

## 瞬目高速解析装置を用いた自発性瞬目の測定

中村 芳子<sup>1)</sup>, 松田 淳平<sup>2)3)</sup>, 鈴木 一隆<sup>4)</sup>, 豊田 晴義<sup>4)</sup>  
袴田 直俊<sup>4)</sup>, 嶋元 孝純<sup>3)</sup>, 木下 茂<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>NTT 関西健康管理センタ, <sup>2)</sup>国立長寿医療センター眼科

<sup>3)</sup>京都府立医科大学大学院視覚機能再生外科学, <sup>4)</sup>浜松ホトニクス株式会社

## 要 約

**目 的**：簡便かつ詳細に自発性瞬目を観察記述することを目的として、Intelligent vision system (IVS カメラ)を用いた瞬目高速解析装置を開発し、その有用性を検討した。

**方 法**：11 名の成人男性を対象とし、前方視での前眼部を 30 秒間、2 回連続撮影した。上眼瞼の位置と移動速度を 1 msec ごとに測定し、検査中に出現した自発性瞬目について、持続時間と最大速度を求めた。

**結 果**：観察された閉瞼完全型瞬目 (39 回) と不全型瞬目 (70 回) について持続時間の平均を求めると、いずれも下降時は約 100 msec、上昇時は約 220 msec、瞬目時間は約 320 msec であった。また、最大速度は下降時

に出現し、その平均は完全型で約 180 mm/sec、不全型で約 120 mm/sec となり、両者ともに下降時最大速度は上昇時の約 3 倍であった。最大速度は深い瞬目ほど大きく、上眼瞼下降距離と最大下降速度および最大上昇速度との間に有意の相関がみられた ( $r=0.85$  および  $r=0.73$ ,  $p<0.0001$ )。

**結 論**：本装置での測定は簡便であるが、瞬目に関する多くの情報を得ることができ有用と判断された。(日眼会誌 112 : 1059—1067, 2008)

**キーワード**：瞬目高速解析装置、自発性瞬目、瞬目時間、最大瞬目下降速度、最大瞬目上昇速度

## Measurement of Spontaneous Blinks with a High-speed Blink Analyzing System

Yoshiko Nakamura<sup>1)</sup>, Jumpei Matsuda<sup>2)3)</sup>, Kazutaka Suzuki<sup>4)</sup>, Haruyoshi Toyoda<sup>4)</sup>  
Naotoshi Hakamata<sup>4)</sup>, Takasumi Shimamoto<sup>3)</sup> and Shigeru Kinoshita<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>NTT Kansai Health Administration Center

<sup>2)</sup>Department of Ophthalmology, National Center for Geriatrics and Gerontology

<sup>3)</sup>Department of Ophthalmology, Kyoto Prefectural University Graduate school of Medicine

<sup>4)</sup>Hamamatsu Photonics K. K.

## Abstract

**Purpose** : In order to analyze spontaneous blink kinematics easily and circumstantially, we developed a new method using an intelligent vision system (IVS) camera with a 1 KHz sampling rate, and evaluated the efficacy of this system.

**Method** : Eleven healthy male volunteers were examined after obtaining informed consent. Eyelid movements in the primary eye position were recorded with an IVS camera twice, for 30 seconds each. Data of upper lid position and lid movement were plotted every 1 msec by image processing of the recorded images. Thereafter blink duration and maximum blink velocity in every spontaneous blink were calculated.

**Results** : Thirty-nine instances of complete lid-

closure type and seventy of incomplete lid-closure type of spontaneous blinks were observed. The average duration of the down-phase, the up-phase, and the total blink were the same for both types ; about 100 msec., 220 msec., and 320 msec. respectively. The average down-phase maximum velocity was about 180 mm/sec. in complete lid-closures and 120 mm/sec. in incomplete lid-closures. The average up-phase maximum velocity was about 60 mm/sec. in complete lid-closures and 45 mm/sec. in incomplete lid-closures. Blink amplitude and the maximum velocity achieved during lid closing and opening were strongly correlated and exhibited a linear relationship ( $r=0.85$ ,  $r=0.73$   $p<0.0001$ ).

**Conclusion** : This new, non-invasive system is an

別刷請求先 : 543-0042 大阪市天王寺区烏ヶ辻 2-6-40 NTT 関西健康管理センタ 中村 芳子  
(平成 20 年 3 月 10 日受付, 平成 20 年 6 月 10 日改訂受理) E-mail : yoshina@mhc.west.ntt.co.jp

Reprint requests to : Yoshiko Nakamura, M.D. NTT Kansai Health Administration Center, 2-6-40, Karasugatuj, Tennnouji-ku, Osaka 543-0042, Japan

(Received March 10, 2008 and accepted in revised form June 10, 2008)

easy to use measuring method for blink kinematics and is highly reliable and very useful.

Nippon Ganka Gakkai Zasshi (J Jpn Ophthalmol Soc 112 : 1059—1067, 2008)

Key words : High-speed blink analyzing system, Spontaneous blinks, Blink duration, Maximum blink velocity of the down-phase, Maximum blink velocity of the up-phase

## I 緒 言

ヒトの瞬きには反射性瞬目、随意性瞬目、自発性瞬目の3つがあるが、最も多いのが自発性瞬目である。この瞬目は覚醒時に不随意的に起こるもので周期性瞬目とも呼ばれ、角膜表面の湿潤化により、明るい視野と良好な実用視力をうることを目的とする。近年、自発性瞬目が視覚情報処理や認知過程さらには被検者の心理状態と深いかわりを持つことが明らかになってきた。何かに注意を向けて集中しているときには自発性瞬目は抑制される<sup>1)2)</sup>。視作業によっても抑制が認められ、読書や visual display terminal (VDT) 作業時には瞬目回数が前方視の場合の半分以下になるといわれる<sup>3)4)</sup>。逆に、不安や退屈した気分、眠気は瞬目の頻度を増加させ<sup>1)2)</sup>、瞬目回数が眠気の指標として有用であるとの報告もみられる<sup>5)</sup>。また、瞬目による閉瞼時間の変化と眠気に相関があるとの報告もみられ<sup>6)</sup>、閉瞼時間の測定はドライバーの意識低下検知の有効な方法として注目されている<sup>7)</sup>。瞬目速度に関しても、その遅延が疲労の指標になると示唆され、e-ラーニング時の疲労検出に応用する試みがなされている<sup>8)</sup>。これらのことから、自発性瞬目検査の臨床応用が期待される場所であるが、実用化には簡便かつ詳細に瞬目現象を観察記述できる装置が必要となる。今回我々は、サンプリングタイム 1 msec で 30 秒間の

連続測定が可能な高速カメラを用いて前眼部を撮影する装置(瞬目高速解析装置)を開発し、オフィスワーカーの自発性瞬目を測定した。この結果から自発性瞬目の特性を調べるとともに、本装置の有用性を検討したので報告する。

## II 装置の概要と測定方法

### 1. 装置概要

本装置は、Intelligent vision system (IVS カメラ) と照明用 LED、結像レンズ、視標(被検者注視点)から構成され、3軸移動ステージを用いて被検者と計測光学系との位置の調整を行う。被検者の顔位置は顎台で固定するように設計されている。照明用 LED には、ピーク波長 880 nm の近赤外 LED (浜松ホトニクス製 L2791-02) をアイセーフ強度にて用い、被写体は 4.5 : 1 の縮小結像系にて IVS カメラで撮影される(図 1, 2)。IVS カメラは、画像の取得から画像処理、信号出力までを 1 msec 単位で行う、高速画像処理機能付の小型カメラシステムである。IVS カメラの受光部はピッチ 20  $\mu\text{m}$ 、10 mm 角のセンサであり、512  $\times$  512 画素の情報量を 10 bit の階調で取得可能である。今回の計測では、232  $\times$  232 画素を 8 bit で部分読み出しすることにより、1 KHz のフレームレートでの 30 秒間計測を実現している。視標として、緑色のチップ LED (スタンレー電気製 BG 1102



図 1 瞬目高速解析装置全景。

計測ユニット内の IVS カメラにて 1 msec ごとに画像を取得する。画像データは解析用パソコンに入力され、上眼瞼位置と上眼瞼移動速度が算出される。算出した数値を一覧表に加工し、エクセルで読めるファイルに変換保存する。

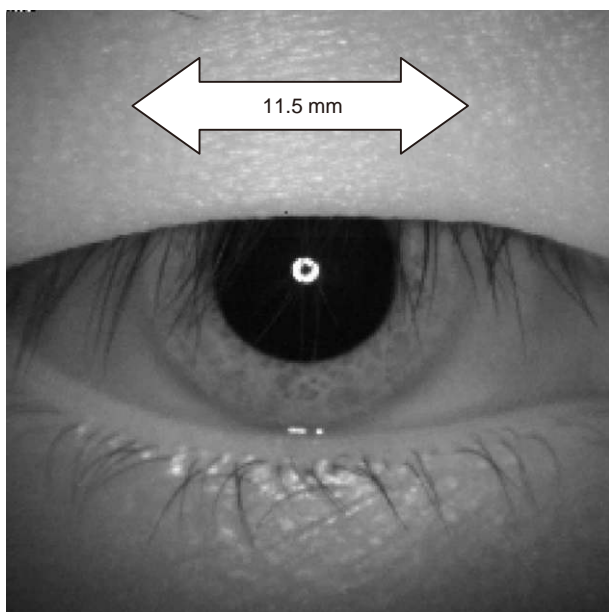


図 2 画像例。

撮影された眼領域から上眼瞼を検出する。中央 11.5 mm 領域の上眼瞼位置平均値が、そのときのの上眼瞼位置として出力される。

表 1 型別瞬目出現回数

	人数	閉瞼完全型	閉瞼不全型	閉瞼変則型	計
20代	6	22	55	7	84
30代	1	5	4	0	9
40代	2	5	7	0	12
50代	2	7	4	5	16
計	11	39	70	12	121

瞬目回数は 2 回分の測定中(計 60 秒間)にみられた瞬目の回数。20代は 6 名分の合計、40代と 50代は 2 名分の合計。

閉瞼完全型：上眼瞼が下眼瞼縁に達したのち上昇を開始した深い瞬目

閉瞼不全型：上眼瞼が下眼瞼縁に達するまでに上昇を開始した瞬目

閉瞼変則型：下降時の上眼瞼の動きが変則的であった瞬目(瞬目の深さは問わない)

W)を用い、LEDの前にはテレセントリック光学系を設置し、LEDと光学系の間隔を被検者にレバー操作で調整させ、被検者の屈折度に関係なく、緑色視標が視界正中に無限遠、約 1 分角の大きさに設定される<sup>9)</sup>。

## 2. 対象および測定法

屈折異常以外に眼疾患を持たない 20 代～50 代の男性オフィスワーカー 11 名 11 眼を対象とした(表 1)。インフォームドコンセントを得て、通常業務の合間に測定を行った。測定環境は 100 lx とし、被検者には計測器の顎台に顎をのせて前を向き、正面に光る視標を自然に見つめるよう指示した。瞬目に関する指示は出さなかった。この状態で hole in card 法で決定した優位眼の前眼部を、瞳孔を中心として 30 秒間撮影した。測定データ

を保存した後すぐに次の測定を行った。データ保存に要する時間は約 30 秒であった。計測は計 3 回行い、そのうちの 2 回分を解析に用いた。

## 3. 結果出力法

### 1) 動画再生

30 秒間で得た 3 万枚の撮影画像を動画再生した。「再生モード」を 1/16 倍速、「早送りモード」を 1/2 倍速再生とし、「早送り」でそれぞれの瞬目出現状況を把握した。次いで「再生」、「巻き戻し」、「コマ送り」などを用いて各瞬目における上眼瞼の動きを詳細に観察した。

### 2) 定量解析

足立ら<sup>7)</sup>の方法に従って眼領域から上下の眼瞼を検出し、上眼瞼位置を計測した。このうち中央 11.5 mm 領域の上眼瞼位置平均値を、そのときのの上眼瞼位置とした(図 2)。このデータをもとに上眼瞼移動速度を演算し、位置データ、速度データを  $\pm 5$  msec で移動平均化し解析データとした。これらの時系列データをエクセルに読み込み、グラフ機能を用いて瞬目波形と上眼瞼移動速度波形(以後、速度波形とする)を作成した(図 3)。移動速度は、下降、上昇の方向は問わず絶対値を求めた。次いで各瞬目部分を拡大表示し、瞬目波形から上眼瞼下降距離(瞬目の深さ)を、速度波形から上眼瞼下降時間、上昇時間、瞬目時間、最大下降速度と最大上昇速度を求めた(図 4～7)。

## III 結 果

### 1. 動画画像解析

ほとんどの場合、上眼瞼の速やかな下降に続いて緩やかな上昇がみられ瞬目が完了した。再生画像は滑らかなで、下降時のきわめて速やかな動きも正確に把握でき、上眼瞼の下降開始や下降から上昇に転じるポイントを見逃すことがなかった。上昇に転じる位置は瞬目ごとに区々であり、下眼瞼縁に達してから上昇を開始する場合、下眼瞼縁近くまで下降するが完全には閉瞼しない場合、瞳孔領下縁あたりで上昇に転じる場合、それ以前に上昇を開始する場合などがみられた。一方、下降途中に一度減速し、また加速して下降を終了するなどの変則的な動きのみられる場合もあり、このような瞬目では下降に要する時間が長くなった。今回は、再生画像で確認した上眼瞼の動きから、閉瞼完全型(下眼瞼縁に達してから上昇開始)、閉瞼不全型(下眼瞼縁に達するまでに上昇開始)、閉瞼変則型(下降時に上眼瞼の変則的な動きがみられるもの：上昇に転じる位置は問わない)に分類した。各年代の型別瞬目数は表 1 のとおりである。全例を対象とすると閉瞼不全型が最も多く全体の約 6 割、次いで閉瞼完全型が多く全体の約 3 割、閉瞼変則型は最も少なく約 1 割となった。

### 2. 瞬目波形と速度波形

50 代被検者の瞬目波形と速度波形を図 3 に示す。計 4

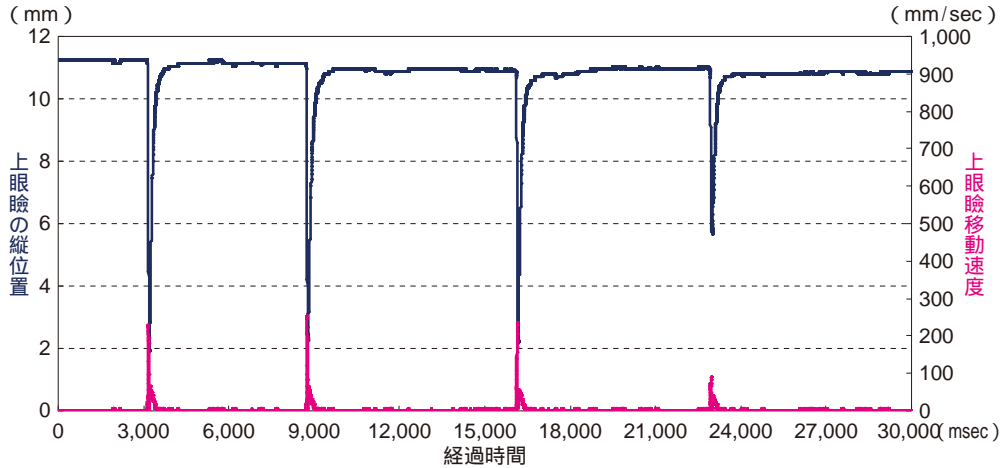


図 3 瞬目波形、速度波形測定例。

50 代被検者の測定例。測定フレームの底辺を 0 mm、天井を 12 mm に設定している。測定開始時の上眼瞼縦位置は約 11 mm、下眼瞼は約 2 mm であった。上眼瞼の縦位置をプロットしたものが青の波形(瞬目波形)、上眼瞼の移動速度をプロットしたものが赤の波形(速度波形)である。速度は方向に関係なく絶対値を採用した。

1~3 番目の瞬目は再生動画で下眼瞼縁に達してからの上昇開始が確認され閉瞼完全型と判定したもの。4 番目は瞳孔領下縁に達するまでに上昇を開始しており閉瞼不全型と判定したものである。瞬目波形で下降相は急峻であるが、上昇相は後半が非常に緩やかなカーブとなった。各瞬目に対応して高い速度のピークがみられた。一方、瞬目と瞬目の間にみられる小さい速度波形は、再生画像では「上眼瞼のゆれ」と確認された。

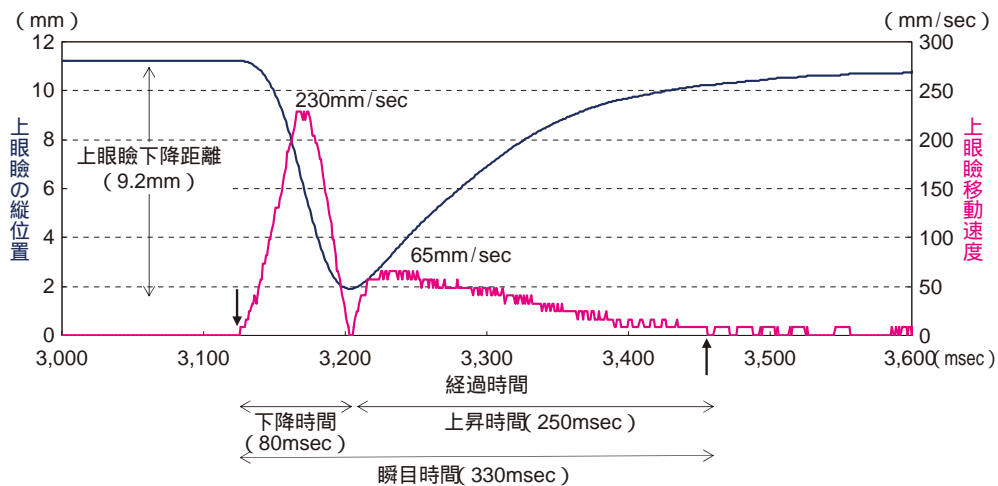


図 4 閉瞼完全型瞬目測定例。

図 3 の 1 番目瞬目部分を拡大したもの。瞬目開始時の上眼瞼位置は 11.2 mm、最下降時は 2 mm で、上眼瞼下降距離は 9.2 mm となった。瞬目各相の開始と終了の判定には速度波形を用いた。急速な下降が始まった時点を下降開始とした(↓)。その後、速度が 0 mm/sec となった時点を下降終了、上方向に動き始めた時点を上昇開始とした。上昇終了に近づく、速度が 0 mm/sec となった後も何度か矩形波がみられるが、最初に 0 mm/sec となった時点を終了時とした(↑)。下降時間 = 下降終了時 - 下降開始時、上昇時間 = 上昇終了時 - 上昇開始時、瞬目時間 = 上昇終了時 - 下降開始時とした。速度波形では下降相に急峻なピークがみられ最大速度は 230 mm/sec。一方、上昇時には明らかなピークはなく、最大速度は 65 mm/sec となった。

回の瞬目に対応して、瞬目波形の谷がみられる。1~3 番目の谷は閉瞼完全型瞬目に対応するもので深く、4 番目の谷は閉瞼不全型に対応するもので浅く、再生画像所見の特徴を正確に表現する波形となった。

図 4 は図 3 の 1 番目、閉瞼完全型瞬目の波形である。上眼瞼は 11.2 mm から 2 mm まで下降した後、上昇を開始した。下降に要した時間は 80 msec、上昇に要した

時間は 250 msec で、上昇に 3.1 倍の時間を要した。下降時の最大速度は 230 mm/sec と速く、上昇時最大速度 65 mm/sec の 3.5 倍となった。図 5 は図 3 の 4 番目、閉瞼不全型瞬目の波形である。上眼瞼は 11 mm から 5.7 mm まで下降した後、上昇を開始した。下降に要した時間は 100 msec、上昇に要した時間は 189 msec で、上昇に 1.9 倍の時間を要した。下降時最大速度は 90

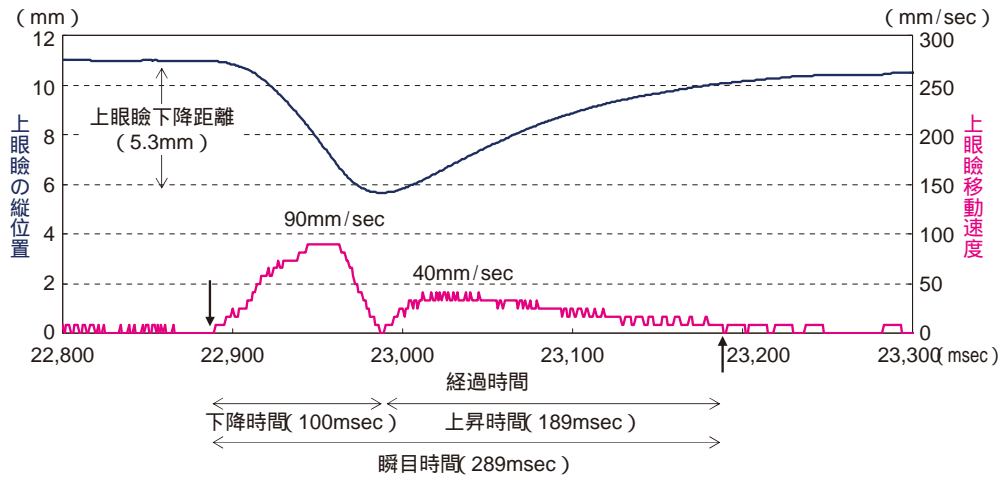


図 5 閉瞼不全型瞬目測定例.

図 3 の 4 番目瞬目部分を拡大したもの。瞬目開始時の上眼瞼位置は 11 mm、最下降時は 5.7 mm で、上眼瞼下降距離は 5.3 mm であった。瞬目各相の開始と終了の判定は図 4 と同様の基準で行った。速度波形では下降相、上昇相ともに急峻なピークはみられず、それぞれの最大速度は 90 mm/sec, 40 mm/sec となった。

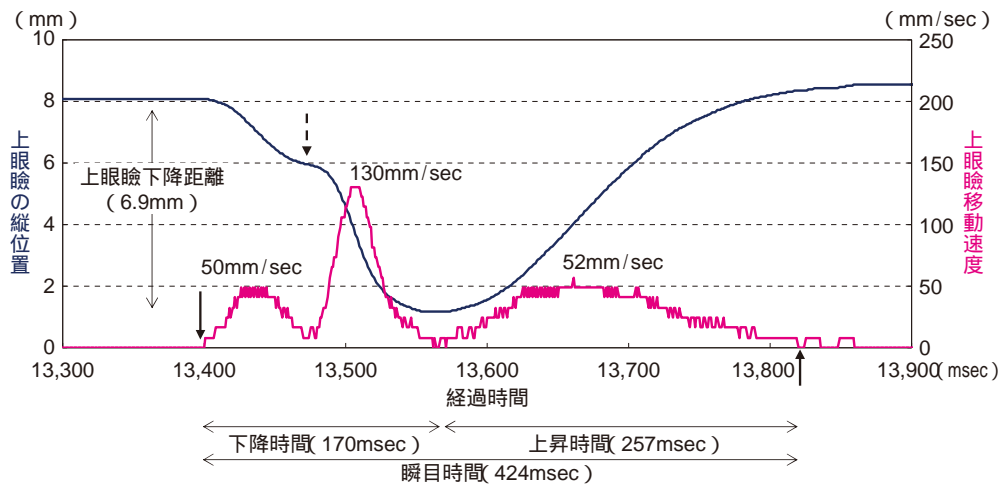


図 6 閉瞼変則型瞬目測定例①.

20 代被検者にみられた閉瞼変則型瞬目の波形。瞬目開始時の上眼瞼位置は 8.1 mm、最下降時は 1.2 mm で、上眼瞼下降距離は 6.9 mm であった。瞬目各相の開始と終了の判定は図 4 と同様の基準で行った。瞬目下降相において上眼瞼の動きが減速するところがあり(↓)、下降時間は 170 msec とやや長くなった。下降相の速度波形は上眼瞼の動きに対応して、なだらかなピークと急峻なピークがみられる 2 峰性となった。下降時最大速度は 130 mm/sec, 上昇時最大速度は 52 mm/sec となった。

mm/sec で、上昇時最大速度 40 mm/sec の 2.3 倍となった。

各瞬目部分につき図 4, 5 と同様に計測すると、閉瞼完全型、閉瞼不全型では下降相は上昇相より著明に短かった。しかし、閉瞼変則型の瞬目では上眼瞼の動きが変則的で、下降に要する時間が長くなった。その代表的な波形を図 6, 7 に示す。図 6 は 20 代被検者にみられた閉瞼変則型瞬目の波形である。上眼瞼は 8.1 mm から 1.2 mm まで下降するが、途中でいったん減速するために、下降に 170 msec の時間を要した。上眼瞼の動きに対応して、速度波形は下降時 2 峰性となった。図 7 も 20 代被検者にみられた閉瞼変則型瞬目の波形である。上眼瞼は 8.3 mm から 1.4 mm まで下降するが、途中

(約 4 mm の位置)でわずかに上昇して再び下降し、下降終了までに 300 msec を要した。上眼瞼の動きに対応して、速度波形全体では 2 つの瞬目が融合したような形となった。

### 3. 瞬目各相の持続時間

閉瞼完全型と不全型瞬目について持続時間の平均と標準偏差を求めると、完全型では下降時間：98 ± 18 msec, 上昇時間：219 ± 31 msec, 瞬目時間：317 ± 35 msec となり、上昇時間/下降時間比は 2.0 であった。不全型でも、下降時間：99 ± 17 msec, 上昇時間：221 ± 54 msec, 瞬目時間：323 ± 56 msec, 上昇時間/下降時間比は 2.0 となり、閉瞼完全型と不全型で差はみられなかった (p > 0.1, Student's t-test) (表 2)。

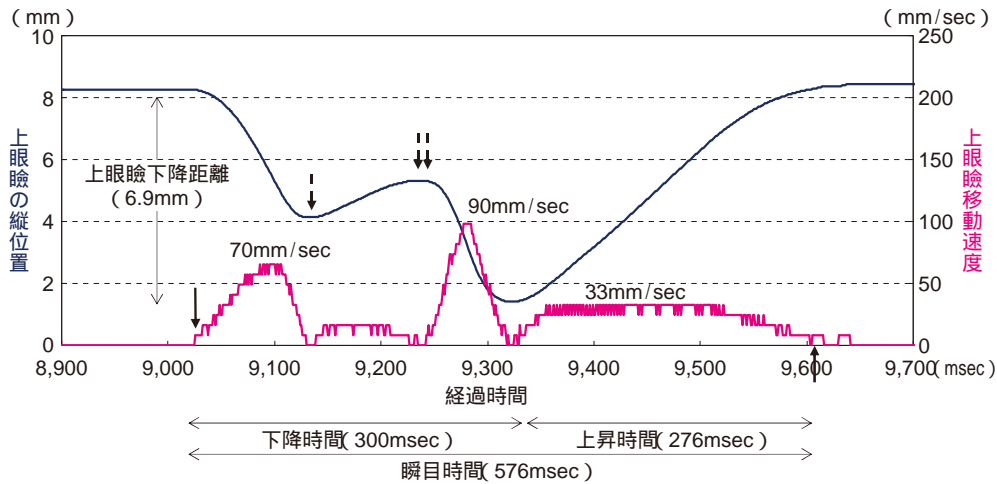


図 7 閉瞼変則型瞬目測定例 ②.

20 代被検者にみられた閉瞼変則型瞬目の波形。瞬目開始時の上眼瞼位置は 8.3 mm，最下降時は 1.4 mm で，上眼瞼移動距離は 6.9 mm であった。瞬目各相の開始と終了の判定は図 4 と同様の基準で行った。上眼瞼は約 4 mm まで下降した後，いったん上昇して(↓)再度下降した(↓↓)ため，下降時間は 300 msec と著明に長く，全体の速度波形は 2 つの瞬目が連続したような形となった。下降時最大速度は 90 mm/sec，上昇時最大速度は 33 mm/sec となった。

表 2 閉瞼完全型瞬目と閉瞼不全型瞬目の比較

	閉瞼完全型	閉瞼不全型
出現回数	39	70
瞬目時間(msec)	317 ± 35	323 ± 56
下降時間(msec)	98 ± 18	99 ± 17
上昇時間(msec)	219 ± 31	221 ± 54
所要時間比(上昇/下降)	2.0 ± 0.6	2.0 ± 0.8
最大下降速度(mm/sec)	186 ± 53*	115 ± 37*
最大上昇速度(mm/sec)	59 ± 18***	45 ± 17***
最大速度比(下降/上昇)	3.2 ± 0.9	2.7 ± 0.7

数値は平均値 ± 標準偏差，※，\*\*\*：p < 0.0001 (Student's t-test)。

4. 上眼瞼最大下降速度と最大上昇速度

閉瞼完全型と不全型瞬目について最大速度の平均と標準偏差を求めると，完全型では下降時：186 ± 53 mm/sec，上昇時：59 ± 18 mm/sec となり，最大下降速度/上昇速度比は 3.2 であった。不全型では下降時：115 ± 37 mm/sec，上昇時：45 ± 17 mm/sec となり，最大下降速度/上昇速度比は 2.7 倍となった。いずれも，最大速度は下降相において検出され，最大下降速度は上昇速度の約 3 倍となった。また，下降，上昇ともに最大速度は完全型で不全型よりも有意に速かった (p < 0.0001, Student's t-test) (表 2)。

5. 上眼瞼下降距離と下降時間，最大下降速度および最大上昇速度の相関

閉瞼完全型と不全型を合わせた計 109 回の瞬目を対象とし，上眼瞼下降距離(瞬目の深さ)と上眼瞼下降時間，最大下降速度および最大上昇速度との相関をみると，下降時間との間には有意の相関はみられなかった (p = 0.33, Pearson's correlation coefficient test) (図 8)。しか

し，深い瞬目ほど最大下降速度，最大上昇速度ともに速くなり，最大速度との間には強い正の相関がみられた。最大下降速度との相関係数は 0.85，最大上昇速度との相関係数は 0.73 であった (p < 0.0001, Pearson's correlation coefficient test) (図 9, 10)。

IV 考 按

瞬目現象を詳細に観察記述するには筋電図やサーチコイル法，眼電位図，高速カメラを用いる方法がある。このうち，高速カメラを用いた測定は非侵襲であるが，上眼瞼の動きを詳細に観察するにはサンプリング時間の短縮が課題となる。Doane は 64 frame/sec のサンプリングでは十分でなかったとして，500 frame/sec の測定を行っている<sup>10)</sup>。今回我々はサンプリング時間を 1 msec に短縮した IVS カメラを用いて瞬目高速解析装置を試作し，11 名の男性オフィスワーカーを対象に自発性瞬目を測定した。特殊な測定環境を必要としないため，検査は事業所にて業務の合間に行った。要した時間は測定に 90 秒 (30 秒 × 3 回)，データ保存に約 90 秒の計 3 分と短時間であった。被検者への要求は前方注視のみで，20 代から 50 代まで年齢に関係なく測定が可能であった。

出力方法の一つである動画像再生では，「再生」，「巻き戻し」機能などを使って，繰り返し詳細に上眼瞼の動きを観察することができた。閉瞼変則型瞬目でみられた上眼瞼の特異な動きは，多くが持続 30~60 msec であり，一般的に用いられるサンプリング (25~60 Hz)<sup>11)~14)</sup> では観察が困難と推測される。自発性瞬目において，眼輪筋の拮抗筋である上眼瞼挙筋は相反性支配を受けることなく，筋電図には持続放電がみられるといわれる<sup>15)</sup>。下降相においても挙筋の筋収縮が続いているとすれば，

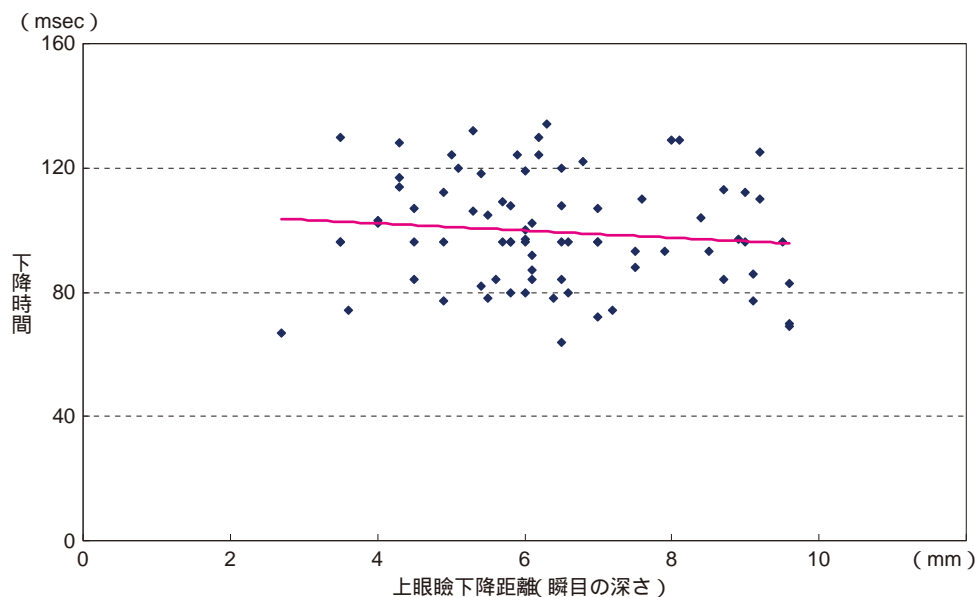


図 8 上眼瞼下降距離と下降時間の相関.

$n=109$ ,  $y = -1.15x + 106.73$ ,  $r = -0.11$ ,  $p = 0.33$  (Pearson's correlation coefficient test)

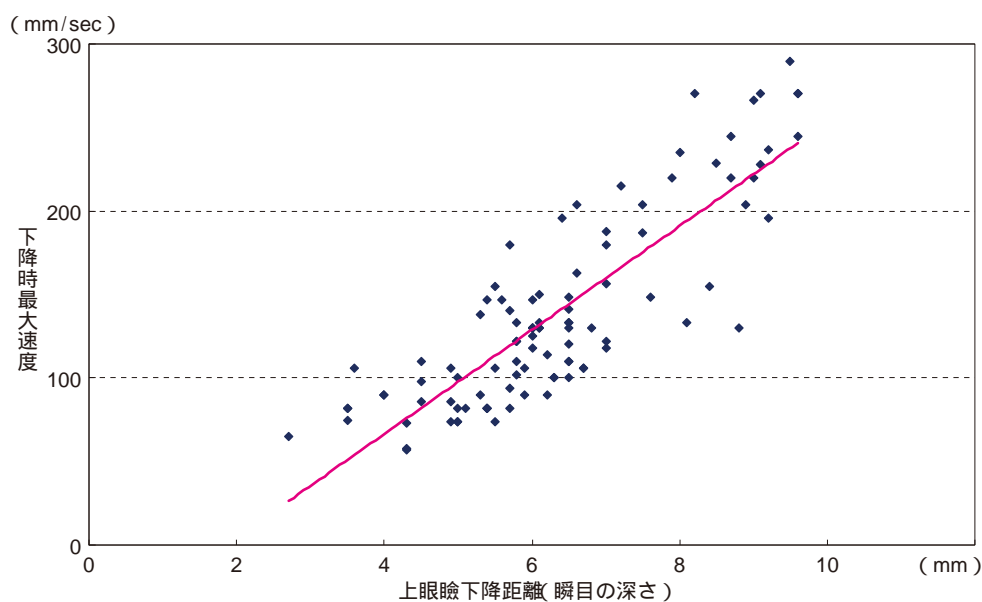


図 9 上眼瞼下降距離と下降時最大速度の相関.

$n=109$ ,  $y = 31.10x - 57.89$ ,  $r = 0.85$ ,  $p < 0.0001$  (Pearson's correlation coefficient test)

眼輪筋の張力が挙筋の張力に勝れば上眼瞼は下降し、釣り合えば停止し、弱まれば上昇することになる。変則型瞬目でみられる上眼瞼下降時のさまざまな動きは、眼輪筋と上眼瞼挙筋の張力バランスを表現するものとして説明が可能と思われる。自発性瞬目だけでなく瞬目全般において、上眼瞼の下降は急速で、上昇は緩やかになると報告されている<sup>14)16)~18)</sup>。しかし、変則型においてはその限りでなく、下降時の上眼瞼は特異な動きとなり、その結果、下降相が著明に長くなった。今回は過去の文献データと比較するために、統計解析は閉瞼変則型瞬目を除外して行った。

出力のもう一つの方法は定量解析データを用いた瞬目波形および速度波形の作成で、サーチコイル法による波形にほぼ一致するものを得ることができた<sup>16)~18)</sup>。上眼瞼の下降は眼輪筋の収縮によるものであり<sup>19)</sup>、下降時の動きは比較的画一的である<sup>18)20)</sup>。一方、上昇は上眼瞼挙筋の収縮によるものであるが、上昇の速度や上昇に要する時間も瞬目間でのばらつきが大きいといわれる<sup>18)20)</sup>。今回作成した瞬目波形でも上昇相の勾配には種々のパターンがみられ、それぞれに対応して速度波形の形状も異なった。上眼瞼の上昇量と上眼瞼挙筋活動は相関し、筋線維型では速い収縮線維で拳上され(burst tonic)、遅

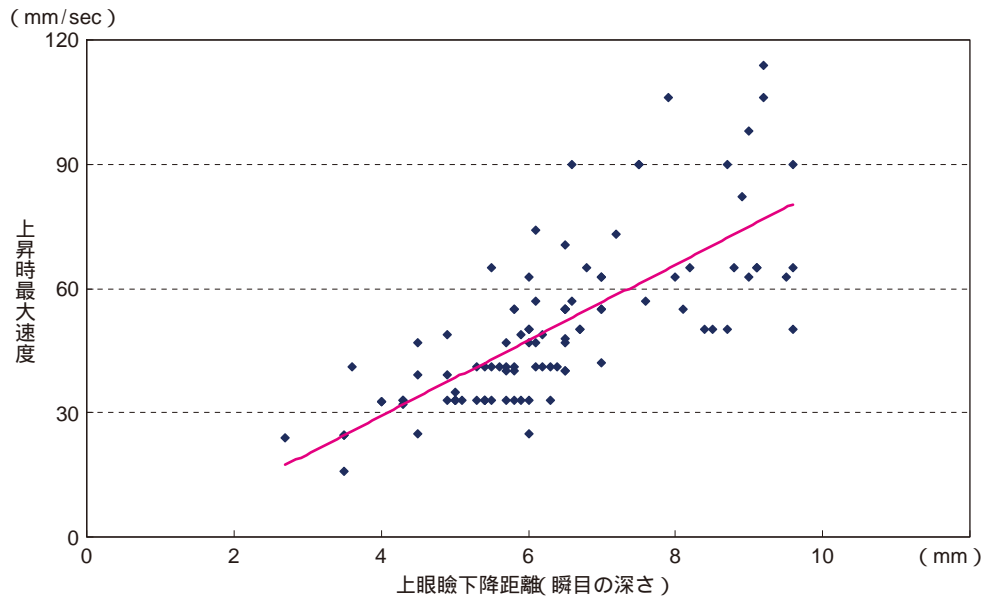


図 10 上眼瞼下降距離と上昇時最大速度の相関.

$n=109$ ,  $y=9.14x-7.34$ ,  $r=0.73$ ,  $p<0.0001$  (Pearson's correlation coefficient test)

い線維で挙上位が保持される (tonic) といわれる<sup>19)</sup>. しかし, 上昇に際して開瞼運動 (burst tonic) が発動されるとは限らないという報告もあり<sup>16)</sup>, 上昇相のばらつきの一因になっているものと推測する. 上眼瞼挙筋の筋電図は針電極を刺入して検査するもので, 測定は眼輪筋ほど容易ではない<sup>19)</sup>. このため瞬目時における活動にも不明点が多いが, 瞬目上昇相の波形解析法を検討することにより, 挙筋活動に関する情報を得ることも可能ではないかと期待される.

瞬目時間を演算するには, 開始点 (下降開始点) と終了点 (上昇終了点) を求める必要がある. 瞬目開始時と終了時の上眼瞼位置が一致しない場合もあることから, 今回は上眼瞼移動速度を判定に用いた. 瞬目が発生すると, 上眼瞼は急速に下降し開始点の判定は容易であるが, 上昇終了判定には困難を感じる場合があった. すなわち, 速度が速やかに  $0 \text{ mm/sec}$  とならず,  $0 \text{ mm/sec}$  と  $8 \text{ mm/sec}$  (今回の最小速度検出感度) を繰り返す場合である. 速度  $8 \text{ mm/sec}$  は上眼瞼のゆれでも検出されるため, 繰り返しのみられる場合も最初に  $0 \text{ mm/sec}$  となった時点を瞬目の終了とした (図 4~7). 過去の文献で, 上昇相の終了基準を明記したものはみられないが, 上昇時間について Doane<sup>10)</sup> は  $175 \text{ msec}$ , Choi ら<sup>12)</sup> は  $205 \text{ msec}$ , Casse ら<sup>13)</sup> は  $210 \text{ msec}$ , VanderWerf ら<sup>20)</sup> は  $245 \text{ msec}$  と報告している. 今回の基準で求めた上昇時間の平均は約  $220 \text{ msec}$  で (表 2), 過去の報告値と近似しており, 上昇相の終了判定基準は妥当であるものと判断される. 客観的かつ再現性をもって瞬目時間を判定するために, 判定基準を明確にすることが必要となる. 足立ら<sup>7)</sup> は瞬目開始と終了の検出基準点として瞬目波形の二次微分のゼロクロス点を用いる方法を提唱している. 大

量のデータ処理には, こういった判定法を取り入れていくことも必要と思われる.

瞬目における下降時間, 上昇時間の平均値に関して Evinger ら<sup>16)</sup> は, 下降時間が約  $60\sim 90 \text{ msec}$ , 上昇時間は約  $140\sim 220 \text{ msec}$  で, 上昇時間は下降時間の約 3 倍となること. また, 瞬目の深さと瞬目時間には相関がみられないことを報告している. Stava ら<sup>18)</sup> もまた, 瞬目の深さと瞬目時間には相関がみられないとした. 下降時間は眼輪筋の収縮時間とほぼ一致するが, 収縮時間が長くなっても上眼瞼の下降量が多くなるとは限らない. 眼輪筋の収縮強度の増加があってはじめて瞬目は深くなるといわれる<sup>16)</sup>. これらサーチコイル法による報告と同様の結果を瞬目高速解析装置を用いた測定でも得ることができた (図 8).

瞬目のような弾道学的動きを解析するには, 速度のパラメータとして一般に最大速度が用いられる. 瞬目に関しての最大速度は下降時に得られることが明らかになっており, Stava ら<sup>18)</sup> は 5 症例の最大速度平均値が  $481\sim 1,107 \text{ deg/sec}$  ( $0.25 \text{ deg}=0.05 \text{ mm}$  換算で  $96\sim 221 \text{ mm}$ ), 最高速度と上眼瞼下降量には強い正の相関がみられ, 相関係数は  $0.88$  と報告している. Evinger ら<sup>16)</sup> も上眼瞼下降量と最大下降速度および最大上昇速度には強い正の相関がみられ, 回帰式はそれぞれ  $y=29.2x-35.9$ ,  $y=13.5x-5.87$  と報告している. これらの報告と今回の測定結果とはほぼ一致しており (図 9, 10), 瞬目高速解析装置を用いての速度測定はサーチコイル法と同様の精度と判断された.

本装置には, 測定に特別な環境を必要としない, 非侵襲的である, 測定時間が短い, 前方注視ができる被検者であれば年齢を問わず測定可能などの利点があった. ま



た、上眼瞼位置の把握は正確であり、これをもとに演算した移動速度も信頼できるものと判断された。個々の瞬目の解析に、その動きの特徴をパラメータを用いて定量化することは有用である。上眼瞼下降量、下降時間と上昇時間、最大下降速度と上昇速度は基本のパラメータであるが、今回の測定から、本装置は信頼できる精度でこれらを出力していることが確認された。今後は測定例を増やし、眼瞼痙攣、顔面神経麻痺、眼瞼下垂などの診断や治療効果判定への応用<sup>12)13)</sup>、VDT による眼障害と瞬目との関連<sup>11)</sup>、自発性瞬目変化を用いた疲労の診断可能性<sup>7)</sup>についても検討を重ねる予定である。

## 文 献

- 1) 浅田 博, 水谷充良, 山口雅彦, 外池光雄, 福田 淳 : 自発性瞬目における後頭皮質視覚活動の脳磁図による解析. 神眼 20 : 49—55, 2003.
- 2) Miller NR : Clinical Neuro-Ophthalmology Vol 2. Williams & Wilkins, Baltimore, 961, 1985.
- 3) 佐藤直樹 : ドライアイと VDT. 坪田一男(編) : Ocular Surface の診断と治療. メディカル葵出版, 東京, 101—106, 1993.
- 4) Doughty MJ : Consideration of three types of spontaneous eyeblink activity in normal humans : during reading and video display terminal use, in primary gaze, and while in conversation. Optom Vis Sci 78 : 712—725, 2001.
- 5) Barbato G, De Padova V, Paolillo AR, Arpaia L, Russo E, Ficca G : Increased spontaneous eye blink rate following prolonged wakefulness. Physiol Behav 90 : 151—154, 2007.
- 6) Caffier PP, Erdmann U, Ullsperger P : The spontaneous eye-blink as sleepiness indicator in patients with obstructive sleep apnoea syndrome—a pilot study. Sleep Med 6 : 155—162, 2005.
- 7) 足立和正, 濱田尊裕, 中野倫明, 山本 新 : ドライバの意識低下検知のための動画像処理によるまばたき計測. 電学論誌 C 124 : 776—783, 2004.
- 8) Pivec M, Trummer C, Pripfl J : Eye-tracking adaptable e-learning and content authoring support. Informatica 30 : 83—86, 2006.
- 9) 鈴木一隆, 豊田晴義 : インテリジェントビジョンシステム (IVS) を用いた高速・高精度眼球運動計測装置の開発と評価. 映情学誌 61 : 1774—1778, 2007.
- 10) Doane MG : Interaction of eyelids and tears in corneal wetting and the dynamics of the normal human eyeblink. Am J Ophthalmol 89 : 507—516, 1980.
- 11) Freudenthaler N, Neuf H, Kadner G, Schlote T : Characteristics of spontaneous eyeblink activity during video display terminal use in healthy volunteers. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol 241 : 914—920, 2003.
- 12) Choi SH, Park KS, Sung MW, Kim KH : Dynamic and quantitative evaluation of eyelid motion using image analysis. Med Biol Eng Comput 41 : 146—150, 2003.
- 13) Casse G, Sauvage JP, Adenis JP, Robert PY : Videonystagmography to assess blinking. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol 245 : 1789—1796, 2007.
- 14) Niida T, Mukuno K, Ishikawa S : Quantitative measurement of upper eyelid movements. Jpn J Ophthalmol 31 : 255—264, 1987.
- 15) 平岡満里 : 瞬目の生理と分析法. 神眼 11 : 383—390, 1994.
- 16) Evinger C, Manning KA, Sibony PA : Eyelid movements. Mechanisms and normal data. Invest Ophthalmol Vis Sci 32 : 387—400, 1991.
- 17) Peshori KR, Schicatano EJ, Gopalaswamy R, Sahay E, Evinger C : Aging of the trigeminal blink system. Exp Brain Res 136 : 351—363, 2001.
- 18) Stava MW, Huffman MD, Baker RS, Epstein AD, Porter JD : Conjugacy of spontaneous blinks in man : eyelid kinematics exhibit bilateral symmetry. Invest Ophthalmol Vis Sci 35 : 3966—3971, 1994.
- 19) 平岡満里 : 眼瞼(解剖と神経支配/正常機能およびその検査法). 増田寛次郎, 他(編) : 眼科学大系 7 神経眼科. 中山書店, 東京, 615—622, 1995.
- 20) VanderWerf F, Brassinga P, Reits D, Aramideh M, Ongerboer de Visser B : Eyelid movements : Behavioral studies of blinking in humans under different stimulus conditions. J Neurophysiol 89 : 2784—2796, 2003.