[計測自動制御学会論文集
Vol.47, No.6, 1/10 (2011)]

磁気センサ型指タッピング装置の再現性評価

佐野佑子*・神鳥明彦*・島　圭介**・田村康裕**
高木　寛**・辻　敏夫**・野田正文***
東川史子***・横江　勝****・佐古田三郎*****

Repeatability Evaluation of Finger Tapping Device with Magnetic Sensors

Yuko SANO*, Akihiko KANDORI*, Keisuke SHIMA**, Yasuhiro TAMURA**,
Hiroshi TAKAGI**, Toshio TSUJI**, Masafumi NODA***,
Fumiko HIGASHIKAWA***, Masaru YOKOE**** and Saburo SAKODA*****

We tested the repeatability of a finger tapping device with magnetic sensors to determine its reliability. This device, which was developed to assist in the diagnosis of movement disorders such as Parkinson's disease (PD) and strokes, measures the distance between the first and index fingers during finger tapping movements (opening and closing the fingers repeatedly). We evaluated three types of repeatability based on ICC (interclass correlation coefficient) and Welch's test (test for equal means in a oneway layout): repeatability when measured at different times, when using different devices, and when using different measurers. We calculated these three types for three finger tapping tasks on both hands for 21 characteristics calculated from finger tapping waveforms. Results demonstrated that the repeatability when using different devices is high regardless of the task or hand. The repeatability when measuring at different times and when using different measurers is high at some tasks, but not all. One of the finger tapping tasks (finger tapping movement with the largest amplitude and highest velocity), which is used in a conventional PD diagnosis method (UPDRS), does not have enough repeatability, while other tasks show high repeatability. Results also showed that five characteristics have the highest repeatability (ICC ≥ 0.5 or significance probability of Welch's test $\geq 5\%$ in all tasks): "total moving distance," "average of local minimum acceleration in opening motion," "average of local minimum acceleration in closing motion," "average of local maximum distance" and "average of local minimum velocity". These results clearly demonstrate the strong repeatability of this device and lead to more precise diagnosis of movement disorders.

Key Words: finger tapping, magnetic sensor, repeatability, diagnosis support system, ICC, Welch's test

1. はじめに

近年，高齢化社会の進行に伴い，運動障害を有する患者数が増大している．運動障害にはパーキンソン病・脳卒中・頚髄症・慢性関節リウマチなどのさまざまな疾患が含まれ，その原因となる部位も中枢神経・末梢神経・筋・関節など多岐にわたっている．

これらの運動障害は，医師が目視で患者の動作を観察して診断されるのが一般的である．たとえば，パーキンソン病では，UPDRS (Unified Parkinson's Disease Rating Scale) という基準で重症度を判断する．具体的には，医師が患者の言語や四肢の運動などの複数の動作を観察して点数化し，運動機能低下の程度を総合的に評価する方法である．しかし，この方法によると，いくら修練を積んだ医師でも，ある程度の評価者内差異および評価者間差異が避けられず，その上，症状のわずかな変化を捉えることが困難であることが指摘されている[1]．

この問題を解決するため，従来研究では，高速度カメラやモーションキャプチャを用いて手指の運動や歩行動作を計測し，重症度を定量評価してきた[2]．しかし，これらは，患者の運動を精度よく計測可能であるが，正確な計測を行なうには測定部位の計測面を固定する必要があり，自由度の高い計測が困難であった．また，装置が高価かつ大型であるために研究用途に限定され，臨床現場に広く普及させることは困難だった．一方，このようなデメリットを解決するため，安価か

* 日立製作所基礎研究所　国分寺市東恋ヶ窪 1–280
** 広島大学大学院工学研究科　東広島市鏡山 1–4–1
*** 広島大学大学院医歯薬学総合研究科　広島市南区霞 1–2–3
**** 大阪大学大学院医学系研究科　吹田市山田丘 1–7
***** 国立病院機構刀根山病院　豊中市刀根山 5–1–1
* Hitachi, Ltd., Advanced Research Laboratory, 1–280 Higashi-Koigakubo, Kokubunji
** Graduate School of Engineering, Hiroshima University, 1–4–1 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima
*** Graduate School of Biomedical Sciences, Hiroshima University, 1–2–3 Kasumi, Minami-ku, Hiroshima
**** Graduate School of Medicine, Osaka University, 1–7 Yamadaoka, Suita
***** National Hospital Organization, Toneyama Hospital, 5–1–1 Toneyama, Toyonaka
(Received October 27, 2010)
(Revised xxx 0, 2011)

つ小型な加速度センサを用いて手指の運動や歩行運動を計測する研究も行なわれているが，上肢の震えなどによるノイズの影響を受けやすいという精度上の問題が生じていた[3),4)]．

そこで，われわれは，**Fig. 1** (a) のような磁気センサ型指タッピング装置を開発してきた．この装置は，指タッピング運動中の 2 指間の距離を計測することで，運動障害の重症度を定量評価する装置である[5)]．ここで，指タッピング運動とは，Fig. 1 (b) のように拇指と示指を繰り返し開閉させる動作で，重症度評価に有用な運動として前述の UPDRS でも採用されている．

本装置では，磁場発信コイルと磁場受信コイルを，拇指と示指の爪部に装着する．磁場発信コイルから生じた磁場は磁場受信コイルで受信され，2 つのコイルの位置関係が変わると受信される磁場強度が変化する．このことを利用して，拇指と示指の間の距離を算出する[5),6)]．このように磁気センサを用いると，装置が安価かつ小型になり臨床現場で用いやすいことや，2 指間距離を精度よく計測できることなどの利点がある．

本装置で指タッピング運動を計測すると，**Fig. 2** のような 2 指間距離の波形が得られる．この距離波形から，振幅の大きさや指タッピングの回数などのさまざまな特徴量が抽出される．これまで，これらの特徴量を用いて，パーキンソン病患者と健常者との識別や，パーキンソン病患者における薬効評価など，運動障害の診断支援のための研究が進められてきた[7)~10)]．しかし，これらの研究の多くは，1 人の測定者が装置 1 台を用いて計測していたため，解析対象となるデータは小規模なものにとどまり，診断支援の精度にも限界が生じていた．そのため，解析結果の精度を向上させるため，複数の測定者が複数の装置で計測して得られる大規模なデータベースを作成する必要があった．

しかし，複数の測定者が複数の装置を用いて異なる日時に計測する場合は，計測データの再現性が問題となる．計測データの再現性とは，被験者が同一であれば，異なる測定者が異なる装置を用いて異なる日時に計測しても特徴量の値が等しくなることである．そこで，本研究では，以下のように再現性を 3 種類に分類して評価することで，本装置の信頼性を検討する．

Fig. 1 Finger tapping device with magnetic sensors (a) Overall view (b) Finger tapping movement

Fig. 2 Distance waveform of finger tapping movement

1 つ目は，異なる日時に同一の被験者を計測する場合の再現性である．これを評価するのは，計測日時が異なっても被験者の状態が変わらなければ，指タッピング運動の性質にも変化がないことを確認するためである．

2 つ目は，異なる装置で同一の被験者を計測する場合の再現性である．これを評価するのは，各装置にはセンサ・ケーブルのインダクタンスおよび回路のオフセット電圧などに微小なばらつきがあるため，そのばらつきが再現性の許容範囲内にあることを確認する必要があるからである (なお，同一の被験者群を用いて再現性を評価する代わりに，同一の条件で集められた複数の被験者群を同一の被験者群とみなして再現性を評価した．つぎに述べる 3 つ目の再現性の評価においても，同様である．詳細は 2.1.2 項参照)．

3 つ目は，異なる測定者が同一の被験者を計測した場合の再現性である．これを評価するのは，測定者のセンサの取り付け方や指タッピング運動の指示方法によって，被験者の指タッピング運動が影響を受けるかを調べるためである．たとえば，従来からパーキンソン病で用いられている「できる限り大きく，できる限り速く」と指示して指タッピング運動を行なわせるタスクでは，測定者の指示・例示方法や被験者の解釈によって，振幅の大きさと速さのどちらを優先させるかについて統一されていなかった可能性があった．

以上より，本研究では，磁気センサ型指タッピング装置の計測データについて，①計測日時が異なる場合，②装置が異なる場合，③測定者が異なる場合の 3 通りの再現性を評価することを目的とする．さらに，指タッピング運動の複数のタスクについて上記の再現性を評価して，より再現性の高いタスクや特徴量を示すことも目的とする．

2. 手　　法

本章では，①計測日時が異なる場合，②装置が異なる場合，③測定者が異なる場合の 3 通りの再現性評価のための測定方法と解析方法を説明する．

2.1 測定方法

2.1.1 測定対象

本項では，再現性評価の対象として，2 つの健常者群 (測定対象 A と測定対象 B) を説明する．測定対象 A は，①計測日時が異なる場合の再現性を評価するための健常者群であり，測定対象 B は，②装置が異なる場合および③測定者が異なる場合の再現性を評価するための健常者群である．

測定対象 A は，広島大学大学院工学研究科の健常な男子学生 22 名である (**Table 1** 参照)．測定対象 A は測定対象の年代と性別がそろっているので，これらの要因の影響を考慮することなく，計測日時が異なる場合の再現性を評価できる．

測定対象 B は，広島大学大学院医歯薬学総合研究科において集められた健常者 368 名である (**Table 2** 参照)．ここで，同一の被験者に対して複数回の計測を実施することは困

Table 1　Measurement target A
(a) by age, (b) by sex, (c) by hand dominance. Used in evaluation of repeatability ① when measuring at different time

(a)

20's	22
Total	22

(b)

Male	22
Female	0
Total	22

(c)

Right-handed	20
Left-handed	2
Total	22

Table 2　Measurement target B
(a) by age, (b) by sex, (c) by hand dominance. Used in evaluation of repeatability ② when measuring using different devices and ③ when measured by different measurers

(a)

40's	132
50's	108
60's	111
70's	17
Total	368

(b)

Male	148
Female	220
Total	368

(c)

Right-handed	349
Left-handed	10
Both-handed	9
Total	368

難であったため，同一群と想定される複数の被験者を対象として評価を実施した．各被験者が健常者であることは，問診表に記載された神経筋疾患・運動器疾患・精神疾患などの各種疾患の既往歴がないことにより確認した．また，高血圧の被験者を除外するために，指タッピング計測の前に血圧を測定して，収縮期血圧が 160mmHg 未満であることも確認した．Table 2 からわかるように，測定対象 B は年代と性別の偏りが小さいので，年代・性別を問わずに再現性の有無を評価できる．なお，Table 2 (c) に示したように測定された 368 名中 9 名が両手利きであったため 2.2 節で行なう解析の対象から除外し，残りの 359 名を評価対象とした．

なお，②装置が異なる場合の再現性評価の前提として，各装置から出力される 2 指間距離の精度が十分高く，装置間でも再現性が高いことを確認済みである．本研究では，この結果を前提として，指タッピング運動中の 2 指間距離から算出される特徴量の再現性を評価する．

また，以上の被験者の計測は，広島大学疫学研究倫理審査委員会の承認を得た上で行なった．被験者からインフォームド・コンセントを取得する際には，本研究の目的や必要な検査などに関して十分な説明を行なった．また，臨床研究への参加は被験者の自由意思に基づくこと，同意した後でも撤回できること，予想される不利益，被験者負担軽減費に関しても十分な説明を行ない，被験者が内容を理解したことを確認した上で書面による同意書の提出を受けた．

2.1.2　測定環境

前項の測定対象 A (①計測日時が異なる場合の再現性評価で使用) の測定環境を説明した後に，測定対象 B (②装置が異なる場合および③測定者が異なる場合の再現性評価で使用) の測定環境を説明する．

測定対象 A は，広島大学工学研究科の研究室で 8 日間かけて測定された．各被験者は，8 日間の中の異なる日時に無作為化 (ランダム) 割り付けされ，1 人当たり計 5 回測定した．無作為化割り付けは，治療薬の評価などに使われる一般的な手法であり，再現性評価にも適している．このような無作為化割り付けを行なうことで，恣意的に計測順序を決めることによる評価結果への影響を回避できる．計測装置としては，日立コンピュータ機器製の磁気センサ型指タッピング装置 (Fig. 1 (a)，プロト機) を 2 台用いた．本装置は，磁気センサから出力される電圧をサンプリング周波数 100Hz で計測し，その電圧を 2 指の腹の間の距離に変換する．この変換は，指を閉じたときの電圧と 6cm のブロックをもったときの電圧を毎回の計測で測定し，この電圧を基準にして電圧から距離への変換曲線を算出することで，実現している．

測定対象 B は，広島大学大学院医歯薬学総合研究科の一室の 5 箇所のブースで計測された．各ブースはパーティションで互いに遮り，被験者が他の被験者や周囲からの刺激を受けないようにした．測定対象 B の各被験者は，5 つの装置と 5 名の測定者にそれぞれ無作為化割り付けされた．このようにすると，計測日時の割り付けの場合と同様に，再現性を評価する要因 (装置・測定者) 以外の要因の影響を除去することができる．測定者は 5 名 (23～27 歳：男性 4 名，女性 1 名) とした．計測装置として，前述の磁気センサ型指タッピング装置を 5 台用いた．

測定対象 A と測定対象 B の計測は両方とも，測定者と被験者が対面して座り，被験者に測定画面を見せない状態で行なわれた．各タスクの指示は，測定者の口頭による指示・例示に加えて，書面によっても示された．また，2.1.3 項で後述するタスク 3 については，ヘッドホンを用いて被験者にメトロノームの音を聞かせた．

2.1.3　測定タスク

2.1.1 項の測定対象 A と測定対象 B に対して，おのおのの手について，以下の 3 種類の指タッピング運動のタスクを計測した．これらのタスクは，被験者が目を閉じた状態で 15 秒間計測した．非目視下で計測したのは，被験者が自らの運動から視覚的なフィードバックを受けないようにするためである．

- タスク 1：0～X cm の範囲で，できる限り速く
- タスク 2：できる限り大きく，できる限り速く
- タスク 3：0～X cm の範囲で，2Hz のメトロノーム (X = 3～4cm(注 1))

各タスクでの 2 指の動かし方は以下のとおりである．タスク 1 では，2 指を最大に開いたときの 2 指腹間距離が Xcm となるように，かつ，できる限り速く指タッピング運動を行なう．タスク 2 では，2 指をできる限り大きく開き，かつ，できる限り速く指タッピング運動を行なう．タスク 3 では，2 指を最大に開いたときの 2 指腹間距離が Xcm となるように開き，かつ，2Hz のメトロノームに合わせて指タッピング運動を行なう．その際，メトロノームの音が鳴ったときに，2

(注 1) 測定対象 A では，タスク 1 とタスク 3 は 3-4cm の幅でなく，3-6cm の幅で指タッピング運動を行なわせた．このように指タッピング運動の振幅の制限を緩めたのは，計測日時の差異は装置や測定者の差異よりも再現性への影響が小さいので，より自由度の高い運動においても再現性を確認できると考えたためである．このように制約の少ない条件でも再現性が確認されれば，タスク 1 やタスク 3 の信頼性が高いことが示される．

指が閉じるようにする．なお，2 指腹間距離を正確に制御するのは困難であるため，タスク 1 とタスク 3 の X は，X = 3〜4cm と指定した．3 種類のタスクの典型的な距離波形を **Fig. 3** に示した．

実際の計測はタスク 1，タスク 2，タスク 3 の順で行ない，被験者は各タスクの計測の前に練習を行なった．タスク 1 とタスク 3 については，被験者は指定された振幅 (3〜4cm) の実寸図を見せて指タッピング運動を練習し，その後非目視下で計測を行なった．

なお，1 章でも述べたように，タスク 2 はパーキンソン病の標準的な診断基準 (UPDRS) の指タップ運動の項目で指示されている方法であり，診断に有用な運動と考えられている．しかし，このタスクは測定者の指示・例示方法や被験者の解釈によって，振幅やリズムが大きく変わる可能性が指摘されているため，タスク 1 やタスク 3 も含めて再現性を評価することとした．ここで，タスク 1 はタスク 2 において振幅を固定した運動で，タスク 3 はタスク 2 において振幅およびリズムを固定した運動である．

2.2 解析方法

2.2.1 項では，指タッピング装置から出力される 21 個の特徴量 (**Fig. 4**) について説明する．2.2.2 項では，級内相関係数および Welch の検定を適用して，これらの特徴量の再現性を評価する方法を示す．

2.2.1 磁気センサ型指タッピング装置の特徴量

以下，Fig. 4 を参照しながら，指タッピング運動のデータから抽出される 21 個の特徴量を説明する．各特徴量の後に記した番号は図中の番号と対応している．Fig. 4 左上の距離波形からは，以下の 5 個の特徴量を算出した．距離の最大振幅 (1) は，距離波形の最大値と最小値の差分である．総移動距離 (2) とは，全計測時間における距離変化量の絶対値の総和であり，t での距離値を X_t とすると，$\sum_t |X_{t+1} - X_t|$ と計算される．そして，距離の極大値の平均 (3) は指タッピング運動の極大値 (図中に図示) の平均値で，距離の極大値の標準偏差 (4) は毎回の指タッピング運動の極大値の標準偏差である．距離の極大点の近似直線の傾き (5) は，極大点を近似した直線 (図中に図示) の傾きであり，主に計測時間中の疲労による振幅の変化を表わすと考えられる．

同様に，距離波形を微分して得られた速度波形 (Fig. 4 右上) からは，以下の 7 個の特徴量を算出した．速度の最大振幅 (6) は，速度波形の最大値と最小値の差分である．速度の極大値の平均 (7) は毎回の指タッピング運動の極大値の平均値で，速度の極小値の平均 (8) は毎回の指タッピング運動の極小値の平均値である．同じようにして，速度の極大値の標準偏差 (9) は毎回の指タッピング運動の極大値の標準偏差で，速度の極小値の標準偏差 (10) は毎回の指タッピング運動の極小値の標準偏差として算出される．ここで，速度の極大値とはオープニング動作 (2 指を閉じた状態から開ききった状態まで) 中の最大値で，速度の極小値とはクロージング動作 (2 指を開いた状態から閉じた状態まで) 中の最小値である．さらに，エネルギーバランス (11) は，オープニング動作中の速度 V_{ot}^2 の 2 乗和とクロージング動作中の速度 V_{ct}^2 の 2 乗和との比で，$\frac{\sum_t V_{ot}^2}{\sum_t V_{ct}^2}$ と算出される．総エネルギー値 (12) は，全計測時間中の速度 V_t^2 の 2 乗和で，$\sum_t V_t^2$ と算出される．

さらに，速度波形を微分して得られた Fig. 4 左下の加速度波形については，以下の 5 個の特徴量を算出した．加速度の最大振幅 (13) は，加速度波形の最大値と最小値の差分である．さらに，タッピング 1 周期中に表れる 4 種類の極値に着目して，オープニング動作時の加速度の極大値の平均 (14)，オープニング動作時の加速度の極小値の平均 (15)，クロージング動作時の加速度の極大値の平均 (16)，クロージング動作時の加速度の極小値の平均 (17) を算出した (すべて図中に図示)．これらの特徴量はそれぞれ，2 指を開き始めた時点，開き終わった時点，閉じ終わった時点，閉じ始めた時点において作用する力に対応している．

最後に，Fig. 4 右下のタップインターバルのデータからは，4 個の特徴量を算出した．タップ回数 (18) は，全計測時間中の指タッピング運動の回数である．タップインターバルの平均値 (19) は，距離波形の極小点からつぎの極小点の間隔であるタップインターバル (図中に図示) の平均値である．平均周波数 (20) は，距離波形をフーリエ変換した場合にスペクトルが最大になる周波数である．タップインターバルの標準偏差 (21) は，タップインターバルの標準偏差を表わす．

2.2.2 再現性の評価方法

本項では，前節で示した 21 個の特徴量の再現性を評価する方法を説明する．①計測日時が異なる場合の再現性の評価方法を説明した後に，②装置が異なる場合および③測定者が異なる場合の再現性の評価方法を説明する．

①計測日時が異なる場合の再現性については，級内相関係数 (ICC) を用いて，5 回分の計測データから抽出された特徴量の値に差異がないことを評価した．ここで，級内相関係数とは，複数回 (本研究では 5 回) の計測で得られた値が一致する度合いを示す指標である．本研究では，級内相関係数が 0.5 以上であれば，再現性があるとした．このような級内相関係数を用いた評価を，6 タスク (2.1.3 項の 3 タスク×右手・左手) それぞれから得られる 21 個の特徴量 (Fig. 4) に対して行なった．

つぎに，②装置が異なる場合および③測定者が異なる場合の再現性を評価するために，多群の平均値の差の検定 (独立二標本における Welch の検定[11] を Welch が多群に拡張した手法[12]．以降，Welch の検定と呼ぶ) を適用した．この手法は，複数のグループの等分散性を仮定せずに，複数のグループの平均に差異がないことを評価する手法である．本手法の計算には，統計解析ソフト R (ver 2.12.2) を使用した．②装置が異なる場合および③測定者が異なる場合のそれぞれについて，Fig. 4 の 21 個の特徴量それぞれについて，6 タスク (2.1.3 項の 3 タスク×右手・左手) に対応した Welch の検定を行なって有意確率を算出した．本研究では，Welch の検定

Fig. 3 Distance waveform of finger tapping movement of three tasks

(a) Task 1 (3-4cm, as fast as possible)
(b) Task 2 (as large and fast as possible)
(c) Task 3 (3-4cm, at 2Hz metronome)

Fig. 4 Definition of characteristics of finger tapping movement

Table 3 Evaluation result of three kinds of repeatability

"○" means repeatability is confirmed, and "×" means repeatability is not confirmed. "Dominant" and "Non-dominant" mean a dominant and non-dominant hand respectively. "T1", "T2" and "T3" mean Task1, Task2 and Task3 respectively. In evaluation repeatability of ① when measuring at different time, repeatability is confirmed when ICC ≥ 0.5. In evaluation repeatability of ② when measuring using different devices and ③ when measured by different measurers, repeatability is confirmed when significance probability of Welch's test $\geq 5\%$.

Characteristics		①Time						②Device						③Measurer					
		Non-dominant			Dominant			Non-dominant			Dominant			Non-dominant			Dominant		
		T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
(1)	Max. of distance amplitude	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○	×	○
(2)	Total moving distance	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(3)	Avg. of local max. distance	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(4)	SD of local max. distance	○	○	×	○	○	×	○	○	×	○	×	○	○	×	○	○	×	○
(5)	Slope of approx. line of local max. points	×	×	×	×	×	×	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○
(6)	Max. of velocity amplitude	○	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○	×	○
(7)	Avg. of local max. velocity	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	×	○	○
(8)	Avg. of local min. velocity	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(9)	SD of local max. velocity	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○	×	○	○	×	○
(10)	SD of local min. velocity	○	×	×	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○	×	○
(11)	Energy balance	○	○	×	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○	○
(12)	Total energy	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○
(13)	Max. of acceleration amplitude	×	○	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○	×	○
(14)	Avg. of local max. acc. in opening motion	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○	×	○
(15)	Avg. of local min. acc. in opening motion	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(16)	Avg. of local max. acc. in closing motion	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○	×	○
(17)	Avg. of local min. acc. in closing motion	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(18)	Number of taps	○	○	×	○	○	×	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	×
(19)	Avg. of intervals	○	○	×	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(20)	Frequency of taps	○	○	×	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(21)	SD of tapping interval	×	○	×	○	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

で得られた有意確率が 5%以上であれば有意差がない (再現性あり) と考える．

以上の①計測日時が異なる場合 (21 個の特徴量× 6 タスク)，②装置が異なる場合 (同上)，③測定者が異なる場合 (同上) の再現性評価結果を，21 個の特徴量× 18 タスクの表にまとめた．さらに，その表を用いて，要因別 (計測日時・装置・測定者)，タスク別，特徴量別に再現性の有無をまとめた．

3. 結　　果

Table 3 に，2.2.2 項で説明した再現性の評価結果を示す．「○」は再現性があることを示し，「×」は再現性がないことを示す．ここで，①計測日時が異なる場合については，級内相関係数が 0.5 以上であれば再現性があり，0.5 未満であれば再現性がないとした．また，②装置が異なる場合および③計測者が異なる場合については，Welch の検定で算出された有意確率が 5%以上であれば再現性があり，5%未満であれば再現性がないとした．

この Table 3 から，各タスクの再現性を要因 (計測日時・装置・測定者) 別に集計した結果を，**Fig. 5** に示す．①計測日時が異なる場合の再現性に着目すると (グラフ中の黒いバー)，タスク 3 の再現性はタスク 1 やタスク 2 と比較して低いことがわかる．そして，②装置が異なる場合の再現性 (グラフ中

の灰色のバー) は，すべてのタスクにおいて高い傾向にあることがわかる．それと比較して，③測定者が異なる場合の再現性 (グラフ中の白いバー) はタスク 2 の再現性が低いことがわかる．

また，Fig. 5 をタスクごとに注目すると，すべての要因 (計測日時・装置・測定者) で再現性が最も高いタスクはタスク 1 で，タスク 2 とタスク 3 の再現性は同程度で，タスク 1 よりも低いとわかる．

Fig. 5 Number of characteristics whose repeatability are confirmed by factor (time, devices, measurers) and tasks

Table 4 Characteristics with high repeatability (Task num.: Number of tasks with high repeatability)

Task num.		Characteristics
18/18	(2)	Total moving distance
	(3)	Avg. of local max. distance
	(8)	Avg. of local min. velocity
	(15)	Avg. of local min. acc. in opening motion
	(17)	Avg. of local min. acc. in closing motion
17/18	(12)	Total energy
16/18	(1)	Max. of distance amplitude
	(7)	Avg. of local max. velocity
	(14)	Avg. of local max. acc. in opening motion
	(16)	Avg. of local max. acc. in closing motion
	(19)	Avg. of intervals
	(20)	Frequency of taps

最後に，Table 3 から，再現性の高い特徴量を選別した結果を **Table 4** に示す．各特徴量の 18 通りの再現性評価の中で再現性が認められた数を基準として，再現性の高い順に示した．18 通りすべてに再現性が認められたのは，Table 4 上段に示す 5 つの特徴量であった．

4. 考　　察

4.1 要因 (計測日時・装置・測定者) 別の再現性

各要因 (計測日時・装置・測定者) での再現性の評価結果について考察する．

Table 3 および Fig. 5 より，①計測日時が異なる場合については，多くの特徴量で再現性が認められた．したがって，異なる日時に繰り返し計測することによって，各特徴量の値が影響を受けることはないといえる．しかし，再現性が認められなかった特徴量もある．これは，これらの特徴量にばらつきが大きかったことが原因であると考えられる．再現性が認められなかった特徴量の例として，距離の極大点の近似直線の傾き (5) が挙げられる．この特徴量は，その性質上，正値や負値にばらつきやすいため，級内相関係数が小さくなったといえる．また，その他の例としては，加速度の最大振幅 (13) が挙げられる．この特徴量に再現性が認められなかったのは，加速度波形は距離波形を 2 回微分するために誤差が増幅されていること，および「最大振幅」は波形の最大値と最小値の差分として算出されるためにある時刻の値に大きく影響されることが原因と考えられる．

つぎに，Table 3 および Fig. 5 より，②装置が異なる場合は，ほぼすべての特徴量で再現性が認められた．この結果より，装置の部品特性のばらつきが計測データに及ぼす影響は小さいことがわかり，装置の信頼性が保証された．

一方，Table 3 および Fig. 5 より，③測定者が異なる場合は，タスク 1 とタスク 3 ではほぼすべての特徴量で再現性があったが，タスク 2 では再現性が認められない特徴量が多かった．タスク 2 で有意差があり再現性の低かった特徴量は距離・速度・加速度などに関するもので，リズムに関する特徴量よりは振幅に関する特徴量が多かった．これは，測定者によって「できる限り大きく」との指導・例示方法の差異があり，振幅に影響が出たためと考えられる．

なお，本研究では，要因 (計測日時・装置・測定者) 同士の再現性の優劣を比較することは難しい．これは，再現性の性質に応じて，異なる解析手法 (級内相関係数と Welch の検定) を用いたためである．

4.2 タスクの再現性

Fig. 5 の結果より，タスク 1 の再現性が最も高く，タスク 2・3 の再現性は同程度で，タスク 1 よりも低いことがわかった．

タスク 2 の再現性が低かったのは，タスク 2 では「できる限り速くできる限り大きく」と指示しており，振幅と速さの優先度を明確にしていなかったことが原因と考えられる．そのため，被験者は測定者の指示・例示方法を参考にしながら振幅と速さのどちらを優先するかを自ら意思決定していたために，各計測で振幅と速度の優先順位が統一されず，再現性が低下したと考えられる．

つぎに，タスク 1 の再現性が最も高かった理由を考察する．タスク 1 はタスク 2 と異なり振幅に制限を設けているので，被験者はその振幅の範囲で最も早く指タッピング運動を行なう．そのため，被験者は計測ごとに振幅と速度のどちらを優先するか意思決定する必要がなく，常に出来得る最大の速さで指タッピング運動を行なえたと考えられる．

最後に，タスク 3 の再現性がタスク 1 よりも低い理由を考察する．上述したように運動の制約の有無という観点からは，タスク 3 は振幅と速さの両方を制約しており，被験者が振幅と速さの優先順位を意思決定する必要がないことから，再現性がより高まるようにも思える．しかし，本研究では 2Hz という比較的遅い速さで指タッピング運動を行なわせたため，被験者が指タッピング運動 1 周期中の時間配分を自ら決定する必要があったと考えられる．つまり，被験者は，2 指を開いて，開いた状態を保持し，2 指を閉じて，閉じた状態を保持するという一連の行動が 0.5 秒間に収まるように，時間を配分していたと考えられる．一方で，タスク 1 のように「できる限り速く」と指示される場合は，上記の 4 つの行動をできる限り速く行なうため，このような時間配分を考える余地がない．

以上の考察より，再現性が高い指タッピング運動のタスクとは，タスク1のように被験者が意思決定する余地がないタスクであるといえる．このようなタスクは，被験者自身の精神状態や測定者の指示・例示方法に影響されにくいため，再現性が高まると考えられる．そして，この条件を満たすことが出来れば，タスク1以外にも再現性の高いタスクが見つかる可能性がある．

なお，本結果で得られた再現性の高低は，疾患の検出精度とは直接関連がない．つまり，パーキンソン病の診断で採用されているタスク2は，タスク1と比較して再現性が低いが，疾患群と健常群との識別性能は高い可能性がある．そのため，パーキンソン病の診断に適切なタスク・特徴量の組み合わせを得るには，本論文の結果に加えて，タスク・特徴量のすべての組み合わせにおいて疾患群と健常群の識別性能を算出し，その上で，識別性能と再現性の両方を実現し得る組み合わせを選ぶ必要がある．

また，タスク2でも，③測定者が異なる場合は再現性が低いが，①計測日時が異なる場合や②装置が異なる場合は再現性が高い (Fig. 5) ことから，同一の神経内科医が検査を繰り返す場合に限れば，タスク2の再現性は高く，検査の精度への影響は少ないといえる．

4.3 特徴量の再現性

18通りの再現性評価ですべて再現性が認められたのは，Table 4上段に示す5つの特徴量であった．このうち，距離の極大値の平均 (3) の再現性が高いのは，被験者が「できる限り大きく」という指示 (タスク2) や，3〜4cmの振幅の制限 (タスク1・3) を正確に実行していたためと考えられる．

一方，残りの4つの特徴量の再現性が高いのは，被験者の意思決定の影響を受けていないためと考察される．たとえば，総移動距離 (2) は，振幅が増大しても速さが増加しても増大するため，被験者が振幅と速さのどちらを優先しても変動しにくいと考えられる．また，オープニング動作時の加速度の極小値の平均 (15) は，2指を開き終わった時点の筋力に対応する特徴量であり，クロージング動作時の加速度の極小値の平均 (17) は，2指を閉じ始めた時点の筋力に対応する特徴量である．このことから，2指を開いた状態の動作には，被験者自身の精神状態や測定者の指示・例示方法が影響しにくいため，再現性が高くなった可能性がある（なお，筋力を機械インピーダンスで表現する手法も開発されており，このような手法を用いてさらに検討を重ねる必要がある[13]）．同様に，速度の極小値の平均 (8) は，閉じる動作中の速さのピーク値を示す特徴量であることから，2指を閉じる動作には被験者のコントロールが及びにくく，再現性が高くなった可能性がある．

以上のことから，再現性の高い特徴量とは，直接的な指示で再現性が高まった特徴量 (距離の極大値の平均 (3)) を除けば，被験者の意思で運動の性質が変化しても影響を受けにくい特徴量 (総移動距離 (2))，または被験者の意思で変化しにくい運動に関する特徴量 (速度の極小値の平均 (8)，オープニング動作時の加速度の極小値の平均 (15)，クロージング動作時の加速度の極小値の平均 (17)) であるといえる．

5. まとめ

本研究では，磁気センサ型指タッピング装置から得られる21個の特徴量に関して，①計測日時が異なる場合，②装置が異なる場合，③測定者が異なる場合での再現性を評価した．これらの評価は，磁気センサ型指タッピング装置5台を用いて測定者5人によって3種類の指タッピング運動のタスクを計測し，計390名分の健常者データベースを作成して，級内相関係数およびWelchの検定を適用することによって行なった．

その結果，計測日時が異なる場合の再現性は多くの特徴量・タスクで認められた．また，装置が異なってもすべてのタスクで再現性が高かったことから，装置の信頼性が高いことが示された．そして，測定者が異なる場合は，タスク1 (3〜4cm幅で，できる限り速く指タッピング運動) やタスク3 (振幅の幅が3〜4cmで，2Hzのメトロノームに合わせて指タッピング運動) ではほぼすべての特徴量で再現性が高かったが，タスク2 (できる限り大きく，できる限り速く指タッピング運動) では約半数の特徴量で再現性が認められなかった．これは，「できる限り大きく，できる限り速く」の指導・例示方法を，測定者間で統一することが困難であったためと考えられた．

つぎに，タスク別に再現性を評価すると，タスク1の再現性が最も高く，タスク2とタスク3の再現性は同程度で，タスク1よりも低いことがわかった．さらに，21個の特徴量の中で再現性が高い特徴量は，振幅の平均値を表わす「距離の極大値の平均」，計測時間中の運動量を表わす「総移動距離」，2指を開いた状態の筋力を表わす「オープニング動作時の加速度の極小値の平均」と「クロージング動作時の加速度の極小値の平均」，2指を閉じる動作を特徴づける「速度の極小値の平均」の5つであるとわかった．これらの結果から，被験者の意思決定の影響を受けないタスクや特徴量で再現性が高いことがわかった．

このように，異なる計測日時・装置・測定者の再現性を検討することで，適切なタスクを選択できるようになった．また，指タッピング運動のさまざまな特徴量の中でも，特に再現性の高い特徴量を示すことができた．さらに，現行のパーキンソン病評価基準 (UPDRS) で用いられてきたタスク2の再現性を評価し，その有効性を再検討する必要性を提示できた．上記の成果は，磁気センサによって指タッピング運動を精度よく計測することができ，定量評価が可能になったために実現できたと考えられる．

今後は，本研究で得られた再現性の高い特徴量やタスクが，さまざまな運動障害の識別に有用であるか確認していく．このことで，再現性と識別精度の両方を満たす特徴量やタスクを示すことができ，信頼性の高い指標が得られると考えられる．

謝辞　本研究は，広島大学大学院医歯薬学総合研究科・工学研究科，日立コンピュータ機器株式会社，財団法人ひろしま産業振興機構広島県産業科学技術研究所の方々のご協力によって実現することができました．ここに深く感謝いたします．

参 考 文 献

1) 佐古田，赤沢，阿部，横江：神経疾患における新しい動態計測，神経内科の最新医療，288/293，先端医療技術研究所 (2004)
2) R. Agostino, A. Curr, M. Giovannelli, N. Modugno, M. Manfredi and A. Berardelli: Impairment of individual finger movements in Parkinson's Disease, Movement Disorders, **18**-5, 560/565 (2003)
3) M. Yokoe, R. Okuno, T. Hamasaki, Y. Kurachi, K. Akazawa and S. Sakoda: Opening velocity, a novel parameter, for finger tapping test in patients with Parkinson's disease, Parkinsonism & Related Disorders, **15**-6, 440/444 (2009)
4) R. Okuno, M. Yokoe, K. Akazawa, K. Abe and S. Sakoda: Finger Taps Movement Acceleration Measurement System for Quantitative Diagnosis of Parkinson's disease, 28th International Conference IEEE EMBS, 6623/6626 (2006)
5) A. Kandori, M. Yokoe, S. Sakoda, K. Abe, T. Miyashita, H. Oe, H. Naritomi, K. Ogata and K. Tsukada: Quantitative magnetic detection of finger movements in patients with Parkinson's disease, Neuroscience Research, **49**-2, 253/260 (2004)
6) 島，閑，辻，辻，神鳥，宮下，横江，佐古田：人間の指タップ運動計測を目的とした磁気センサの較正法，計測自動制御学会論文集，**43**-9, 821/828 (2007)
7) K. Shima, T. Tsuji, E. Kan, A. Kandori, M. Yokoe and S. Sakoda: Measurement and Evaluation of Finger Tapping Movements Using Magnetic Sensors, 30th Annual International IEEE EMBS Conference, 5628/5631 (2008)
8) 村田，神鳥，宮下，佐野：パーキンソン病患者への指タップ装置の薬効評価対応の検討，第 2 回新しい運動機能研究会，22 (2007)
9) 三輪，細野，向井，牧野，冨士：磁気センサー指タッピング装置を用いた頚髄症の手指運動解析，臨床整形外科，**44**-3, 269/274 (2009)
10) K. Shima, T. Tsuji, A. Kandori, M. Yokoe and S. Sakoda: Measurement and Evaluation of Finger Tapping Movements Using Log-linearized Gaussian Mixture Networks, Sensors, **9**, 2187/2201 (2009)
11) 東京大学教養学部統計学教室：自然科学の統計学，82, 東京大学出版会 (1992)
12) B.L. Welch: On the comparison of several mean values: an alternative approach, Biometrika, 38, 330/336 (1951)
13) A. Kandori, Y. Sano, T. Miyashita, Y. Okada, M. Irokawa, K. Shima, T. Tsuji, M. Yokoe and S. Sakoda: Estimation method of finger tapping dynamics using simple magnetic detection system, Review of Scientific Instruments, **81**-9, 054303 1/6 (2010)

佐 野 佑 子 ［著 者 紹 介］

2005 年東京大学工学部機械情報工学科卒業．2007 年東京大学大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻卒業，同年日立製作所基礎研究所入社，現在に至る．

神 鳥 明 彦

1990 年上智大学理工学研究科博士前期課程卒業，同年日立製作所中央研究所入所．2006 年より日立製作所基礎研究所に転属．同研究所主管研究員，現在に至る．工学博士，医学博士．SQUID 磁束計の研究開発，心磁計・脳磁計の開発と磁気応用医用技術の開発などの研究に従事．

島 圭 介（正会員）

2007 年広島大学大学院工学研究科博士課程前期修了．2009 年同博士課程後期修了．2007-2008 年日本学術振興会特別研究員 (DC1)．2009 年より同特別研究員 (PD)．博士 (工学)．生体信号解析，ニューラルネット，ヒューマンインタフェースなどの研究に従事．

田 村 康 裕

2009 年広島大学工学部第二類卒業．現在，同大学院工学研究科博士課程前期在学中．磁気センサを用いた指タップ力推定法，指タップ運動機能解析に関する研究に従事．

高 木 寛

2009 年広島大学工学部第二類卒業．現在，同大学院工学研究科博士課程前期在学中．磁気センサと動画像を用いた指タップ運動機能評価システムに関する研究に従事．

辻 敏 夫（正会員）

1985 年広島大学大学院工学研究科博士課程前期修了．同大学工学部助手，同助教授を経て，2002 年より同大学大学院工学研究科教授，現在に至る．工学博士．人間とロボットの運動制御，生体信号解析，ニューラルネットなどの研究に従事．本会学術奨励賞 (1986)，論文賞 (2002, 2008) などを受賞．

野 田 正 文

2002 年広島大学大学院医歯薬学総合研究科博士課程前期修了．2005 年同博士課程修了．博士 (医薬学)．現在，広島大学大学院医歯薬学総合研究科特任講師．

東 川 史 子

1999 年広島大学大学院医学系研究科博士課程後期修了．フロリダ大学，UCSF に留学後，広島大学原爆放射線医科学研究所助手，同大学医歯薬学総合研究科助手を経て，2007 年より准教授，現在に至る．博士 (薬学)．

横 江 勝

1997 年大阪大学医学部医学科卒業，2002 年大阪大学大学院大学医学研究科博士課程入学，2006 年同大学医学部神経内科医員，2007 年大阪大学臨床医工学融合研究・教育センター特任研究員，2009 年大阪大学医学部神経内科・脳卒中科兼リハビリテーション科特任助教，現在に至る．

佐古田 三 郎

1975 年大阪大学医学部医学科卒業．同大学医学部助手，同助教授，同教授 (神経内科・医学統計学) を経て，2008 年同大学附属病院臨床試験部部長に就任．2010 年より国立病院機構刀根山病院院長に就任，現在に至る．医学博士．

《付　　録》

A. 指タッピング運動の健常者データベース

指タッピング運動の 21 個の特徴量の健常者データベースを示す．測定対象は，2.1.1 節で示した測定対象 B である．表中の括弧付き番号は，Fig. 4 の特徴量番号に対応している．

Table A.1 Database of 21 characteristics by age

			Number of subjects	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)
Task 1	Dominant	40's Ave.	129	53.386	4918.582	38.802	5.486	0.151	1.734	0.597	-0.713	0.077	0.094	0.840	254.069	72.283	15.214	-17.711	20.356	-27.367	64.574	0.250	4.349	0.025
		50's Ave.	107	56.648	4812.004	38.415	6.120	0.037	1.825	0.594	-0.689	0.085	0.106	0.858	244.775	73.771	14.692	-17.344	19.446	-25.944	63.028	0.248	4.247	0.028
		60's Ave.	106	55.404	4581.501	39.986	5.696	0.226	1.693	0.583	-0.707	0.074	0.096	0.838	230.835	63.748	14.133	-16.032	19.823	-23.981	57.717	0.274	3.894	0.029
		70's Ave.	17	50.535	3889.352	35.883	5.250	0.100	1.495	0.528	-0.613	0.064	0.090	0.870	161.712	58.096	12.275	-14.527	17.194	-20.878	55.765	0.304	3.756	0.024
		40's SD		20.006	1930.963	15.627	2.370	0.506	0.604	0.217	0.274	0.033	0.040	0.133	183.736	32.877	5.553	8.394	7.917	11.511	16.052	0.085	1.073	0.014
		50's SD		30.464	1737.808	15.325	3.431	0.604	1.246	0.211	0.247	0.069	0.077	0.088	177.635	49.671	5.510	6.981	7.027	10.112	13.639	0.062	0.911	0.019
		60's SD		18.269	1592.817	15.261	1.988	0.594	0.523	0.186	0.253	0.030	0.038	0.126	150.846	25.586	4.836	6.518	7.143	8.965	13.317	0.081	0.893	0.016
		70's SD		13.238	1001.798	10.238	2.018	0.514	0.314	0.119	0.154	0.015	0.035	0.188	70.676	18.468	2.975	5.090	4.581	7.310	16.665	0.133	1.118	0.013
	Non-dominant	40's Ave.	129	61.529	5480.699	43.402	7.400	0.128	2.021	0.681	-0.789	0.109	0.132	0.864	356.946	85.150	17.383	-19.845	22.464	-30.365	63.550	0.249	4.285	0.028
		50's Ave.	107	63.999	5285.126	43.360	7.193	0.057	2.043	0.666	-0.776	0.103	0.127	0.861	301.053	83.930	16.466	-19.615	21.988	-28.600	61.364	0.252	4.136	0.030
		60's Ave.	106	66.232	5176.343	46.728	6.793	0.231	2.015	0.673	-0.796	0.095	0.117	0.858	300.295	76.412	16.333	-18.196	21.938	-26.171	55.896	0.277	3.780	0.032
		70's Ave.	17	63.109	4686.344	44.453	6.917	0.166	1.754	0.636	-0.721	0.091	0.107	0.905	236.025	66.093	14.826	-17.040	19.748	-23.229	53.471	0.310	3.609	0.033
		40's SD		29.167	2612.577	20.086	8.463	0.661	1.258	0.327	0.392	0.183	0.207	0.110	640.841	62.900	9.383	9.064	12.507	18.657	14.183	0.073	0.948	0.017
		50's SD		31.378	1795.569	16.906	3.986	0.588	1.303	0.223	0.268	0.091	0.090	0.091	203.981	67.348	6.045	7.153	7.446	10.380	11.574	0.054	0.775	0.015
		60's SD		31.171	1757.068	18.484	3.709	0.633	1.226	0.214	0.279	0.084	0.083	0.107	198.289	45.684	5.497	6.710	7.575	9.235	11.229	0.065	0.750	0.021
		70's SD		15.608	1255.907	13.920	2.001	0.468	0.327	0.151	0.189	0.030	0.036	0.241	100.665	20.536	3.964	5.619	4.985	6.709	15.088	0.124	1.006	0.019
Task 2	Dominant	40's Ave.	129	128.744	9817.947	103.163	11.715	-0.996	3.693	1.239	-1.573	0.173	0.223	0.770	1039.984	131.280	29.224	-24.551	41.067	-38.220	48.140	0.325	3.253	0.040
		50's Ave.	107	121.376	8708.029	93.685	11.533	-0.908	3.442	1.126	-1.414	0.165	0.218	0.782	832.031	122.592	25.191	-22.610	37.202	-34.745	46.617	0.339	3.150	0.047
		60's Ave.	106	129.262	8149.162	99.473	10.808	-0.707	3.639	1.113	-1.433	0.166	0.229	0.757	770.219	130.450	24.806	-19.898	37.095	-32.228	41.236	0.384	2.790	0.055
		70's Ave.	17	115.340	7316.080	94.993	9.143	-0.745	2.952	1.010	-1.308	0.124	0.171	0.748	628.613	92.228	21.882	-18.072	33.180	-28.284	39.471	0.416	2.668	0.046
		40's SD		27.875	2394.932	23.572	4.885	0.919	1.155	0.297	0.346	0.096	0.100	0.097	477.562	62.328	8.118	9.023	10.155	9.933	11.021	0.082	0.736	0.020
		50's SD		30.821	2065.524	19.740	5.387	0.870	1.495	0.255	0.322	0.111	0.122	0.097	351.706	77.663	6.670	7.926	10.053	10.179	10.988	0.097	0.735	0.026
		60's SD		43.178	1847.070	21.236	6.895	0.866	2.089	0.248	0.290	0.140	0.149	0.106	301.501	118.806	6.846	7.754	8.301	8.601	10.871	0.103	0.727	0.032
		70's SD		22.282	1788.543	22.955	3.718	0.731	0.569	0.180	0.270	0.042	0.064	0.081	254.180	23.421	4.199	5.973	8.591	8.086	12.315	0.142	0.814	0.014
	Non-dominant	40's Ave.	129	132.475	9678.043	104.085	12.240	-0.832	3.819	1.245	-1.570	0.179	0.247	0.780	1039.385	141.181	29.229	-24.912	41.122	-38.169	46.977	0.332	3.173	0.045
		50's Ave.	107	126.088	8737.073	97.097	11.128	-0.802	3.765	1.142	-1.462	0.187	0.245	0.772	865.013	134.613	25.506	-22.426	38.533	-34.942	45.224	0.348	3.060	0.045
		60's Ave.	106	131.901	8034.766	101.952	11.589	-0.680	3.990	1.111	-1.444	0.202	0.270	0.767	781.388	155.385	25.401	-18.821	36.831	-31.989	39.792	0.396	2.688	0.055
		70's Ave.	17	138.863	7645.888	99.489	10.599	-0.702	4.069	1.107	-1.348	0.199	0.268	0.810	701.675	150.245	24.781	-19.432	34.237	-28.377	39.059	0.421	2.634	0.045
		40's SD		39.681	2551.477	24.808	7.018	1.165	1.554	0.318	0.385	0.108	0.154	0.097	539.207	94.652	8.786	9.319	11.263	11.916	10.460	0.080	0.700	0.019
		50's SD		44.090	2197.740	23.792	7.102	0.810	2.187	0.274	0.352	0.172	0.180	0.090	409.016	100.477	7.424	7.980	10.438	9.632	10.515	0.099	0.707	0.022
		60's SD		46.459	1854.088	22.056	9.228	0.971	3.710	0.253	0.321	0.254	0.256	0.118	360.141	293.394	8.612	6.862	9.884	8.841	9.905	0.102	0.667	0.029
		70's SD		62.286	2016.218	22.089	8.296	0.817	2.969	0.224	0.285	0.199	0.250	0.099	312.334	166.268	5.254	6.240	8.727	9.349	11.568	0.145	0.780	0.017
Task 3	Dominant	40's Ave.	129	59.559	2917.583	47.227	5.296	0.151	1.644	0.482	-0.819	0.070	0.091	0.564	144.169	62.317	11.507	-7.637	23.324	-20.621	29.690	0.495	2.019	0.036
		50's Ave.	107	58.630	2870.520	46.143	5.308	0.214	1.619	0.482	-0.810	0.065	0.093	0.590	144.192	58.433	11.079	-7.617	23.536	-20.722	29.654	0.497	2.014	0.033
		60's Ave.	106	62.283	3067.936	49.014	5.437	0.205	1.721	0.504	-0.855	0.069	0.097	0.566	159.800	63.963	11.349	-7.882	24.670	-21.696	29.604	0.489	2.010	0.037
		70's Ave.	17	60.437	2903.707	46.039	5.603	0.235	1.628	0.467	-0.805	0.069	0.104	0.555	133.668	62.176	10.309	-7.586	23.438	-20.213	29.588	0.493	2.028	0.037
		40's SD		18.368	980.633	16.302	1.907	0.627	0.507	0.167	0.274	0.033	0.037	0.165	91.229	27.519	5.069	3.306	7.837	7.085	0.776	0.009	0.039	0.023
		50's SD		19.294	1062.181	17.531	1.857	0.574	0.517	0.182	0.305	0.025	0.038	0.176	111.829	22.610	4.625	3.150	9.236	7.945	0.787	0.009	0.037	0.021
		60's SD		19.311	1058.206	17.461	1.758	0.553	0.537	0.171	0.309	0.028	0.035	0.166	106.824	28.833	4.367	3.015	9.296	8.357	3.261	0.051	0.218	0.022
		70's SD		14.452	698.447	11.533	1.913	0.570	0.360	0.114	0.215	0.027	0.046	0.165	63.770	28.608	2.795	2.339	6.654	6.481	0.600	0.008	0.033	0.028
	Non-dominant	40's Ave.	129	65.963	3177.274	51.352	6.655	0.236	1.851	0.537	-0.902	0.092	0.120	0.576	196.217	68.082	12.817	-8.215	26.034	-23.336	29.581	0.496	2.017	0.034
		50's Ave.	107	62.994	3086.377	49.536	5.848	0.177	1.769	0.521	-0.865	0.075	0.104	0.598	165.475	65.520	12.071	-8.162	25.171	-22.072	29.570	0.497	2.013	0.035
		60's Ave.	106	66.421	3256.403	52.596	5.934	0.217	1.828	0.548	-0.889	0.076	0.108	0.605	178.827	67.637	12.651	-8.596	25.439	-22.100	29.453	0.490	2.005	0.036
		70's Ave.	17	65.117	3215.702	50.734	6.342	0.238	1.770	0.530	-0.852	0.079	0.127	0.600	162.803	63.519	11.723	-8.466	24.482	-20.776	30.059	0.493	2.032	0.044
		40's SD		29.825	1432.237	23.160	7.444	1.240	1.199	0.294	0.459	0.165	0.199	0.156	388.952	54.981	8.272	3.858	14.938	16.797	0.912	0.010	0.046	0.021
		50's SD		20.323	1109.285	18.130	2.262	0.677	0.549	0.199	0.298	0.031	0.046	0.174	113.780	26.482	5.384	3.443	8.696	7.649	0.699	0.007	0.029	0.021
		60's SD		20.438	1112.373	18.457	2.097	0.580	0.545	0.196	0.302	0.032	0.037	0.191	117.157	27.888	6.007	3.773	8.655	7.882	3.201	0.050	0.213	0.018
		70's SD		15.288	845.700	14.178	2.154	0.672	0.401	0.161	0.203	0.033	0.047	0.179	79.976	15.852	3.676	3.496	5.836	5.530	1.110	0.015	0.067	0.025

Table A.2 Database of 21 characteristics by sex

			Number of subjects	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)
Task 1	Dominant	Male Ave.	146	57.929	5405.827	41.384	6.141	0.226	1.915	0.651	-0.770	0.088	0.108	0.847	294.197	80.648	16.507	-20.140	22.030	-30.631	65.438	0.243	4.408	0.026
		Female Ave.	213	52.688	4281.168	37.194	5.441	0.075	1.617	0.546	-0.651	0.071	0.091	0.845	202.961	61.917	13.293	-14.772	18.234	-22.212	59.089	0.270	3.983	0.028
		Male SD		18.666	1855.414	14.282	2.470	0.609	0.581	0.205	0.254	0.036	0.043	0.122	184.555	33.598	5.450	7.840	7.281	10.907	14.296	0.081	0.954	0.015
		Female SD		25.362	1528.402	15.641	2.712	0.530	0.942	0.190	0.247	0.050	0.058	0.123	148.154	37.031	4.742	6.151	6.958	8.399	14.834	0.081	0.993	0.017
	Non-dominant	Male Ave.	146	69.759	6123.734	48.085	8.145	0.265	2.292	0.760	-0.883	0.123	0.149	0.862	420.032	95.755	19.298	-22.769	25.128	-33.873	63.301	0.247	4.271	0.030
		Female Ave.	213	59.595	4726.825	41.910	6.444	0.053	1.822	0.612	-0.716	0.089	0.109	0.864	247.783	71.399	14.883	-16.681	19.921	-24.417	58.009	0.271	3.914	0.030
		Male SD		33.899	2446.678	19.355	8.381	0.660	1.483	0.305	0.367	0.184	0.204	0.093	607.741	66.239	8.903	8.053	11.545	17.186	12.498	0.068	0.835	0.022
		Female SD		26.253	1605.104	17.463	3.051	0.588	0.989	0.205	0.260	0.066	0.066	0.127	162.842	50.408	5.135	6.486	7.160	8.893	13.111	0.071	0.875	0.015
Task 2	Dominant	Male Ave.	146	131.374	9817.664	101.982	12.195	-0.871	3.873	1.260	-1.592	0.180	0.237	0.776	1046.199	142.693	29.150	-26.026	42.180	-40.283	48.610	0.325	3.283	0.045
		Female Ave.	213	122.427	8230.422	96.723	10.638	-0.874	3.358	1.087	-1.390	0.157	0.210	0.764	764.178	115.563	24.464	-19.732	35.756	-31.285	42.925	0.369	2.904	0.048
		Male SD		32.700	2302.315	22.236	5.215	0.964	1.534	0.261	0.333	0.095	0.103	0.093	437.512	97.172	7.427	8.351	9.997	10.132	11.312	0.091	0.758	0.027
		Female SD		34.342	1980.111	21.786	5.897	0.834	1.567	0.259	0.301	0.125	0.133	0.104	338.824	76.172	6.980	7.559	8.727	8.018	10.998	0.103	0.733	0.026
	Non-dominant	Male Ave.	146	140.375	9801.952	105.264	12.784	-0.833	4.272	1.285	-1.632	0.212	0.282	0.779	1086.250	159.057	30.203	-25.798	43.188	-40.195	46.938	0.335	3.171	0.047
		Female Ave.	213	124.076	8140.445	98.339	10.854	-0.730	3.587	1.088	-1.393	0.174	0.235	0.772	764.320	133.421	24.431	-19.587	35.720	-31.302	41.915	0.377	2.833	0.049
		Male SD		50.589	2608.441	25.287	8.449	1.200	2.322	0.309	0.381	0.189	0.216	0.094	539.295	117.443	8.723	9.118	11.361	11.674	10.874	0.089	0.729	0.025
		Female SD		38.344	1866.550	22.234	7.282	0.831	2.748	0.244	0.306	0.180	0.188	0.107	336.804	214.329	7.318	7.015	9.055	8.185	10.338	0.105	0.696	0.022
Task 3	Dominant	Male Ave.	146	64.567	3185.085	51.287	5.458	0.245	1.809	0.509	-0.919	0.071	0.100	0.529	170.535	70.778	11.797	-8.000	26.635	-24.261	29.712	0.495	2.022	0.035
		Female Ave.	213	57.084	2784.299	44.694	5.286	0.152	1.556	0.473	-0.763	0.066	0.090	0.602	133.049	55.374	10.919	-7.496	21.840	-18.679	29.606	0.493	2.010	0.036
		Male SD		18.480	989.340	16.276	1.862	0.590	0.518	0.165	0.293	0.031	0.040	0.151	110.002	29.087	4.849	3.191	8.858	7.946	1.260	0.014	0.075	0.021
		Female SD		18.449	1009.964	16.754	1.840	0.583	0.487	0.174	0.275	0.027	0.035	0.175	92.532	22.940	4.486	3.083	8.001	6.685	2.215	0.035	0.146	0.023
	Non-dominant	Male Ave.	146	70.116	3469.637	55.576	6.617	0.257	2.012	0.573	-1.000	0.092	0.127	0.545	222.739	76.995	13.657	-8.916	29.064	-26.557	29.733	0.495	2.024	0.035
		Female Ave.	213	61.786	2973.659	48.114	5.892	0.183	1.681	0.509	-0.805	0.075	0.102	0.624	151.274	60.101	11.696	-7.917	23.104	-19.674	29.446	0.494	2.005	0.035
		Male SD		26.570	1366.611	22.075	6.805	1.159	1.124	0.285	0.435	0.154	0.187	0.140	369.178	53.289	8.624	4.016	14.040	15.785	1.320	0.015	0.078	0.021
		Female SD		21.544	1077.278	17.924	2.636	0.665	0.524	0.190	0.277	0.036	0.041	0.187	101.283	23.035	4.765	3.410	7.993	6.663	2.178	0.035	0.143	0.020

Table A.3 Database of 21 characteristics by hand dominance

		Number of subjects	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)
Task 1	Dominant Ave.	359	54.819	4738.550	38.898	5.725	0.137	1.738	0.589	-0.700	0.078	0.098	0.846	240.065	69.535	14.600	-16.955	19.778	-25.636	61.671	0.259	4.156	0.027
	Non-dominant Ave.	359	63.729	5294.927	44.421	7.136	0.139	2.013	0.672	-0.784	0.102	0.125	0.863	317.834	81.304	16.679	-19.157	22.038	-28.263	60.162	0.261	4.059	0.030
	Dominant SD		23.021	1758.189	15.242	2.639	0.568	0.828	0.203	0.256	0.046	0.053	0.123	169.951	36.842	5.283	7.376	7.333	10.360	14.946	0.082	1.000	0.016
	Non-dominant SD		30.020	2105.695	18.507	5.898	0.627	1.236	0.261	0.319	0.129	0.141	0.114	416.054	58.610	7.252	7.764	9.548	13.734	13.125	0.071	0.877	0.018
Task 2	Dominant Ave.	359	126.066	8875.930	98.862	11.271	-0.873	3.567	1.157	-1.472	0.166	0.221	0.769	878.872	126.596	26.370	-22.292	38.369	-34.944	45.237	0.351	3.058	0.047
	Non-dominant Ave.	359	130.704	8816.155	101.155	11.639	-0.772	3.865	1.168	-1.490	0.189	0.254	0.775	895.244	143.846	26.779	-22.113	38.757	-34.919	43.958	0.360	2.970	0.048
	Dominant SD		33.969	2256.077	22.122	5.682	0.889	1.574	0.274	0.330	0.114	0.122	0.100	406.388	86.372	7.526	8.475	9.787	9.971	11.472	0.101	0.767	0.026
	Non-dominant SD		44.466	2345.272	23.768	7.836	0.999	2.605	0.289	0.359	0.185	0.202	0.102	458.902	181.722	8.412	8.504	10.705	10.689	10.844	0.101	0.729	0.023
Task 3	Dominant Ave.	359	60.128	2947.293	47.375	5.356	0.190	1.659	0.488	-0.826	0.068	0.094	0.572	148.294	61.639	11.276	-7.701	23.790	-20.949	29.649	0.494	2.015	0.035
	Non-dominant Ave.	359	65.174	3175.366	51.149	6.187	0.213	1.816	0.535	-0.885	0.082	0.112	0.592	180.338	66.971	12.494	-8.323	25.528	-22.473	29.563	0.494	2.013	0.035
	Dominant SD		18.824	1020.792	16.875	1.851	0.588	0.515	0.171	0.292	0.029	0.038	0.169	101.687	26.712	4.657	3.137	8.686	7.727	1.887	0.029	0.122	0.022
	Non-dominant SD		24.067	1227.783	20.056	4.805	0.900	0.839	0.236	0.363	0.102	0.124	0.174	250.493	39.224	6.682	3.701	11.253	11.794	1.883	0.029	0.121	0.021

Table A.4 Database of 21 characteristics by tasks

		Number of subjects	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)
Dominant	Task 1 Ave.	359	54.819	4738.550	38.898	5.725	0.137	1.738	0.589	-0.700	0.078	0.098	0.846	240.065	69.535	14.600	-16.955	19.778	-25.636	61.671	0.259	4.156	0.027
	Task 2 Ave.	359	126.066	8875.930	98.862	11.271	-0.873	3.567	1.157	-1.472	0.166	0.221	0.769	878.872	126.596	26.370	-22.292	38.369	-34.944	45.237	0.351	3.058	0.047
	Task 3 Ave.	359	60.128	2947.293	47.375	5.356	0.190	1.659	0.488	-0.826	0.068	0.094	0.572	148.294	61.639	11.276	-7.701	23.790	-20.949	29.649	0.494	2.015	0.035
	Task 1 SD		23.021	1758.189	15.242	2.639	0.568	0.828	0.203	0.256	0.046	0.053	0.123	169.951	36.842	5.283	7.376	7.333	10.360	14.946	0.082	1.000	0.016
	Task 2 SD		33.969	2256.077	22.122	5.682	0.889	1.574	0.274	0.330	0.114	0.122	0.100	406.388	86.372	7.526	8.475	9.787	9.971	11.472	0.101	0.767	0.026
	Task 3 SD		18.824	1020.792	16.875	1.851	0.588	0.515	0.171	0.292	0.029	0.038	0.169	101.687	26.712	4.657	3.137	8.686	7.727	1.887	0.029	0.122	0.022
Non-dominant	Task 1 Ave.	359	63.729	5294.927	44.421	7.136	0.139	2.013	0.672	-0.784	0.102	0.125	0.863	317.834	81.304	16.679	-19.157	22.038	-28.263	60.162	0.261	4.059	0.030
	Task 2 Ave.	359	130.704	8816.155	101.155	11.639	-0.772	3.865	1.168	-1.490	0.189	0.254	0.775	895.244	143.846	26.779	-22.113	38.757	-34.919	43.958	0.360	2.970	0.048
	Task 3 Ave.	359	65.174	3175.366	51.149	6.187	0.213	1.816	0.535	-0.885	0.082	0.112	0.592	180.338	66.971	12.494	-8.323	25.528	-22.473	29.563	0.494	2.013	0.035
	Task 1 SD		30.020	2105.695	18.507	5.898	0.627	1.236	0.261	0.319	0.129	0.141	0.114	416.054	58.610	7.252	7.764	9.548	13.734	13.125	0.071	0.877	0.018
	Task 2 SD		44.466	2345.272	23.768	7.836	0.999	2.605	0.289	0.359	0.185	0.202	0.102	458.902	181.722	8.412	8.504	10.705	10.689	10.844	0.101	0.729	0.023
	Task 3 SD		24.067	1227.783	20.056	4.805	0.900	0.839	0.236	0.363	0.102	0.124	0.174	250.493	39.224	6.682	3.701	11.253	11.794	1.883	0.029	0.121	0.021