

令和元年8月30日現在

機関番号：34443

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01528

研究課題名(和文) センサペグボードの開発と有用性の検討

研究課題名(英文) Development of sensor pegboard and examination of its usefulness

研究代表者

木下 博 (Kinoshita, Hiroshi)

大阪青山大学・健康科学部・研究員(移行)

研究者番号：60161535

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：リハビリテーションや職業訓練での手指の運動訓練や巧緻性評価で多用されているペグボードに電子工学技術を導入し個々のペグの移動と手の移動の時間を正確に分離計測できるペグボードシステムを開発した。さらに、その有用性を検証するために健常青年50名と高齢20名を対象に25、50、75、125 mmの異なる穴間距離設定および左右の手条件でペグの最速移動課題とペグの最速反転移動課題(距離25 mm)を実施させた。得られたデータを基にペグ移動時間および手移動時間とそれらの個体内変動に関する基礎情報を提供した。また、ペグの把持力と持ち上げ力が計測可能な装置を試作し、その基礎情報も提供した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

光センサーをペグボードに内装させ、センサー信号をデジタル化してPC内に取り込むことで、一本一本のペグを操作するのに要する時間と次に動かすペグへのリーチングの時間データを完全に分離して、さらにミリ秒単位での正確な計測を可能にした。また、本研究で開発した力センサー装備のペグも、ペグ操作時の把握力と持ち上げ力を詳細に調べることが可能にした。また本研究では、それらについて健常青年と高齢者の基礎データを呈示することも成し遂げた。正確な時間や力データを提供できるセンサー内装型ペグボードは、リハビリテーションや職業適性訓練、神経生理学研究での手指の巧緻性機能を正確に評価する上で有用なツールとして期待できる。

研究成果の概要(英文)：Using electronic-engineering technology, a PC-connected pegboard for automatic and precise detection of individual peg insertion and pull-out moments was developed in the first study. This permitted separate evaluation of peg manipulation time from hand reaching time. In order to verify its usefulness, data were obtained from 50 healthy young adults, and 20 elderly adults (>68 yrs) who performed simple fast peg transfer tasks between the holes of 4 different distances with the use of right and left hands. In addition, data were also gathered for a peg reverse-transfer task under a short hole-to-hole distance condition. The effects of hand dominance, transfer distance, gender, and age were statistically tested. In the second study, a peg equipped with grip and lift force measurement system was developed, which was tested using 8 healthy young subjects. The results confirmed its usefulness of the force information in detailed examination of peg manipulation.

研究分野：運動制御学 バイオメカニクス

キーワード：ペグボード フォトレフレクター 手指 移動距離 利き手 利き手 把握力 高齢者

1. 研究開始当初の背景

ペグボードは、手指の巧緻運動課題を提供する測定機器としてリハビリテーション訓練・評価、身体機能検査、職業適性評価、関連研究などで多用されているが、正確なペグ移動の時間情報が得られるボードは開発されていない。

2. 研究の目的

本研究では、電子工学的技術を導入し、ペグと手の移動時間と変動性、ペグの把握力と持ち上げ力などの客観情報が提供できるペグボードを開発し、それを使って健常な青年と高齢者におけるペグ操作の基礎情報を得ることを目的とした。

3. 研究の方法

試作したペグボードは、木製の箱（長さ 320 mm、横幅 33 mm、高さ 38 mm）2 台であり、それらの上面板にペグを差し込む穴（直径 8 mm、深さ 14 mm、穴間の距離 25 mm）を横 1 列 10 個ずつ空けた（図 1 A）。計測対象者には異なる距離に固定した 2 台のボックスの穴間でペグを操作する課題を実施させた。ペグは市販の白色（片側赤頭）プラスチック製のもの（直径 7.4 mm、長さ 35 mm）を利用した。各穴底横面には反射型フォトリフレクタ（Sharp LTD. GP2S05）と受光電圧増幅器を組み込んだ自作基盤を固定した（図 1 B）。2 つのペグボードで平行する穴間で電気信号を直結させ、それらを 10 チャンネルの AD 変換後 PC 内に取り込んだ。

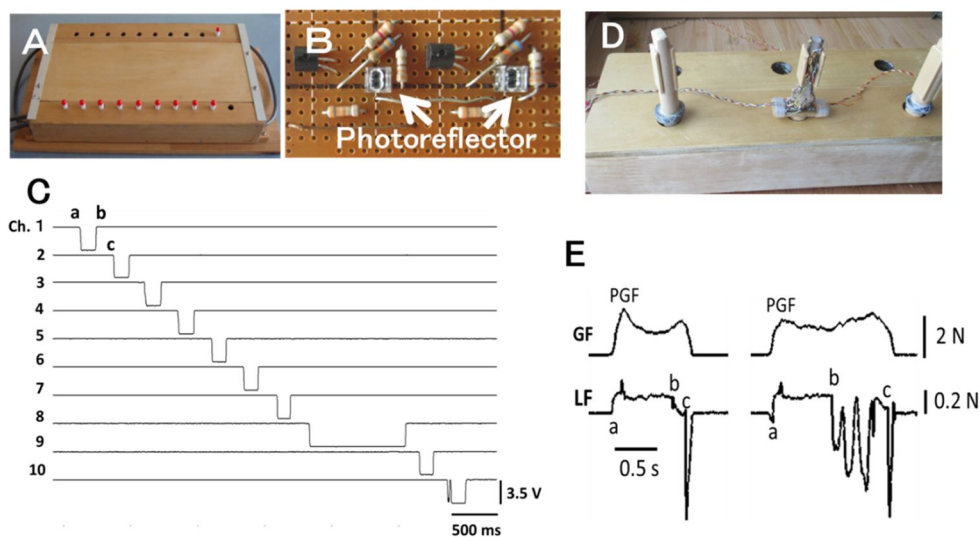


図 1. ペグボード(A: 125 mm 設定時)、フォトリフレクタと増幅器基盤 (B) 出力信号の典型例(C)a: 第 1 ペグの引き抜き開始、b: 第 1 ペグの挿し込み完了、c: 第 2 ペグ引き抜き開始、第 1 ペグ操作時間 = b - a、第 2 ペグリーチ時間 = c - b、力センサ 装備ペグ(D) 把握力(GF) および持ち上げ(LF)の出力の例 (E) ペグ移動が円滑に実施された試技(左)と穴周辺での位置調節が加わった試技(右)の例。

実験参加者は、健常大学生男女 50 名（平均年齢：19.2 歳、左利き者 3 名）と高齢者男女 20 名（平均年齢：75.3 歳、左利き 1 名）であり、本研究は大阪青山大学の研究倫理審査委員会の承認を得て実施された。参加者には、穴間の距離を 25、50、75、125 mm の距離に設定したボー

ドで左右それぞれの手で10本のペグを1本ずつ最速度で前方の穴に移動し、全10ペグを移動後、後方へ順に移動する課題(移動課題)とペグを指先で反転させ25mm移動させる課題(反転課題)を実施させた。各参加者に各距離と左右手条件で80試行(40往復)のデータを収集した。信頼性の検証は、10名の若者対象者で25mmと125mmの距離条件での計測を7~10日の期間を空けて再テストした。また、通常のストップウォッチ計測の場合における計測時間の余剰分を推定するために検者2名と対象者5名で25mmの穴間での左右の手による移動課題も実施した。この試行では、検者の「用意」後の「スタート」号令時と課題終了を示す最後のペグの差し込み完了と同時に手中の小型スイッチで定電圧信号をAD変換器の11チャンネル目にフォトフレクタ信号に同期して入力した。全課題での評価変数は、ペグ操作時間(ペグ抜きから差し込みまでの時間)、リーチ時間(ペグ差し込みからペグ抜きまでの時間)、それらの試行間変動、ペグの落下、差し込み、および明らかな「運動エラー」と判断される試行数(各条件で平均値+3SD以上の値の試行数)とした。

追加実験装置として把握力と持ち上げ力の計装用の小型のペグ(重量:17g、長さ:80mm)を作成した(図1D)。力計測にはアルミ板を精密加工し、各板に歪ゲージ4枚を貼り付けた両持ち梁型のカンサ-3台を自作し、それらを組み合わせて拇指・示指・持ち上げ力の同時測定可能なペグ1本を作成した。ペグ下部には、12mm径(長さ:30mm)の円柱を固定し穴への抜き差しができるよう工夫した。ペグボードは、木製のボックス2台(50×35×350mm)の上面板に16mm径の穴を90mmの穴間距離で3個空けたものを作成した。各カンサ-からの電気信号は、有線方式で動歪増幅器を介してPCに取り込んだ。同形状・重量でカンサ-無しのペグ2本も作成し、3本のペグを前後の穴間で素早く順に移動する課題を実施した。穴間の距離は50mmと70mmとし、8名の大学生男子を被験者とし各距離で10回のペグの移動課題を実施した。各試技の力曲線から持ち上げ時の把握力最大値(PGF)、持ち上げ力開始時間(a)、ペグのボードへの最初の接触時間(b)、およびペグのボードの穴への挿入完了時間(c)を算出した(図1E)。

4. 研究成果

(1) ストップウォッチエラー

現在汎用しているペグボードとストップウォッチ方式では、検者の計時開始から対象者の第1ペグ引き抜きまでの時間および最終ペグ差し込みから検者の計時終了までの時間が混入している。これらの時間について調べた結果、計測開始時の時間は、 548 ± 211 (SD) ms (レンジ:124~1421ms)であり、最後のペグ挿入時の時間は 275 ± 117 ms (103~837ms)であった。これらの合計値である800ms程度の時間は、ペグ操作運動とは関係のない対象者の運動準備時間や検者側が計測に要した時間であり、それがレンジが示すように大きく変動していることが明らかとなった。センサ-ペグボードは、これらの検者側の問題を完全に排除できるばかりでなく、個々のペグの時間情報が得られる大きな利点を有している。

(2) 若者群のペグ操作およびリーチでのエラー試行数

ペグの摘み損じや落下などでペグ操作やリーチの時間が大きく遅延した場合(平均+3SD以上)のデータを「運動エラー」と定義した(それらの例:図1Cのch8と10および図3)。全

参加者によるペグ操作時間での平均運動エラー数は、利き手で1.2回(最大4回)、非利き手で1.3回(最大4回)であり、リーチ時間での平均運動エラー数は、利き手で0.6回(最大2回)、非利き手で0.7回(最大3回)であった。運動エラーと判別された試行でのペグ操作時間の平均値は、1.62 secであり、リーチ時間でのエラーの平均時間は、1.23 secであった。健常な青年においても80回の繰り返しペグ移動作業では1回から2回の大きく逸脱するデータが混入し、その分布は右歪曲分布になる(図2)。個人の時間変数の代表値としては、平均値よりもメジアン値(中央値)を使用する方が適切と考えられる。また、センサーペグボードは、これらの逸脱値を自動的に検知できる利点も有している。

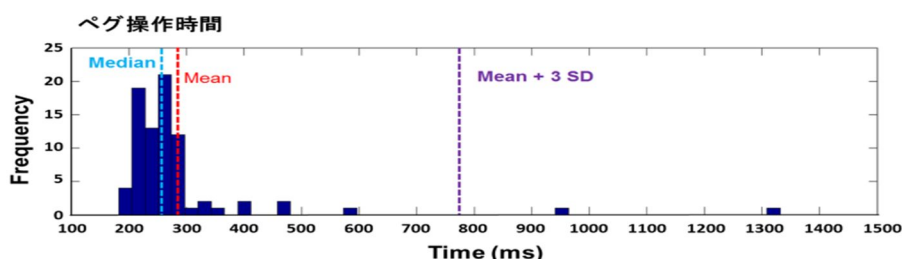


図2. 1名の若者によるペグ移動課題での80試行分のペグ操作時間の頻度分布例

(3) 若者群のペグ操作およびリーチ時間と運動速度

中央値を使つての移動課題での全参加者の平均ペグ操作時間は、移動距離の増加にほぼ正比例して増加した(図3A)。すべての距離で非利き手の方が利き手よりも時間が長くなった。分散分析の結果、ペグ操作時間に関しては、距離($p < 0.001$)および利き手($p < 0.005$)の主効果が有意であったが、性差および要因間の交互作用効果は認められなかった。リーチ時間では、距離($p < 0.001$)のみの主効果が有意であった(図3B)。ペグ穴間の距離と時間から算出した平均移動速度は、距離に比例して増加していた(図3C)。移動距離に関わらずペグの移動速度は利き手の方が非利き手よりも速いが($p < 0.05$)、リーチにおいては利き手の差は認められなかった(図3D)。また、リーチ速度がペグの移動速度に比べて速かった($p < 0.001$)。手指の巧緻性機能評価にはペグ操作時間をリーチ時間と分離して評価することが重要であること、およびペグ移動距離と利き手は時間に顕著な影響を及ぼす変数として考慮する必要があることが明らかとなった。

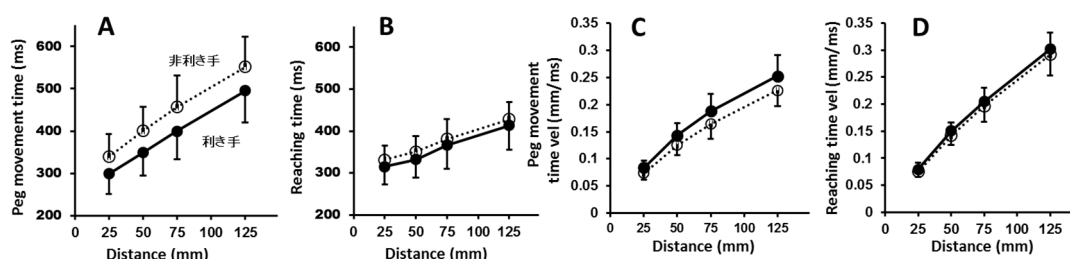


図3. 若者群でのペグ移動距離とペグ操作時間(A)、リーチ時間(B)、ペグ操作平均速度(C)、リーチ平均速度(D)の関係。全対象者(男女混合)の平均値とSD(縦線)を表示している。

(4) 若者群のペグ反転運動

反転課題でのペグの平均操作時間は、利き手では 715 ± 96 ms、非利き手では 821 ± 128 ms であり、単純な移動課題での同距離 (25cm) の結果 (利き手: 299 ± 48 ms、非利き手: 339 ± 53 ms) に比べてどちらも 2.4 倍であった。分散分析の結果、この課題でも利き手の差は有意となったが ($p < 0.001$) 性別および交互作用効果は認められなかった。反転運動での平均リーチ時間は、利き手で 334 ± 39 ms、非利き手で 314 ± 40 ms であり、単純移動課題の結果との比較では有意差は認められなかった。これらの結果は、手・腕自体は左右ほぼ同程度の速度で既定の距離を動かすことができるが、ペグの指先での操作が加わると非利き手の運動速度が低下することを示している。おそらく指を巧みに操作する中枢神経系の発達自体に明らかな利き手非利き手の差があることが関わっているものと推察された。

(5) 再現性の検証

移動課題 (25 mm と 125 mm) の再テスト再現性を各変数の級内相関係数 (ICC) で調べた。ICC 値は、ペグ操作時間に関しては非利き手で 0.648 であったが、その他の変数ではいずれも 0.7 を超えており、再現性はある程度良好と判断された。

(6) 高齢者のペグ操作およびリーチ時間

高齢者群の平均ペグ操作時間は、25 mm の穴間距離では、利き手で 390 ms、非利き手で 434 ms であり、125 mm の距離では、利き手で 568 ms、非利き手で 619 ms に直線的に増大した (図 4 A)。また、リーチ時間も利き手で 370 ms から 447 ms、非利き手で 394 から 499 ms に増大した (図 4 B)。分散分析の結果、若者群と同様に移動距離 ($p < 0.001$) と利き手 ($p < 0.01$) で主要因の有意差が認められた。高齢者群のペグ操作時間の平均値は、若者群での結果と比べるとすべての移動距離で利き手と非利き手ともに 20% 程度 (約 80 ms) 大きかった (図 4 C)。また、リーチ時間は、若者群の結果に比べると利き手で 10% (40 ms) 非利き手で 18% (66 ms) 程度大きかった (図 4 D)。ペグ操作時間およびリーチ時間でのごすべての移動距離で有意差 ($p < 0.05$) が認められた。したがって、年齢はペグ操作とリーチの双方に顕著な影響を及ぼす要因と考えられる。

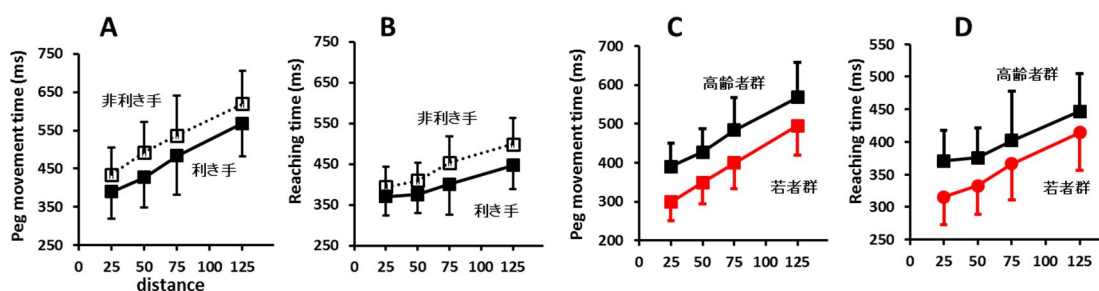


図 4. 高齢者群のペグ操作時間 (A) とリーチ時間 (B)、利き手データの若者群とペグ操作時間 (C) とリーチ時間 (D) の比較。全対象者 (男女混合) の平均値と SD (縦線) を表示している。

(7) 高齢者のペグ反転課題

ペグ反転課題での平均ペグ操作時間は、利き手で 834 ms、非利き手で 959 ms であった。これらの値は若者群の平均値 (上述) の 17% 増に留まり、指先でのペグ反転作業は、必ずしも高齢者にとって難しい作業ではないことが判明した。

(8) ペグ把握力と持ち上げ力

ペグの移動課題中の引き抜き時のピーク把握力の平均値は、50 mm の移動距離で 1.9 ± 0.6 N、70 mm では 2.5 ± 0.4 N であった。この差は統計的に有意 ($p < 0.01$) であり、運動速度の増加とそれに伴う加速度の増加が関連するものと推察された。持ち上げ力様相からは、ペグが移動後最初にボードに接触した瞬間を同定することやその後の挿入完了時点までターゲット探索行動も観察可能であった。持ち上げから最初のボード接触までの時間 (図 1D の b-a) は、50 mm と 70 mm の移動距離でそれぞれ 669 ms と 822 ms であり、この差は有意 ($p < 0.01$) であった。また最初の接触から穴に挿入完了までの時間は、50 mm と 70 mm の移動距離でそれぞれ 204 ms と 226 ms であり、この差は有意ではなかった。今回のペグ径と穴径の設定条件ではペグを穴周辺まで移動後挿入が完了するまでに要した時間は、全ペグ操作時間の 1/5 程度を占めていた。この探り時間の割合がペグ操作時間の大小に大きな影響を及ぼすと考えられる。異なるペグ径と穴径と非利き手での追加研究が今後の課題として残った。また、今回の力測定結果からペグの把握力や持ち上げ力情報は、運動評価に有用であることが示唆された。

5. 主な発表論文等

[学会発表](計 4 件)

木下 博、ペグの抜き差しタイミング計測可能ペグボードの試作、第 38 回バイオメカニズム学術講演会、2017.

Kinoshita H. Development of a pegboard for automated time measurement of individual's peg and hand movement, European Congress of NeuroRehabilitation-2017, 2017.

Kinoshita H. A new pegboard developed for accurate time measurement of individual peg motion, The World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, 2018.

K Tochio, Evaluation of separate peg and reaching movement time with a 9-hole peg board newly developed, 13th International Society of Physical and Rehabilitation Medicine World Congress, 2019.

[図書](計 1 件)

木下 博、奥野 竜平、中西 康人、東 登志夫、ペグの抜き差しタイミング計測可能ペグボードの試作、第 38 回バイオメカニズム学術講演会予稿集、バイオメカニズム学術講演会実行委員会編 (NCID: AN10266668) p285-288, 2017.

6. 研究組織

(1) 研究分担者

中西 康人、NAKANISHI Yasuto、大阪青山大学・健康科学部・健康栄養学科・教授、40244090

奥野 竜平、OKUNO Ryuhei、摂南大学・理工学部・教授、90294199

東 登志夫、HIGASHI Toshio、長崎大学・医歯薬学総合研究科 (保健学科)・教授、40244090

(2) 研究協力者

木村大輔、KIMURA Daisuke、 枳尾健介、TOCHIO Kensuke