18, 4)=51.457$ $p<0.01$, $F(18, 4)=48.670$ $p<0.01$)。

IV. 考 察

自転車エルゴメータ駆動中のヒトの注意需要がどのようになっているのかを知るため、それぞれの運動強度でP-RTとペダル回転数との関係について、5段階の運動強度で検討した。いずれの運動強度においてもP-RTについて対象者とペダル回転数をそれぞれ2要因とする分散分析の結果では、ペダル回転数について有意な主効果を認めた。また、80, 100, 120 wattsにおいて、各ペダル回転数におけるP-RTの変化は60 rpmの時に最小値を示した。

歩行については、5 km/hの歩行速度が健康人の自由歩行速度であり、最も効率がよい歩行速度とされている。エネルギー面からみると、単位距離当りのエネルギー消費量は4.5～5 km/h時が最も小さく、歩行能率がよい⁶⁾。黒澤⁷⁾は更に歩行時のPCI (physiological cost index) とP-RTの関係を求めた結果、P-RTの最小値を示した速度とPCIの最小値を示した速度が一致していることを報告した。このことは効率のほぼ逆数である歩行能率という観点からみると、PCIで評価した値とP-RTの最小値を示す値が一致したことを意味し、P-RTがPCIと同様にエネルギー

表1 各運動強度、ペダル回転数におけるプローブ反応時間 (P-RT) (msec)

	40 watts	60 watts	80 watts	100 watts	120 watts
20 rpm	249.8 ± 21.6	238.1 ± 51.2	243.2 ± 44.9	242.8 ± 43.2	244.6 ± 42.6
40 rpm	240.7 ± 19.1	228.6 ± 36.5	224.9 ± 38.7	229.8 ± 36.3	228.6 ± 37.0
60 rpm	227.5 ± 19.1	223.6 ± 37.8	214.0 ± 30.2	217.8 ± 31.3	218.6 ± 31.6
80 rpm	241.5 ± 13.6	225.7 ± 35.3	229.5 ± 35.2	229.2 ± 32.0	228.7 ± 35.7
100 rpm	260.9 ± 27.9	236.7 ± 45.4	234.2 ± 34.5	237.5 ± 40.7	235.9 ± 41.2

平均値±標準偏差. rpm : ペダル回転数. n = 19, * $p<0.05$

能率の指標として利用できることを示している。

更に、自由歩行時の至適歩行率は110歩/分であり、歩行率を低下または増大させても能率は低下することも報告されている⁶⁾。トレッドミル上の至適速度・歩行率の結果と同様、P-RTからみた自転車エルゴメータでの能率の検討も基礎的な研究として意義あるものである。トレッドミルと同様に至適ペダル回転数があることが明らかとなった。自転車では、一般的に50～60 rpmが推奨されているが¹⁾、これは歩行率110歩/分が自転車のペダル回転数55 rpmに一致することから、下肢運動には固有リズムがあり、60回転前後であることが推察できる。

リハビリテーション医学の領域では、歩行機能に障害を受けた身体障害者の歩行機能評価としてPCIが臨床で簡便で有用であるが、P-RTはエネルギー能率の指標としてPCIと同様に利用できることが明らかとなった⁷⁾。

今回の実験において、注意需要の観点から自転車エルゴメータ駆動時80 watts以上の運動強度において60 rpmの時にP-RTが最小値を示し、60 rpmの時に最も注意需要を必要としないことがわかった。ペダル回転数60 rpmの時に自転車エルゴメータ駆動動作は最も自動化されている

と考えられる。すなわち、ペダル回転数60 rpmは至適ペダル回転数であることが推察できる。今後エネルギー消費能率と合わせて検討が必要である。

本研究にあたり、御指導を頂いた丸山仁司教授、黒澤和生先生に深く感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 奈良 勲：理学療法士のための運動処方マニュアル第2版。文光堂，東京，2002，pp298-303.
- 2) 大川信夫：自転車エルゴメータ運動の機械的効率。日大医学，1986，45(2)：155-162.
- 3) 黒澤和生：運動分析—反応時間を中心として—。理学療法のための運動生理，1993，8(3)：135-140.
- 4) Nordeen-Snyder KS: The effect of bicycle seat height variation upon oxygen consumption and lower limb kinematics. Med Sci Sports Exerc, 1977, 9(2): 113-117.
- 5) 新井光男：自転車エルゴメータのサドルの高さの決定基準とパワー差の検討。理学療法のための運動生理，1986，1(1)：3-5.
- 6) 理学療法科学学会監修：ザ・歩行。丸山仁司（編），アイベック，東京，2003，pp45-46.
- 7) 黒澤和生：P-RTからみた移動能率に関する研究。杏林医学，1994，25(4)：527-536.