

## 神経筋疾患患者を対象とした眼球運動入力デバイスの開発と評価

宮坂智哉 <sup>[1]</sup>	植草学園大学保健医療学部
渡邊智之 <sup>[2]</sup>	井上病院（札幌市）
堀田麻実子 <sup>[3]</sup>	井上病院（札幌市）
木戸聡史 <sup>[4]</sup>	埼玉県立大学理学療法学科
山中悠紀 <sup>[5]</sup>	広島大学大学院保健医療学研究科
田中敏明 <sup>[6]</sup>	東京大学先端科学技術研究センター

### The Development and Evaluation of an Eye-operated Communication Device for Patients with Neuromuscular Diseases

Tomoya MIYASAKA	Faculty of Health Sciences, Uekusa Gakuen University
Tomoyuki WATANABE	Inoue Hospital (Sapporo)
Mamiko HOTTA	Inoue Hospital (Sapporo)
Satoshi KIDO	Department of Physical Therapy, Saitama Prefectural University
Yuki YAMANAKA	Graduate School of Health Sciences, Hiroshima University
Toshiaki TANAKA	Research Center for Advanced Science and Technology, University of Tokyo

神経筋疾患患者の意思伝達を支援する入力デバイスは、介護者によって設置されることが多い。入力デバイスの設置に時間がかかると介護負担は増加する。本研究では、介護者が容易に設置できる眼球運動入力デバイスを開発した。開発した眼球運動入力デバイス（新型機）は、眼球運動の検出に2つのモーションセンサを用い、アナログジョイスティックでそれらの検出位置を可変する構成とした。一方研究者が以前に開発した眼球運動入力デバイス（従来型機）は、眼球運動の検出に画面上に固定した2つの光センサを用いたことで、検出位置は固定した構成だった。18名の健常成人を被験者とし、新型機と従来型機の設置時間を測定

- 
- [1] 著者連絡先：宮坂智哉  
 [2] 渡邊智之  
 [3] 堀田麻実子  
 [4] 木戸聡史  
 [5] 山中悠紀  
 [6] 田中敏明

した。設置時間は新型機が  $55.8 \pm 27.2$  秒、従来型機は  $81.9 \pm 58.7$  秒で、新型機は従来型機よりも設置時間を 26 秒短縮した。このことから、新型機の眼球運動入力デバイスは従来型機よりも介護者の負担を軽減する可能性が得られた。

**キーワード**：神経筋疾患，眼球運動，入力デバイス，介護負担

Input devices for patients with neuromuscular diseases are generally set up by their caregivers. Prolonged set up time of the devices often increase their caregiver burden. We have succeeded in developing an eye-operated communication device (new device) which can be simply installed. The new device detected eye movements by two motion sensors on the control unit whose positions could be moved by an analog joystick. In contrast, the conventional device that we had developed, detected eye movements by two photo sensors that were fixed in place on the unit. The function and the installation times of each model were compared by 18 able-body subjects. It took  $55.8 \pm 27.2$ s (new) and  $81.9 \pm 58.7$ s (conventional) to set up each device. The installation time of the new device was reduced by 26sec compared to that of the conventional one. The new device with variable detection positions shortened the installation time. The shortened installation time of the device will directly reduce the burden on care givers.

**Keywords** : neuromuscular disease, eye movement, input device, care burden

## 1. 目的

本研究は、眼球運動入力デバイスを設置する介護者の介護負担を軽減するために、眼球運動入力デバイスの設置時間を短縮する方法を検討した。具体的には、検出位置を容易に調整できる眼球運動入力デバイス（新型機）（図 1 中央，右）を開発し、その設置時間を以前に開発した入力デバイス（従来型機）（図 1 左，右）と比較した。

## 2. 背景

### 2.1 研究の背景

日本神経学会が示す ALS (Amyotrophic Lateral

Sclerosis；筋萎縮性側索硬化症)治療ガイドライン<sup>1)</sup>では、診断後早期からパソコンの使用などの意思伝達支援を推奨している。しかし、疾患の進行にともない入力手段を頻繁に切り替える必要があることや、次第に入力手段が限られ、その操作や設置方法が複雑になるなど、意思伝達支援はしばしば困難になる。

ALS の場合、随意性の眼球運動は疾患が進行しても長期間維持される場合が多い<sup>2)</sup>ことから、眼球運動を入力手段にすれば、長期間意思伝達を維持することが期待できる。しかし、眼球運動や視線を利用した意思伝達支援装置がすでに開発<sup>3)</sup>され、市販されているにもかかわらず、実用的な装置は少ない。理由として瞼の随意性が低下すると眼球運動の検出が困難になる、枕の位置ずれや体位交換などの肢位

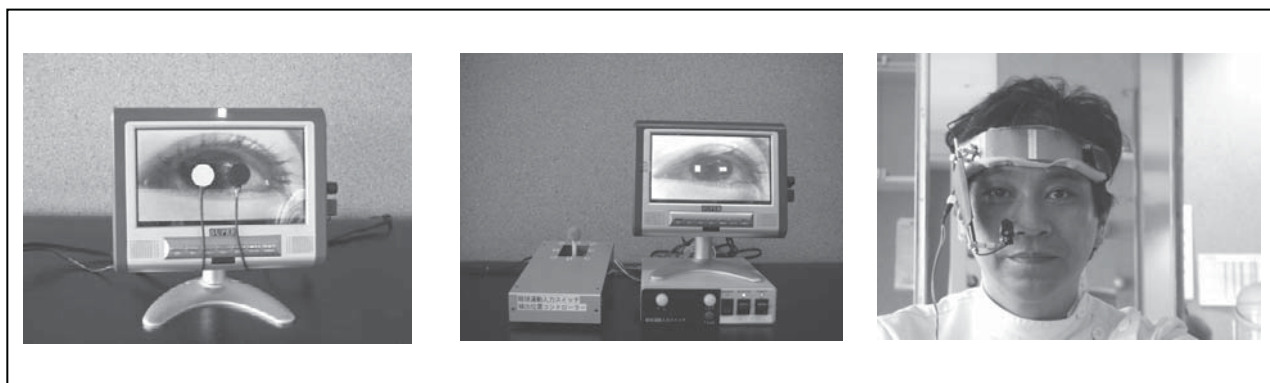


図 1 眼球運動入力デバイス

左；従来型機 装置本体 中央；新型機 装置本体 右；ヘッドユニット（共通）

変化に対応せず頻繁に検出位置のキャリブレーションが必要なことなどが挙げられる。その他に高価である、操作が難しい、大型で居室や病室に容易に導入できないなどが挙げられる。さらに、ほとんどの場合介護者が装置を設置する<sup>4)</sup>ので、介護者の取り扱いが容易でないと実用的に使用することは難しい。

## 2.2 眼球運動入力デバイスの開発

研究者は、ALS 者などの神経筋疾患患者を対象に、実用性を阻害する問題点を改善した眼球運動入力デバイス(従来型機)を開発した<sup>5)</sup>。引き続き臨床評価を実施し、在宅療養をする ALS 者が、従来型機をパソコンの入力スイッチと呼び鈴として2年8ヶ月間日常的に使用した<sup>6)</sup>。

## 2.3 眼球運動入力デバイスの問題点

臨床評価において、介護者から従来型機の設置に時間がかかり、介護負担が増加すると指摘された。介護者は、使用者の起床時からの30分間で介護作業を実施し、その時間の中で従来型機を設置していたが、設置に時間がかかると介護作業が時間内に終了できなかった。従来型機の設置時間を確認したところ、研究者が30-40秒に対して、10代の家族介護者は約1分、70代の家族介護者は約10分だった。

設置時間が長くかかった原因は、従来型機の設置項目の1つである、眼球運動の検出位置の調整だった。その方法は、使用者に設置したヘッドユニットのビデオカメラを、直接指でつまんで動かしていたが、それでは検出位置の微調整が困難だった。

以上のことから、本研究では眼球運動の検出位置を容易に設定できる新型機を開発し、従来型機よりも設置時間を短縮し、介護者の介護負担の軽減に寄与できるかを検討した。

## 3. 眼球運動入力デバイスの製作

新型機は、頭部にヘッドユニットを設置し、眼球を一定方向に運動すると、パーソナルコンピュータや呼び鈴などの機器にON/OFF接点信号を出力するものとした。眼球運動の検出にはビデオカメラで撮影した動画像を用い、その明部(強膜像)、暗部(虹

彩像)の明るさをモーションセンサ<sup>7)</sup>で検出した。装置には、検出位置を手元で変更できるアナログジョイスティックを設けた。

### 3.1 装置構成

新型機の装置構成はヘッドユニットと装置本体とした。ヘッドユニットには重量10gのモノクロビデオカメラを導入し、総重量は85gとした。ビデオカメラは、眼球の斜め下方から撮影する位置に配置した。装置本体は7インチ液晶モニターと、眼球運動の検出及び制御、出力回路を収納した筐体、検出位置を変更するアナログジョイスティックとした。

### 3.2 眼球運動の検出方法

新型機は、眼球運動の検出に検出用、補償用の2つのモーションセンサ(Daiwa MD-101)の差動出力を用いた。具体的には、眼球運動動画像の明部(強膜

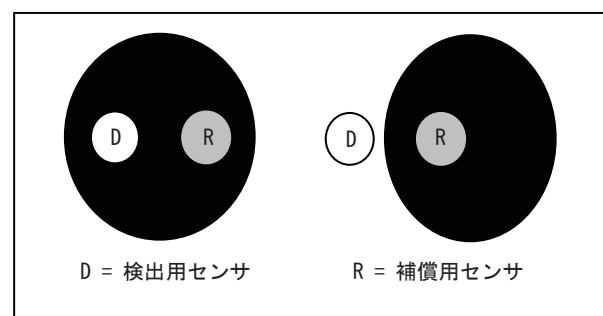


図2 眼球運動検出

左 出力OFF 右 出力ON

像)と暗部(虹彩像)において、検出用センサが補償用センサよりも明部を捉えたときに信号を出力した(図2)。また、眼球運動検出位置をアナログジョイスティックの操作で可変にした(図3)。一方従来型

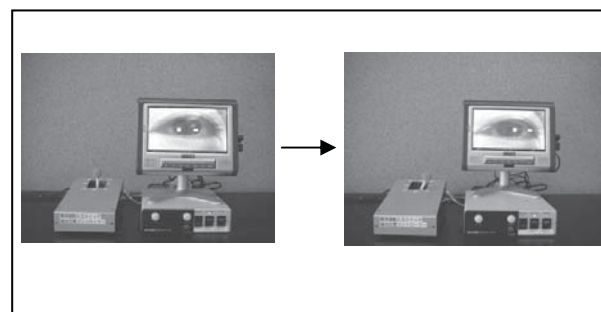


図3 アナログジョイスティックと検出位置

は、モニタ画面上に固定した2つの光センサを用いたことで、眼球運動の検出位置は固定とした。

### 3.3 装置の設置方法

装置は介護者が設置し、以下の手順とした(図 4)。

#### 3.3.1 新型機の設置方法

1. 介護者はヘッドバンドを使用者の頭部に設置する(Phase1)。
2. 介護者は使用者の前額面の中心を基準にヘッドバンドの位置を合わせる(Phase2)。
3. 介護者は装置本体のモニタに使用者の虹彩が映るようにカメラ位置を調整する(Phase3)。
4. 介護者はアナログジョイスティックを操作して、検出用センサの位置が使用者の虹彩像の中心にくるように検出位置を微調整する(Phase4)。

#### 3.3.2 従来型機の設置方法

1. 新型機の(Phase1)と同じ。
2. 新型機の(Phase2)と同じ。
3. 介護者は装置本体のモニタに使用者の虹彩が映るようにカメラ位置を調整し、使用者の虹彩像の中心が検出用センサの位置にくるように指先でカメラを動かし、検出位置を微調整する(Phase3)。

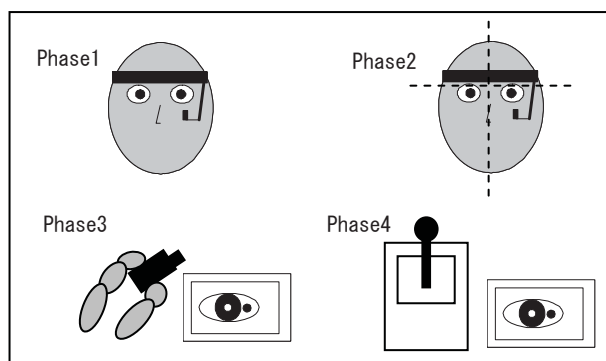


図4 装置の設置方法

### 3.4 装置の機能・操作方法

装置の機能・操作方法是新型機、従来型機ともに共通とし、以下に示した(図 5)。

1. 眼球を中立位から予め任意に設定した範囲に動かし、その後一定時間保持する。
2. 保持時間 0.2 秒後に青色 LED が点灯して、パーソナルコンピュータや意思伝達支援装置に接点信号を出力する。
3. 1.2 秒以上保持すると赤色 LED が点灯して「ピン」音を出力し、呼び鈴に接点信号を出力する。

4. 眼球を中立位に戻すと、「ボン」音を出力し、全ての接点出力が OFF となる。

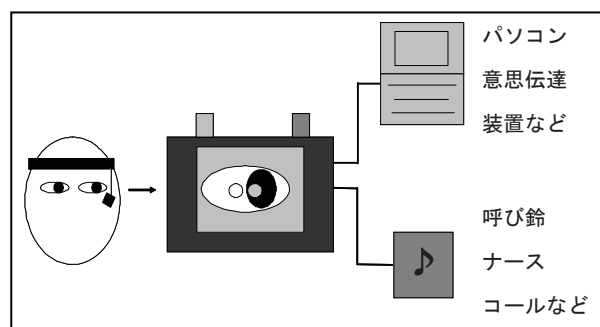


図5 装置の機能・操作方法

## 4. 眼球運動入力デバイスの評価

### 4.1 対象

被験者は健常成人 18 名とし、その内訳は男性 10 名、女性 8 名とし、年齢構成は 20 代 8 名、30 代 6 名、40 代 1 名、50 代 3 名とした。

### 4.2 評価方法

被験者は介護者を想定し、いす座位の装置使用者に眼球運動入力デバイスの新型機及び従来型機を設置し、研究者はその設置時間を評価した。設置時間の評価は、JIS Z8521<sup>8)</sup>に基づき、1. 試技の記録、2. 解析用動画ファイルの作成、3. 設置時間の測定・データ処理、4. データの統計処理と解析を実施した。設置時間の評価とは別に、試技終了後に設置状況についての自由記載アンケートを実施した。

#### 4.2.1 試技の記録

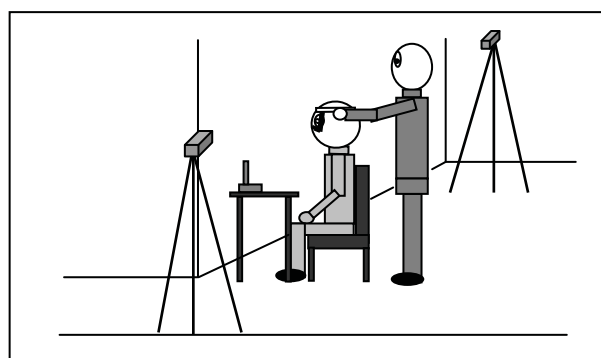


図6 試技の記録方法

設置状況及び時間を 2 方向から 2 台のビデオカメ

ラ (Victor GZ-MG155, Victor GZ-HD3) で記録した (図 6)。設置時間は、被験者がヘッドユニットに触れたときから、ヘッドユニットを使用者に設置し、検出位置の調整が完了した時点までとした。検出位置の調整は、使用者の眼球中立位で検出用センサの検出面が虹彩中心にあり、3.4 に示した操作を実施し、使用者が3回操作して3回とも動作したときを完了とした。試技は新型機、従来型機を各1回実施し、作業の慣れを考慮して最初に評価する装置を無作為に選定した。

#### 4.2.2 解析用動画ファイルの作成

記録した2つの動画ファイルをパーソナルコンピュータ (DELL XPS M1210) に転送した。2つの動画ファイルを動画編集ソフト (カノープス EDIUS Neo) で同期合成し、タイムスタンプを挿入して1つのWMV形式動画ファイルとし、それを解析用動画ファイルとした (図7)。



図7 解析用動画ファイル

解析用動画ファイルをパーソナルコンピュータで再生し、被験者の設置時間を記録した。設置は3.3.1及び3.3.2に示した4つの作業Phase (ヘッドバンド設置 (Phase1)、ヘッドバンド位置調整 (Phase2)、カメラ位置調整 (Phase3)、アナログジョイスティックによる検出位置調整 (Phase4) (新型機のみ)) と、作業の切り替えや、作業が止まっている時間をBlankとした。Blankを含めた5つの作業Phaseを研究者が判定し、経過時間を表計算ソフトに入力した。

次に各Phaseの所要時間を集計し「総設置時間 (s)」とその下位項目となる「ヘッドバンド設置・調整時間 (Phase1+2) (s)」, 「検出位置調整時間 (Phase3+4) (s)」, 「作業切り替え, 停止時間 (Blank) (s)」の3項目を集計し、解析データとした。

#### 4.2.4 統計解析

被験者18名による36個の解析データを「従来型機 vs 新型機」の2グループに分けた。次にそれらの総設置時間 (s), (Phase1+2) (s), (Phase3+4) (s), (Blank) (s) の4項目について、繰り返しのあるt検定を用いて推測統計を実施した。いずれも危険率5%未満 ( $P < 0.05$ ) を有意差ありとした。

従来型機と新型機の設置は、ヘッドユニットの設置からカメラの位置合わせをする作業まで共通なので、作業の慣れによる影響を確認するために、「試技順番先 vs 後」のグループを作成し、上と同じ解析を実施した。

#### 4.2.3 設置時間の計測・処理

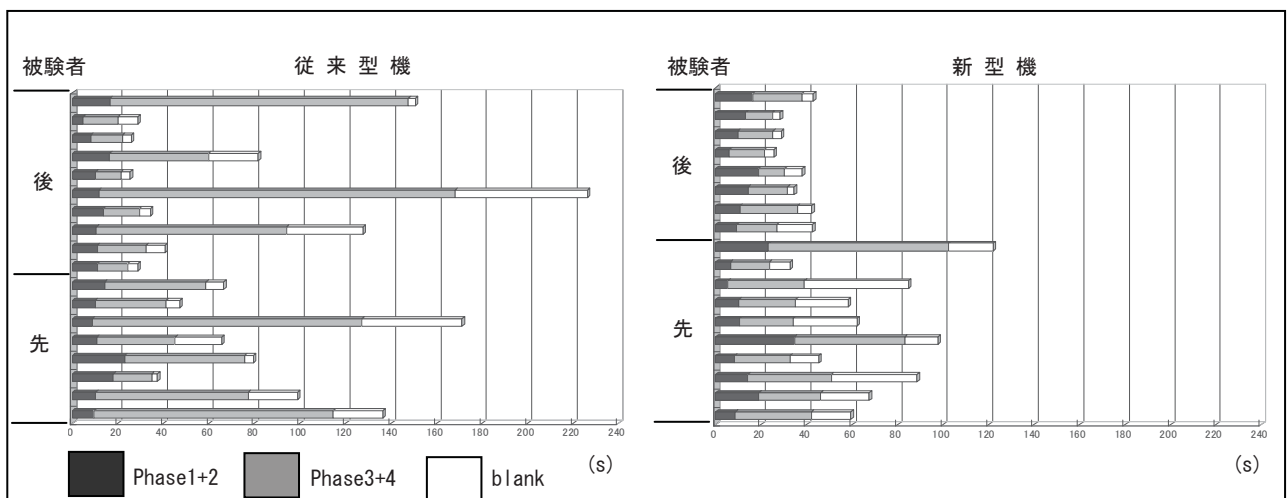


図8 設置時間集計グラフ



## 5. 評価結果

### 5.1 設置時間評価の結果

被験者 18 名による装置の設置時間である、(Phase1+2) (s)、(Phase3+4) (s)、(Blank) (s) の集計結果をグラフ (図 8) に示した。また推測統計の結果を (表 1) に示した。「従来型機 vs 新型機」における総設置時間 (s) は、従来型機は  $81.9 \pm 58.7$  (s) に対して新型機は  $55.8 \pm 27.2$  (s) で、新型機により総設置時間は 26 秒短縮した (平均値比較、有意差なし)。設置作業の各項目のうち、(Phase3+4) (s) は、従来型機が  $54.2 \pm 45.9$  (s) に対して、新型機は  $26.9 \pm 16.1$  (s) で、検出位置の調整時間は新型機により 27 秒短縮した (平均値比較、有意差あり)。他の項目は有意差がなかった。「試技順番先 vs 後」の総設置時間 (s)、および各作業の項目は、全て後の試技の時間が短かったが、有意差はなかった。

表 1 設置時間推測統計結果

(s)	従来型機	新型機	先	後
総設置時間	$81.9 \pm 58.7$ N.S.	$55.8 \pm 27.2$	$79.1 \pm 36.1$ N.S.	$57.5 \pm 55.6$ N.S.
Phase1+2	$12.2 \pm 4.2$ N.S.	$13.4 \pm 7.3$	$13.7 \pm 7.4$ N.S.	$11.9 \pm 3.7$ N.S.
Phase3+4	<b><math>54.2 \pm 45.9</math></b> <b>P&lt;0.05</b>	<b><math>26.9 \pm 16.1</math></b>	$45.5 \pm 29.2$ N.S.	$35.6 \pm 43.1$ N.S.
blank	$15.5 \pm 15.9$ N.S.	$15.5 \pm 12.3$	$19.9 \pm 12.8$ N.S.	$11.1 \pm 14.2$ N.S.

### 5.2 アンケート自由記載の結果

新型機では「おおまかにカメラ位置をつまんで調整し、最後の微調整でジョイスティックを使うので使いやすい」、「カメラを持つ手元を見ずに調整できるのでよい」、「顔の近くで調整をしなくて済むのでよい」などの意見があり、検出位置の微調整をジョイスティックで操作することに好意的な意見が多かった。一方従来型機では「カメラを固定するワイヤーが固く、自分の思った位置にカメラが止まらない」「画面の動きが左右反対で調整にとまどう」などの意見があった。

## 6. 考察

### 6.1 眼球運動入力デバイスの製作

#### 6.1.1 装置構成

開発した装置は、従来型機と同じヘッドユニットを採用した。これは使用者の肢位が変化しても、常に同じ位置から眼球運動を撮影するため、使用中の検出位置の微調整をなくした。また眼球の斜め下方にカメラを配置することで、視界をさえぎらず、かつ少ない瞼の開度で眼球の撮影を可能にした。一方、設置による負担を軽減するため、ヘッドユニットを軽量化し、前頭部の接触面には蒸れにくい素材を使用して対応した。装置本体は小型化し、ベッドサイドに容易に置ける大きさとした。

#### 6.1.2 眼球運動の検出方法

ヘッドユニットの採用で眼球の撮影範囲を一定にしたことで、単純な差動型検出で眼球運動の検出を可能にした。差動型検出を用いたことで、周囲の明るさが変化しても安定した動作を可能にした。

従来型機の検出部は、液晶モニタ上に光センサを固定したため検出位置を変更できなかった。新型機の検出部は、検出位置を任意に変更できるモーションセンサを採用した。これによりカメラに触れずに検出位置の微調整を可能にした。

#### 6.1.3 装置の設置方法

従来型機はカメラを直接指で動かして検出位置の微調整をしたが、新型機はモニタ画面に眼球像が映るまでカメラを動かし、その後はアナログジョイスティックの操作で検出位置の微調整を可能にした。

#### 6.1.4 装置の機能・操作方法

新型機、従来型機ともに共通の機能、操作方法とした。操作習得を容易にし、疾患が進行しても同じ操作を継続できるように、可能な限り単純化した。

### 6.2 眼球運動入力デバイスの評価

推測統計の結果 (表 1) から、新型機は従来型機よりも眼球運動の検出位置調整時間が有意に短縮した。また総設置時間の平均短縮時間は約 26 (s) で、検出位置調整時間の平均短縮時間約 27 (s) と概ね一致した。

検出位置の調整時間に有意な差が出た理由は、新型機はアナログジョイスティックの操作で検出位置を微調整し、従来型機で実施していたカメラを指で

直接動かす微調整の作業をなくしたことによると考えられる。アンケートの自由記載から、ビデオカメラの固定と位置変更を兼ねるフレキシブルワイヤーの弾性が強く、思った位置にカメラを合わせることができないこと、またカメラの撮影方向から、動画像の左右方向が反転して見え、位置合わせに戸惑ったことが示されており、それらが検出位置の微調整に時間がかかった要因と考えられる。

一方「試技順番先 vs 後」グループは、全ての項目で有意差はなかったことから、試技の順序が設置時間に与えた影響は小さいと考えた。

### 6.3 考察のまとめ

本研究で開発した眼球運動入力デバイスは、アナログジョイスティックを操作して検出位置の微調整をしたことで、従来型機よりも検出位置の調整時間を有意に短縮し、総設置時間を短縮した。このことから、新型機は従来型機よりも介護者の介護時間を短縮し、介護負担を軽減する可能性が得られた。

本研究ではいす座位の健常者が使用者となり評価を行ったが、実際の使用者は頭頸部の保持が困難で、常に頭部がヘッドレストや枕に接触していることが多い。また、介護者は評価を実施した被験者よりも高齢で機械の扱いに不慣れな方が多い。今後は臨床評価を実施し、介護者にとっても扱いやすい、より実用的な入力デバイスの開発を進める。

## 7. 倫理的配慮

本研究を実施するにあたり、被験者を募る際には事前に研究協力同意書及び説明書を作成し、1. 本研究の目的と方法、2. 予期される危険性、3. 同意しない場合も不利益を受けないこと、4. 同意をいつでも撤回できること、5. その他プライバシーの保護など協力者の人権に係る事を順守することについて書面と口頭で説明を実施し、同意を得た方を被験者とした。実験データは個人が特定できない構成とし、取得したデータは外部に持ち出さずに厳密に管理した。

## 8. 謝辞

本研究の一部は平成 19 年度科学研究費補助金（奨励研究）研究課題名 神経筋疾患患者の意思伝達を支援する実用的な眼球運動入力スイッチの開発 課題番号 19921020 によって実施された。

## 9. 文献

- 1) ALS 治療ガイドライン作成小委員会. 日本神経学会治療ガイドライン ALS 治療ガイドライン. 2002 ; 1
- 2) Palmowski A, Jost WH, Prudlo J, Osterhage J, Käsmann B, Schimrigk K, Ruprecht KW. Eye movement in amyotrophic lateral sclerosis : a longitudinal study. Ger. J. Ophthalmol. 1995 ; 4(6) : 355-62
- 3) Borghetti D, Bruni A, Fabbrini M, Murri L, Sartucci F. A low-cost interface for control of computer functions by means of eye movements. Comput Biol Med. 2007 ; 37(12) : 1765-70
- 4) 丸田恭子, 福永秀敏. 筋萎縮性側索硬化症患者の在宅療養における機器の工夫. Journal of CLINICAL REHABILITATION. 2007 ; 16(2) : 202-205
- 5) 宮坂智哉. 札幌医科大学大学院保健医療学研究科博士課程後期研究要旨. 札幌医科大学保健医療学部紀要. 2006 ; 9 : 73
- 6) 宮坂智哉, 東海林正敬, 田中敏明. ALS 者を対象にした実用的な眼球運動入力デバイスの開発と在宅試用評価. ヒューマンインタフェースシンポジウム 2008 抄録集. 2008 ; 対話発表 1518 : 433-436
- 7) 石原一, 深山正幸, 村地勇一郎, 川口博, 吉本雅彦, 松田吉雄. VGA30fps 実時間動画像認識応用オプティカルフロープロセッサコア. 電子情報通信学会集積回路研究会. 2007 ; 65-70
- 8) 日本工業規格. JIS Z8521. 人間工学－視覚表示装置を用いるオフィス作業－使用性についての手引き. 1999 ; 11-13