

肢体不自由者の上肢運動機能評価に関する基礎的研究

—— 第1報：健常者の上肢運動機能の計測 ——

尾 澤 新・奥 英 久*

岡山理科大学大学院工学研究科修士課程電子工学専攻

*岡山理科大学工学部情報工学科

(1995年9月30日 受理)

1. 緒 言

肢体不自由者の上肢運動機能の評価は、これまで主として医学的観点からの訓練・治療の手段あるいは評価の指針を得ることを目的として行われてきた。これは、障害を有していても日常生活におけるさまざまな動作をどの程度まで行えるかという視点によるものであり、リハビリテーション医療の分野で ADL (Activities of Daily Living, 日常生活動作機能) の評価として標準化されている。しかし、この評価では、高位脳機能障害による視空間失認や麻痺等による障害に対して代償動作などを的確に判断することが難しく、これにより機能障害 (disability) の診断や治療・訓練の方針決定などが困難となっている。一方、障害者のリハビリテーションおよび福祉の概念が普及するに従い、肢体不自由者を支援する種々の福祉用具が開発されてきている。しかし、これらの機器が当該肢体不自由者に適するか否かの判定 (適合) においては、肢体不自由者が実際に当該機器を試した結果による主観的な判断が多く、科学的な観点からの「最適な適合」すなわちインタフェースの最適化に関する検討は行われていない。このような状況に対して、福意^{1),2),3)}らは、脳血管障害等による半側空間失認患者の治療法として視覚探索課題を用いた系統的治療法を提案し、その実験結果から治療方法の一つとして有意であることを示している。この研究では、患者の前面にランプを配した評価ボードを置き、ランプ点灯による視覚刺激提示とスイッチ押下によるランプ消灯までの時間計測等を行い、半側空間失認の鑑別と評価を行うものである。

本研究の目的は、これら視覚刺激提示が障害者の身体機能評価に利用可能であるという結果に基づき、肢体不自由者が福祉用具を操作するための上肢運動機能の評価という観点から、視覚刺激提示・応答時間評価による上肢運動機能を計測し、その評価方法について検討することにある。本論文では、その第1段階として、視覚刺激提示・応答時間計測システムを試作して健常者を対象とした上肢運動機能の評価実験を行い、肢体不自由者の上肢運動機能と比較するための基本的特性について検討する。

2. 計測システム

健常者の上肢運動作業域および基本的な身体的作業能力については人間工学分野の研究により規準数値が得られている⁴⁾が,本研究では視覚刺激提示とその応答時間特性についての評価を行うことを目的としている。このため,以下に述べる計測システムを作成した。

2.1 計測システム

今回の研究で試作した視覚刺激提示装置と計測装置の構成を Fig. 1 に示す。視覚刺激提示装置として,ランプとして緑色発光ダイオードと1回路1接点のスイッチが内蔵された押しボタン式スイッチを36個使用し,10cm間隔で6行×6列の構成としたスイッチ盤を製作し,配置した。発光ダイオード付きスイッチの位置は後の評価で必要となるため盤面左上から右上に1から6の番号を付し,以下同様の順序で番号を付した(最下段は左端が31で右端は36となる)。また,聴覚刺激としては,点灯と同時にクリック音を発生させた。ランプの点灯,点灯時の聴覚刺激発生,点灯からスイッチ押下による消灯までの応答時間計測の制御は,パソコン(PC-9801VM)で行い,パラレル入出力回路とタイマー用回路をインタフェース基板上に製作した。制御プログラムはC言語で製作した。

2.2 計測条件

発光ダイオードの点灯により視覚刺激を提示し,点灯直後からスイッチ押下による消灯までの経過時間を応答時間として計測した。点灯はすべての発光ダイオードについて行い,その順序はランダムに決定した。各被験者には,スイッチの全数押下を1回の評価実験として,条件を変更して2回の操作を行わせた。条件としては,スイッチ押下に用いる腕の種類(利き腕/非利き腕),発光ダイオード点灯時の聴覚刺激提示の有無,を設定した。これらの内容は Table 1 の通りである。さらに,スイッチと被験者との距離による影響を評価するため, Fig. 1 に示すように視覚刺激提示盤を垂直位置から後方へ15°だけ傾斜させて

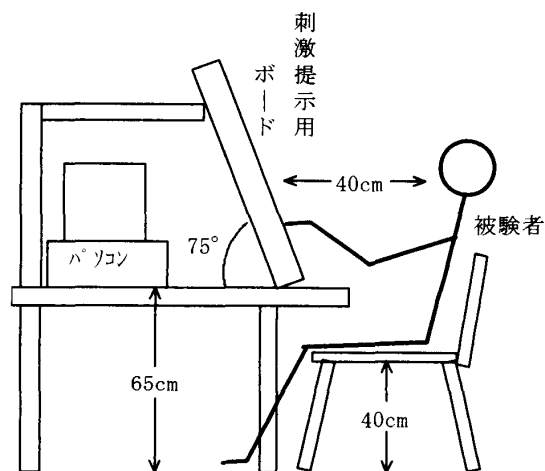


Fig. 1 計測システムの構成

Table 1 計測条件

条件	1 回 目	2 回 目
1	利き腕で押下 (点灯時の音有り)	利き腕で押下 (点灯時の音無し)
2	利き腕で押下 (点灯時の音無し)	利き腕で押下 (点灯時の音有り)
3	右腕で押下 (点灯時の音有り)	左腕で押下 (点灯時の音有り)
4	左腕で押下 (点灯時の音有り)	右腕で押下 (点灯時の音有り)
5	右腕で押下 (点灯時の音無し)	左腕で押下 (点灯時の音無し)
6	左腕で押下 (点灯時の音無し)	右腕で押下 (点灯時の音無し)

設置した。

2.3 計測手順

計測は、面積23㎡の研究室内の中央で実施した。以下に1回の計測手順を示す。

(準備) 計測内容を口頭で被験者に説明

以下、計測プログラムで制御

- 1) スイッチの点灯順序決定
- 2) 提示順序に従い、該当する押しボタンスイッチの発光ダイオードを点灯し、応答時間計測を開始
- 3) 被験者が当該スイッチを押下した時に1回の応答時間計測を終了
- 4) ランプ(スイッチ)数に相当する回数だけ3)～4)を繰り返す

被験者には、刺激が提示(ランプが点灯)されてからスイッチ押下までの時間を計測することを最初に説明した。また、最短時間を計測するものではないので、各自が普通と考えられる速さで押下することも併せて説明した。36個のランプの点灯順序は、プログラム内で乱数を発生させて決定した。応答時間の計測はランプ点灯と同時に開始した。計測の単位時間は、人間工学での応答時間の多くが数百 msec なので、その1/10以下の10 msec とした。ランプ点灯後は、各ランプのスイッチをプログラムにより監視して押下を検出し、押下したスイッチの番号が点灯したスイッチの番号に等しい場合に正しく押下したと判断し、それまでに発生した10 msec パルスの数を刺激反応時間のデータとした。

3. 計測および結果

以上の計測システムと計測条件を用いて、健常者の上肢運動機能計測を行った。被験者は、本学在籍の19才から23才(平均21.2才)の健常学生30名とした。事前の聞き取り調査により被験者の利き腕が全員とも右腕であることが判明したため、30名全員を無作為に5名ずつ6グループに分け、それぞれに対して条件1から条件6について計測を行った。条件1から条件6の計測結果を、それぞれ Table 2 から Table 7 に示す。最大時間(最小時間)は、刺激提示盤上の36個のスイッチの中で点灯に気付いてからスイッチを押下するまでの最大(最小)応答時間である。Fig. 2 は、Table 2 から Table 7 に示した各データの最大時間と最小時間を生じた回数を各スイッチ番号毎に累積したものである。また、Fig. 3 は、条件1の1回目(利き腕で聴覚刺激有り)の平均値を1として、他の条件での平均押下時間と信頼範囲(危険率5%)を正規化して示したものである。

4. 考 察

4.1 応答時間

視覚刺激、聴覚刺激、および皮膚電気刺激の中では、視覚刺激が最も応答時間が遅いことが知られている。また、刺激に対して選択判断して応答する場合には、刺激に対して予

Table 2 条件1の計測結果(利き腕, 1回目:音有り→2回目:音無し)

被験者No.	試行回数	最大時間(スイッチNo.) (msec)	最小時間(スイッチNo.) (msec)	平均時間 (msec)	標準偏差 (msec)
01	1	880(5)	450(35)	573	100
	2	1080(9)	450(27)	638	136
02	1	800(14)	390(35)	526	93
	2	750(19)	460(35)	560	67
03	1	830(22)	300(27)	460	140
	2	990(5)	370(33)	544	142
04	1	680(12)	290(27)	399	75
	2	1390(6)	350(33)	532	287
05	1	1130(5)	360(28)	561	213
	2	1730(6)	390(15)	582	257

Table 3 条件2の計測結果(利き腕, 1回目:音無し→2回目:音有り)

被験者No.	試行回数	最大時間(スイッチNo.) (msec)	最小時間(スイッチNo.) (msec)	平均時間 (msec)	標準偏差 (msec)
01	1	5790(1)	400(24)	784	882
	2	1030(2)	330(34)	514	130
02	1	1220(18)	320(28)	580	158
	2	760(33)	310(27)	522	119
03	1	990(2)	490(36)	635	117
	2	800(4)	350(34)	528	91
04	1	1530(7)	540(34)	796	246
	2	1600(1)	460(28)	699	250
05	1	5720(2)	440(34)	705	246
	2	870(34)	420(30)	516	251

Table 4 条件3の計測結果(点灯時音有り, 1回目:右腕→2回目:左腕)

被験者No.	試行回数	最大時間(スイッチNo.) (msec)	最小時間(スイッチNo.) (msec)	平均時間 (msec)	標準偏差 (msec)
01	1	1150(30)	420(33)	603	150
	2	1350(6)	400(26)	632	243
02	1	810(31)	350(33)	502	123
	2	1060(24)	400(20)	518	117
03	1	1820(6)	430(30)	700	280
	2	1080(4)	370(33)	591	164
04	1	1090(28)	460(29)	588	145
	2	920(23)	370(27)	539	120
05	1	1010(4)	340(21)	500	168
	2	1420(12)	330(32)	521	222

Table 5 条件4の計測結果（点灯時音有り，1回目：左腕→2回目：右腕）

被験者No.	試行回数	最大時間(スイッチNo.) (msec)	最小時間(スイッチNo.) (msec)	平均時間 (msec)	標準偏差 (msec)
01	1	1190(6)	340(21)	515	143
	2	1830(1)	370(29)	526	243
02	1	720(36)	370(27)	489	78
	2	810(1)	410(36)	488	87
03	1	780(5)	450(19)	565	73
	2	760(6)	410(33)	540	82
04	1	1590(1)	470(33)	621	217
	2	940(36)	400(22)	551	122
05	1	970(6)	460(33)	598	129
	2	970(31)	470(21)	582	122

Table 6 条件5の計測結果（点灯時音無し，1回目：右腕→2回目：左腕）

被験者No.	試行回数	最大時間(スイッチNo.) (msec)	最小時間(スイッチNo.) (msec)	平均時間 (msec)	標準偏差 (msec)
01	1	2040(36)	320(16)	573	292
	2	2820(25)	460(31)	716	427
02	1	1290(31)	410(33)	680	204
	2	850(2)	420(32)	624	109
03	1	1430(6)	360(34)	568	218
	2	1400(12)	360(31)	596	202
04	1	890(5)	320(34)	520	103
	2	1100(6)	400(25)	588	152
05	1	3170(36)	510(33)	924	521
	2	1550(6)	420(26)	661	204

Table 7 条件6の計測結果（点灯時音無し，1回目：左腕→2回目：右腕）

被験者No.	試行回数	最大時間(スイッチNo.) (msec)	最小時間(スイッチNo.) (msec)	平均時間 (msec)	標準偏差 (msec)
01	1	1420(6)	400(32)	581	203
	2	1520(7)	350(30)	568	231
02	1	2110(6)	340(26)	544	311
	2	1150(5)	380(33)	536	162
03	1	1960(1)	450(20)	648	288
	2	1120(7)	470(36)	582	134
04	1	990(18)	360(33)	519	134
	2	1090(6)	350(28)	507	135
05	1	1390(33)	400(19)	655	242
	2	2590(35)	400(30)	806	536

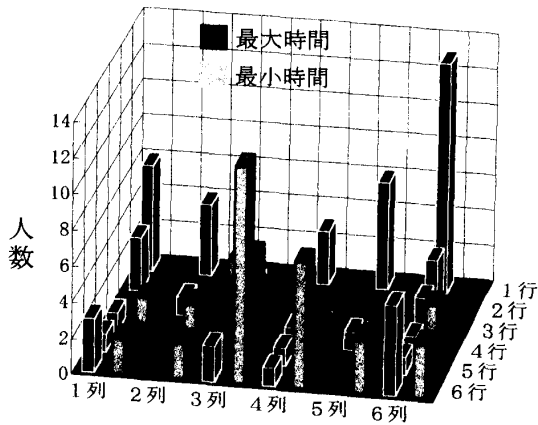


Fig. 2 最大押下時間と最小押下時間の分布

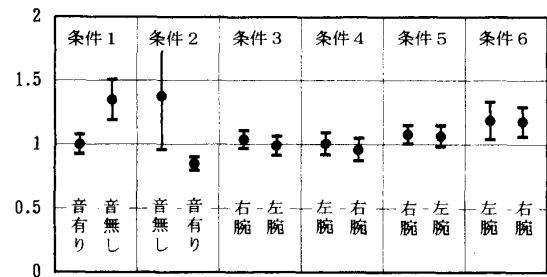


Fig. 3 押下時間の条件別比較

め決められた応答を行う単純応答時間よりも長いことが知られている。さらに、選択応答時間 RT は、一般に選択肢の数が多くなるほど長くなり両者の間には次式の関係が成立することが報告されている⁴⁾。

$$RT = a \log_2 n + b \quad (1)$$

実際には1ビット ($n=2$) で約350 msec, 3ビット ($n=8$) で700 msec 程度の応答時間が示されている。今回の実験では $n=36$ であるため、上記(1)式から得られる値は、1.2 msec から1.5 msec 程度と予測された。実験の結果は、各被験者の平均押下時間はいずれも1秒以下であったが、人間工学における光刺激の単純応答時間(約200 msec)を上回った。この理由としては、36個の発光ダイオードに対する選択的な応答は単純な光刺激に対する反応よりも時間を要するが、選択対象が 6×6 の方形盤面に限定されていることにより、選択時間の軽減があるものと考えられる。すなわち、選択対象を提示する条件を理解し易くすることで、選択時間を軽減できる可能性が示されたと考えられる。

4.2 スイッチの物理的位置の効果

視覚刺激提示盤を上段(1段から2段)・中段(3段から4段)・下段(5段から6段)に分けて考えると、最大押下時間が上段を中心として分布しているのに対して、最小押下時間は下段を中心として分布していた。これは視覚刺激提示盤を15°後方へ傾斜させた影響と考えられる。Fig. 2の分布をみると、最大押下時間の対象スイッチは最上段の両端を中心としているが、最小押下時間のスイッチは下段の中央部を中心として分布していた。両眼視により、近縁で両眼から等距離にある位置のスイッチを認識したためと考えられる。

4.3 計測条件間の差異

計測条件の違いでは、利き腕で押下した場合の聴覚刺激の有無について有意な差が認められた(危険率5%)。これは、走査による選択モードを有する福祉用具の操作においては、視覚刺激による選択対象の提示と同時に聴覚刺激も提示することで選択時間を短縮できることを示している。視覚刺激と聴覚刺激のいずれにおいても強化することで応答時間が短

縮されることは人間工学的に知られているが、両者を併用することで応答時間を短縮できることが示されたと言える。一方、選択対象における聴覚刺激の有無に関わらず利き腕/非利き腕について有意な差は認められなかった。これは、利き腕に障害を被った上肢障害者が非利き腕で機器操作を行っても、利き腕と同じ程度の操作性を獲得する可能性を示すものと考えられる。

5. 結 言

本研究では、発光ダイオードを内蔵した押しボタンスイッチを使用した視覚刺激提示装置を作成し、健常者を対象として発光ダイオード点灯による視覚刺激提示から当該スイッチ押下までの応答時間を計測した。この結果、以下の結論が得られた。

- 1) 視覚刺激と同時に聴覚刺激を与えることで応答時間が有意に短くなる。
- 2) 視覚刺激提示時における聴覚刺激提示の有無に関わらず、利き腕と非利き腕の違いによる応答時間の有意な差は見られない。
- 3) スイッチが被験者近傍の中央部に配置されている場合に、応答時間が短くなる傾向が見られた。

謝 辞

本研究においてデータ収集に協力いただいた横山誠、福居利章の両氏に謝意を表す。

参考文献

- 1) 福意武史, 他: 半側視空間失認患者の視覚探索課題における作業遂行能力—第1報—, 作業療法10(特), 1991
- 2) 福意武史, 他: 半側視空間失認患者の視覚探索課題における作業遂行能力—第2報—, 作業療法11(特), 195, 1992
- 3) 福意武史, 他: 半側無視評価・訓練器の試作, 第9回リハ工学カンファレンス講演論文集, 117, 1994
- 4) 佐藤方彦監修: 人間工学規準数値数式便覧, 技報堂出版(株), 437, 1992

Evaluation on the Physical Capability of Upper Extremities

Shin OZAWA and Hidehisa OKU*

Graduate School of Engineering,

**Department of Information and Computer Engineering,*

Faculty of Engineering,

Okayama University of Science,

Ridai-cho 1-1, Okayama 700, Japan

(Received September 30, 1995)

Evaluation of upper extremities' physical capability for a physically disabled person is essential to select the most suitable technical aid for him or her. In the field of medical rehabilitation, ADL (Activities of Daily Living) test has been used as the standard evaluation method for the physically disabled. However, this can reveal only the physical capability in the daily activities which wouldn't include the use and the operation of technical aids. The purpose of this research program is to find an objective method for evaluating physical capabilities of upper extremities for the physically disabled who needs technical aids.

As the first step of the research program, reaction time for visual stimulus has been measured by using thirty non-disabled students as clients. A testing board with thirty six switches, each of them has a LED, has been used to give visual stimulus. The time between the activation of a LED and putting off the LED by each student's operation has been measured as the reaction time. Result of this indicates following items.

- (1) Auditory feedback is significantly effective to reduce reaction time for the visual stimulus.
- (2) No significant differences were observed in reaction time between the operation by right hand and the operation by left hand.
- (3) The activation of the upper left switch and upper right switch took more time than it of other switches. On the other hand, activation of switches in lower middle area on the board took less time than those on other areas.