

ペグ作業へのFittsの法則の適用

Application of Fitts's Law to peg activity

犬丸 敏康¹, 小島 久典²

¹金城大学医療健康学部, ²大阪府立大学地域保健学域総合リハビリテーション学類

Toshiyasu Inumaru¹, Hisanori Kojima²

¹Kinjo University, Faculty of Health Sciences

²Osaka Prefecture University, School of Comprehensive Rehabilitation

キーワード : ペグ作業, Fittsの法則, 運動時間

Key words : Peg activity, Fitts's Law, Movement time

抄録

本研究はペグ作業の遂行に伴う運動時間を計測し, それとペグ・ペグ穴の直径, およびペグの開始位置から挿入位置までの距離の関係でもってFittsの法則を適用させることを目的とした. 結果として, ペグ・ペグ穴の直径Aとペグ開始位置からペグ挿入位置までの距離W, および運動時間MTとすると, それらの関係から, ペグ作業はFittsの法則で次のように定式化された.

$$MT = 1.0679 + 1.0671 \times \log_2 \left(\frac{2A}{W} + 1 \right)$$

この式によって, ペグ作業を治療として用いる際の知見の一助として役立てることができる.

1. 緒言

ペグ作業は作業療法の臨床場面でもよく用いられる作業の一つである. そのペグ作業を介して, 例えば, 脳血管障害などに伴う麻痺によって上肢の運動に円滑さが失われた状態であれば¹⁾, 繰り返し作業を実施することによって脳の可塑性が期待され, 機能回復を促すことができる²⁾.

作業療法分野においては, 現在までに運動調節の観点などからペグ作業の研究が実施されてきた^{3), 4)}. また, 運動機能の評価の観点からも多く研究され, その効果が検討されている⁵⁾. しかしながら, それ以外の分野ではまだペグ作業が十分に研究されていないこともあり, 依然としてペグ作業を遂行する際の理論的な背景が乏しく, 作業療法でも治療として用いる際のエビデンスが少ないのが現状である.

一方, Fittsは金属の尖筆のタッピング課題から対象物のサイズと目標とするターゲットまでの距離, およびそれに関わる運動時間との関係を研究

し⁶⁾, 以下の式でそれらの関係を表した.

$$MT = a + b \times ID$$

MT(Movement Time)とは目標までの運動時間, ID(Index of Difficulty)は運動の困難度を示す. a, bは定数である. さらに, IDは以下の式で表すことができる.

$$ID = \log_2 \left(\frac{2A}{W} \right)$$

Wは目標とするターゲットの幅, Aは目標までの距離を示す. これをペグ作業で見直すと, Wはペグの直径やペグ穴の直径を指し, Aは開始位置からペグ挿入までの距離を指すこととなるであろう. そのため, ペグ作業においてもFittsの法則への適用が可能となることは容易に推測される. しかしながら, 現在までにペグ作業にFittsの法則を適用した研究が見当たらない.

本研究はペグ作業の遂行に伴う運動時間を計測し、それとペグ・ペグ穴の直径、およびペグの開始位置から挿入位置までの距離の関係をもって Fitts の法則を適用させることを目的とする。また、それによって作業療法のペグ作業を治療で用いる際の一助となる知見を得ることとする。

2. 方法

ペグ作業を遂行する被験者は、20名の健常者（男性9名、女性11名）とした。被験者の年齢は 24.4 ± 3.4 歳（平均値 \pm 標準偏差）であった。実験に際して、ヘルシンキ宣言に基づき、被験者には予め実験の主旨を説明した上で同意を得てから実施した。

ペグは高さ8cm、直径3cmの円柱形のものを使用した。ペグボードは縦29cm、横35cm、高さ3cmの板にて作成し、ペグ穴は図1に示すように9箇所（1～9番）の位置に設定した。各ペグ穴は図1に示すように1～9までの番号で示した。

ペグ作業は右上肢で遂行した。作業に伴う上肢の運動は、机上から98cmの上方に固定したCCDカメラ（Sony社製、XT-ST50）と広角レンズ（Kowa社製、LM3NCIM）を使用してインターレース形式で撮影した。カメラからの映像はフレームグラ

バーボード（The Imaging Source社製、DFG/MC4）とキャプチャソフトウェア（The Imaging Source社製、IC-Capture 2.0）を使用してAVIファイル形式でパーソナルコンピュータに取り込んだ。

被験者を座面高38cmのバケットシートに座らせ、上肢の運動のみの測定に運動を制限するために体幹を4点シートベルトにて固定した。机の高さは77cmとした。ペグボードから被験者までの距離は、被験者ごとに上肢長の40%となる位置に設定した。ペグは母指とそれ以外の他指の指腹で対立にてつまみ、前腕回内外中間で側方からつまむよう教示した。ペグの開始位置は、図1のペグ穴9番のボード端から右方15cmのペグマークに相当する位置に設定した。運動時のペグの動きを計測する目的に、直径2.5cmの銀色の球形のマーカーをペグ上に貼付した。

一般に運動する際は速度と正確さにトレードオフの関係がある⁷⁾。そのため、本研究では正確さを重視し、「できるだけ自然な速度で丁寧にペグを移動させて下さい」と被験者に教示した。また、運動に伴う上下動を制限するために、「ペグは水平面内で移動させて下さい」と教示した。各ペグ穴に対するペグの挿入はランダムな順で実施した。各ペグ穴への挿入ごとに休憩をとり、疲労に考慮した。

インターレース形式で取り込んだAVI動画ファイルは動画変換ソフトウェア（ペガシス社製、TMPGEnc 4.0 Xpress）を使用して毎秒60フレームのプログレッシブ形式に変換した。変換したAVIファイルを2次元動画解析ソフトウェア（OAサイエンス社製、PV Studio 2D ver.2）を使用してペグのマーカー位置を自動追尾させ、その時系列データをCSVファイル形式にて保存した。保存したCSVファイルは、Visual Basic 6.0（Microsoft社製）の自作ソフトウェアにて次の処理を実施した。1) 周波数3Hzのローパスフィルター⁸⁾にて平滑化する。2) ペグのマーカーの移動速度を計算し、最大運動速度を決定する。3) 最大運動速度の5%以上となる区間を運動時間(MT)として決定する。

3. 結果

図1の1～9のペグの開始位置からペグ挿入位置の距離 S は、ペグの開始位置を原点(X_0, Y_0)とし、

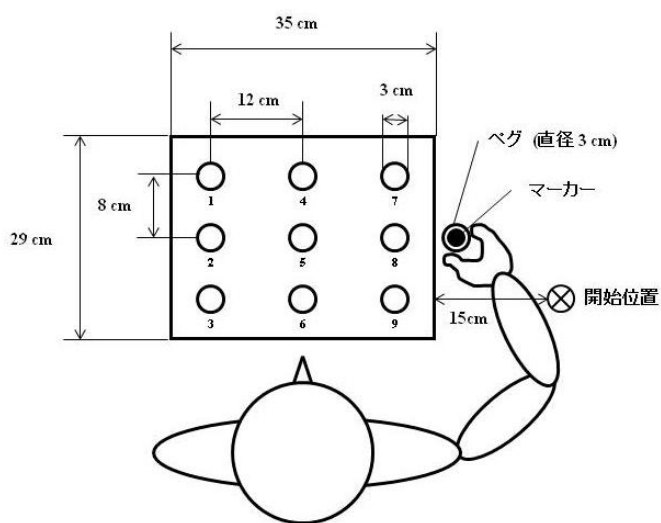


図1 ペグ作業の設定(上面)

表 1 ペグ穴の座標と距離

ペグ穴の番号	ペグ穴の座標 (cm)	距離 (m)
1	(-44.5, 16.0)	0.473
2	(-44.5, 8.0)	0.452
3	(-44.5, 0.0)	0.445
4	(-32.5, 16.0)	0.362
5	(-32.5, 8.0)	0.335
6	(-32.5, 0.0)	0.325
7	(-20.5, 16.0)	0.260
8	(-20.5, 8.0)	0.220
9	(-20.5, 0.0)	0.205

表 2 運動時間

ペグ穴の番号	運動時間 (sec)
1	1.573
2	1.504
3	1.348
4	1.464
5	1.398
6	1.258
7	1.310
8	1.333
9	1.253

ペグ挿入位置を座標点(X_n , Y_n)で示すと、以下の式で表すことができる。

$$S = \sqrt{(X_0 - X_n)^2 + (Y_0 - Y_n)^2}$$

n はペグ穴の番号を示す。この計算の結果を表 1 に示す。

運動時間である MT は、先の実際の計測に基づいて被験者の平均値として、表 2 のようになった。さらに、前述した Fitts の法則の W に相当する目標とするターゲットの幅は、ペグ・ペグ穴の直径から 3cm とできる。表 1 から Fitts の法則の A に相当する距離、表 2 から運動時間の MT 、および

ペグ・ペグ穴の直径 W から運動の困難度である ID が求められる。しかしながら、Fitts による法則は 1 次元課題として想定され、研究されている⁶⁾。このことから、これを 2 次元課題の式として拡張した MacKenzie ら⁹⁾に基づいて、以下の式から ID を計算した。

$$ID = \log_2 \left(\frac{2A}{W} + 1 \right)$$

この式から、本研究のペグ作業における ID と MT の関係は図 2 によようになった。さらに、図 2 から定数 a , b を近似直線にて求めると、以下のような式が得られた。

$$MT = 1.0679 + 1.0671 \times ID$$

これに先の ID を代入すると、

$$MT = 1.0679 + 1.0671 \times \log_2 \left(\frac{2A}{W} + 1 \right)$$

となり、ペグ・ペグ穴の直径 A とペグ開始位置からペグ挿入位置までの距離 W 、および運動時間 MT の関係が定式化された。

4. 考察

Fitts の法則に関して、2 点間のタッピング課題⁶⁾、⁹⁾だけではなく、マウス課題¹⁰⁾やジョイスティック課題¹¹⁾など、様々な課題での適用が検討されている。しかしながら、作業療法の臨床場面で用いられるペグ作業に対して、Fitts の法則を適用した研究はない。

本研究はペグ作業に Fitts の法則を適用し、ペグ・ペグ穴の直径 A とペグ開始位置からペグ挿入位置までの距離 W 、および運動時間 MT の関係を定式化することができた。これによって、ペグの設定条件から運動時間を推定することができるようになった。この推定に基づく、例えば、推定値から大幅にずれるような運動時間が遂行されている場面では、ペグ作業の設定条件の見直しが必要となり、より治療としてふさわしい設定を考える一助とも成り得るであろう。

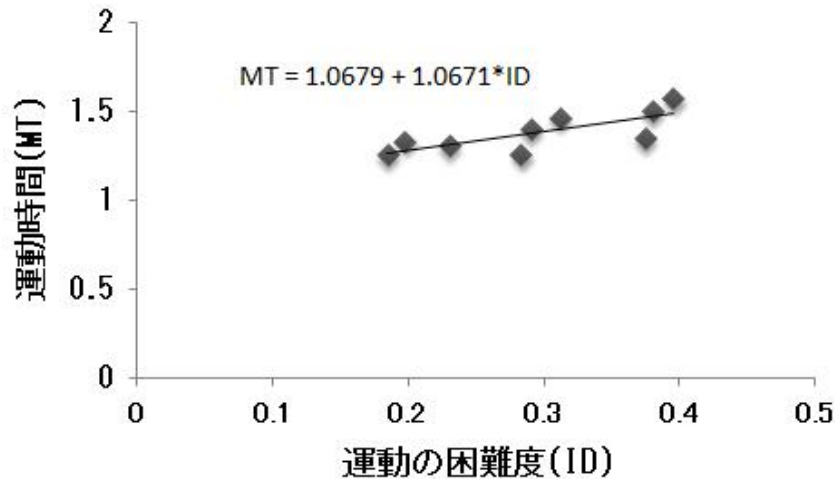


図2 運動時間(MT)と運動の困難度(ID)の関係と近似直線

作業療法は治療であることから、エビデンスが常に求められる。ペグ作業も治療として用いる以上は、その背景に理論的なエビデンスが必要となる。例えば、輸入作業¹²⁾のようにその作業の背景にある理論的なエビデンスを検討することは、各種作業においてますます重要になるであろう。今回、ペグ作業の実際の計測からペグにかかる運動時間(MT)を計測し、それによって Fitts の法則の定数である a, b が推定され、ペグ作業の設定条件を元に運動時間の予測につなげることができた。しかしながら、用いたペグが一つの種類であったことは、本研究の限界ともいえる。そのため、その他の種類の様々なペグでも今回の推定式が当てはまるかについては、今後の課題としたい。

参考文献

1) Rohrer B, Fasoli S, Krebs HI, Hughes R, Volpe B, et al.: Movement smoothness changes during stroke recovery. *J Neurosci* 22: 8297-8304, 2002.
 2) Nudo R, Wise B, SiFuentes F, Milliken G: Neural substrates for the effects of rehabilitative training on motor recovery after ischemic infarct. *Science* 272: 1791-1794, 1996.
 3) 中嶋理帆, 柴田克之, 米田貢, 犬丸敏康, 西村誠次, 千葉馨, 清水順市: ペグを掴む動作における上肢手指運動の調節-障害物の位置が関節角度, 手の軌道および速度に及ぼす影響. *日本作業療法研究学会雑誌* 14: 1-7, 2011.

4) 中嶋理帆, 柴田克之, 犬丸敏康, 西村誠次, 清水順市: ペグボード課題における障害物の配置に応じた上肢の運動調節. *日本作業療法研究学会雑誌* 15: 19-25, 2013.
 5) Lindstrom-Hazel, DK., VanderVlies Veenstra, N.: Examining the Purdue Pegboard Test for Occupational Therapy Practice. *OJOT* 3: Article 5. Available at: <http://dx.doi.org/10.15453/2168-6408.1178>, 2015.
 6) Fitts, PM.: The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *J Exp Psychol* 47: 381-391, 1954.
 7) Plamondon R, Alimi A: Speed/Accuracy Trade-Offs in Target-Directed Movements. *Behav Brain Sci* 20: 279-349, 1997.
 8) Bryant JT, Wevers HW, Lowe PJ: Methods of data smoothing for instantaneous centre of rotation measurements. *Med Biol Eng Comput* 22: 597-602, 1984.
 9) MacKenzie, IS., Buxton, W.: Extending Fitts' law to two-dimensional tasks. *Proc ACM CHI*, pp.219-226. New York, 1992.
 10) Boritz J., Booth KS., Cowan WB.: Fitts' law studies of directional mouse movement. *Graphic Interface*. pp.216-223, Canada, 1991.
 11) Jagacinski RJ, Monk DL.: Fitts' Law in two dimensions with hand and head movements. *J Mot Behav* 17: 77-95, 1985.
 12) Inumaru, T: Basic motor control features in a ring placing (wa-ire) movement. *Med Biol* 157: 70-74, 2013.

(受理日: 2017年5月24日)