原 著

聴覚刺激の視覚誘導性サッケードに及ぼす影響

渡辺 道隆¹⁾・福田 秀樹²⁾・古川 朋靖¹⁾正木 義男¹⁾・彦坂 興秀³⁾

Effects of Sound Stimulation on the Visually Guided Saccades

Michitaka Watanabe¹⁾, Hideki Fukuda²⁾, Tomoyasu Furukawa¹⁾,
Yoshio Masaki¹⁾, Okihide Hikosaka³⁾¹⁾ Department of Otorhinolaryngology, Juntendo University School of Medicine²⁾ Division of Work Stress Control, National Institute of Industrial Health Ministry of Labour³⁾ Department of Physiology, Juntendo University School of Medicine

We used saccade latency in a visually guided saccade task as an index to examine the effects of sound stimulation.

A light-emitting diode (LED) was embedded in a dome-shaped screen. DC electro-oculography (EOG) was used to record eye movements. Sound stimuli were delivered from a speaker at the center of the dome or from headphones or speakers on either side. The task was to maintain visual fixation at the dome center while the LED was on (overlap paradigm). LEDs on either side of the target at 20° were illuminated 20-50 times per session, and control data were obtained without sound stimulation.

When sound stimuli were delivered from the speaker at the center of the dome every 10 ms between Target ON -200 to +200 ms, the latency was shortened between Target ON -200 to +60 ms. When the sound stimulation from the speaker and the target were on the same side (the ortho condition), the latency was even shorter, in the target were on the opposite side (the anti condition), there was less shortening of the latency.

These data suggested that sound simulation causes the loss of attention when a subject is asked to pay attention to a central fixation point, and results in brief eye movement towards the target spot.

Key words: visually guided saccades, intersensory facilitation, attention, saccade latency, auditory stimulation, human

はじめに

ヒトにおける視覚誘導性サッケードの反応時間(潜時)に影響を及ぼす要因について、従来の研

究ではサッケードの誘導方法(すなわちサッケード課題)が中心に検討されてきた。最もよく用いられている課題では、被験者の視野の中心に視覚刺激(固視点)を点灯し、これを被験者に固視させる。そして固視点が消灯すると同時に、もう1つの視覚刺激(指標)を周辺視野に点灯してサッケードを起こさせる。このときのサッケードの反

¹⁾ 順天堂大学医学部耳鼻咽喉科学教室²⁾ 労働省産業医学総合研究所作業条件適応研究部³⁾ 順天堂大学医学部第一生理学教室

応時間は、年齢による影響はあるものの、20歳代の健常人では約 200 ms である¹⁾。しかし、固視点を消灯しない条件（オーバーラップ条件：overlap paradigm）でのサッケードの反応時間は約 240 msec²⁾ から 260 msec³⁾ に延長する。また、固視点亮と指標出現の間に数百 msec の時間間隔をおくと（ギャップ条件：gap paradigm）、反応時間は短縮するとされている²⁾。現在、この短い反応時間を持つ（約 120 msec）サッケードはエクスプレスサッケード（express saccade）と呼ばれ⁴⁾、オーバーラップ条件下では、特別な訓練や固視の瞬間に瞬目させたりしない限り出現しないことがわかっている³⁾⁵⁾。このように、視覚誘導性サッケードの反応時間は固視点の点灯・消灯、指標の点灯タイミングといった視覚刺激の呈示方法によって影響を受ける。

感覚刺激（視覚、聴覚、体性感覚）に対する反応時間の生理学的特徴として、感覚刺激を単独に与える場合よりも、複数の感覚刺激を与えて運動を起こさせた時の方が、反応時間が短縮することが知られている。Hershenson⁶⁾ はこのような複数の感覚刺激によって反応時間が短縮する現象を intersensory facilitation (IF) と命名した。現在までに、多くの研究者によって IF の実験報告がなされているが、大部分は hand reaction time

(HRT) と呼ばれるスイッチボタン、あるいはキーを手で押す際の時間を反応時間の評価対象として用いている。その他、反応時間を測定するうえで ERP (event related potential) を評価対象とした報告もあるが⁷⁾、サッケードそのものを評価対象とした研究はほとんどされていない。

最近、このような反応時間の促進現象について、高次脳機能の中で特に注意の観点から研究が行われている。注意の研究において、感覚刺激に対する反応時間が注意によって促進し、また異なる感覚間で注意が影響し合うことがわかっている⁸⁾⁹⁾。

本論文では、以上のことをもとに、視覚誘導性サッケード課題に聴覚刺激を組み合わせて、サッケード反応時間（潜時）について検討した。さらに IF と注意という 2 つの概念から、得られた結果に対して文献的考察を行った。

方 法

1. 対象

被験者は 25 歳から 47 歳（平均 35.0 歳）の聴覚、視覚ともに正常な健康成人ボランティア男性 4 名で、全て利き手は右であった。実験に先立ち、被験者には実験の内容の説明を行い同意を得た。

2. 眼球運動課題呈示・記録システム

もともと動物実験用に開発され（Kato ら¹⁰⁾¹¹⁾、

図1 眼球運動課題呈示・記録システムならびに聴覚刺激呈示装置

被験者は顎あて台に顎をのせて、頭部を固定し、手にスイッチボタンを持つ。中央のLEDは固視点とし、指標は左右20°とした。直流増幅器によって記録された眼球運動は、AD変換され、マイクログンピュータに課題の情報とともに記録された。

Hikosaka ら¹²⁾¹³⁾), さらにヒトの実験用に改良された直径約 90 cm のドーム型眼球運動課題呈示装置 (図 1) を使用した (中澤製作所製)。ドームにはドーム中央と水平 5, 10, 20, 30, 40° の位置にピンホールがあいていて, その中に赤色発光ダイオード (LED) が組み込まれている。被験者はドームに設置された顎あて台に顎をのせて頭部を固定し, 被験者の視野の中心がドーム中央の LED に一致するように設計されている。被験者の目の位置からドームまでの距離は 68 cm とした。実験室は薄暗く, かつドームは黒色であり, LED が点灯していない状態では被験者からピンホールの位置は確認できないように設定した。

眼球運動の記録には DC. EOG (electrooculography) を用いた。電極は銀塩化銀皿電極を使用し, 左右眼窩の外側と右眼窩の上下に装着し, 水平, 垂直方向の眼球運動の記録を行った。(日本光電製 AN-601G)。電極装着後, 暗順応による網膜角膜電位の変動を考慮して約 30 分間安静にした。被験者の眼位は, 500 Hz で AD 変換し, パーソナルコンピュータ (NEC 9801 DA) に取り込みモニター画面上で常にモニターした。このモニター画面には, ドーム中央及び左右の 5, 10, 20, 30, 40° の LED の位置が表示されており, この表示を利用して眼位のキャリブレーションを行った。実験中, 網膜角膜電位の変化によるモニター画面上の眼球位置のずれは, 随時補正した。LED の点灯する位置とタイミングは, あらかじめ

めパーソナルコンピュータでプログラムしコントロールした。

3. 眼球運動課題 (図 2)

眼球運動課題は以下のように設定した。課題は被験者が手に持ったスイッチボタンを押すことで始まり, 課題の最中はボタンを押し続けるよう指示した。スイッチボタンを押しているとドーム中央の固視点 (fixation point) の LED が点灯し, 被験者はこれを固視する。1500~2000 msec 後, 左右 20° どちらかにサッケードのターゲットとなる LED の 1 つがランダムに点灯し, 被験者はこのターゲットにできるだけ早くサッケードを起こす。ターゲットの LED は 800~2000 msec 後にわずかに暗くなり (dim), これを合図にすぐにスイッチボタンを離し, これで 1 試行終了とした。サッケード課題は固視点消灯による潜時への影響を除外するためにオーバーラップ条件とし, 全ての実験はこの眼球運動課題を用いて行った。眼球運動課題は 1 セッション 20 から 25 試行を行った。

4. 聴覚刺激装置

聴覚刺激装置は日本光電製 Neuropack-II ならびに SEN-3201 を用い, 聴覚刺激はクリック刺激とした。聴覚呈示装置はヘッドフォン (ELEGA DR-531) ならびにスピーカ (SONY SRS-150), ブザー (FDK ブザー) を用い, 各実験でそれぞれを使い分けた。

5. 実験条件

図 2 眼球運動課題

ドーム中央の固視点 (fixation point) の LED が点灯する (上段)。その後, 左右 20° どちらかにサッケードのターゲットとなる LED の 1 つが点灯する (中段)。被験者はこのターゲットに対してサッケードを起こす (下段)。固視点の LED は点灯したままとし, かつ光刺激に対してサッケードするので, この課題はオーバーラップ条件下での視覚誘導性サッケード (visually guided saccade) と呼ばれる。

5-1) 聴覚刺激の呈示に伴う視覚誘導性サッケード潜時の変化

聴覚刺激はドーム後方に設置したスピーカより呈示した。聴覚刺激装置は日本光電製 SEN-3201 を使用し、クリック音圧は被験者が座る顎あて台の位置で、測定上 (RION NL-11 で測定) 60~65 dBSPL になるよう設定した。

聴覚刺激のタイミングはターゲットとなる左右 20° の LED の点灯にあわせて以下の 8 セッションに分け、ランダムに行った (以下、ターゲット LED の点灯に 200 msec 先行して聴覚刺激が呈示される場合、Tg. ON - 200 msec と表記した)。なお、各セッション内での聴覚刺激呈示タイミングと、左右の LED の点灯方向もランダムになるように設定した。

Tg. ON - 200, -190, -180, -170, -160 msec
Tg. ON - 150, -140, -130, -120, -110 msec
Tg. ON - 100, -90, -80, -70, -60 msec
Tg. ON - 50, -40, -30, -20, -10 msec
Tg. ON 0, +10, +20, +30, +40 msec
Tg. ON +50, +60, +70, +80, +90 msec
Tg. ON +100, +110, +120, +130, +140 msec
Tg. ON +150, +160, +170, +180, +190, +200 msec

7~8 セッションを連続して行い、休憩をはさんだ後再度 7~8 セッションの課題を行った。さらにコントロールデータとして、聴覚刺激のない課題をこの複数のセッション中、数回行った (図 3)。

5-2) 音源の位置による視覚誘導性サッケード潜時の差異

ドームの左右 (位置は被験者にとって左右約 45° 斜め前方) に設置した 2 つのブザーより聴覚刺激を呈示した。実験 5-1) では、聴覚刺激は両耳刺激で、被験者にとって正面からの呈示であった。この実験では被験者にとって聴覚刺激は両耳刺激であるものの、左右どちらかの方向から聞こえるように設定した。つまり、視覚刺激のみならず聴覚刺激にも方向性を持たせた。聴覚刺激装置は日本光電製 SEN-3201 を用い、クリック音圧は顎あて台の位置で測定上 (RION NL-11 で測定) 55~60 dBSPL に設定した。聴覚刺激のタイミングは Tg. ON - 100 msec とした。

呈示される聴覚刺激方向と、点灯するターゲッ

ト LED の方向が常に同じである場合 (Ortho condition), 聴覚刺激方向とターゲット LED の方向が常に違う場合 (Anti condition), 聴覚刺激方向とターゲット LED の方向がばらばらで、両者がランダムに呈示される場合 (Random condition) の 3 パターンを比較検討した。

Ortho, Anti, Random の 3 条件の順番はランダムに行い、左右の LED の点灯方向もランダムになるように設定した。

6. 解析方法

今回使用したシステムは、本来サルの眼球運動実験用に開発されたものであるため、データ解析ソフトはサル眼球運動にあわせて設定されている。そこで、本実験のサッケード解析に際して、オフライン処理でサッケードの加速度、角速度、持続時間に以下の任意の閾値を設定した。加速度、角速度の閾値はそれぞれ 30 deg/sec, 90 deg/sec² と設定し、それを超えたものを解析対象とした。持続時間の設定は 20 msec とし、サッケードの開始時点と終了時点をコンピュータで自動的に検出した。得られた現波形はひとつひとつの波形をコンピュータ画面上に呼び出し、設定した閾値に合わせてチェックし、解析データとした。解析データ (潜時、加速度、角速度、持続時間等) は Microsoft 社製 Excel 95, 97 を用いて統計処理した。

結 果

1. 視覚刺激と聴覚刺激のタイミング (実験 5-1) の結果)

聴覚刺激のないサッケード課題 (コントロール) でのサッケード潜時 (saccade latency) は 264.1 ± 12.9 msec (mean $\pm$ standard error) であった (図 4)。聴覚刺激を呈示すると Tg. ON - 200 msec から Tg. ON + 60 msec の間でサッケード潜時の短縮が認められた。特に潜時が短縮したのは Tg. ON - 100 msec (202.0 ± 26.2 msec), Tg. ON - 50 msec (199.0 ± 25.7 msec) であり、コントロールと比較して約 60 msec 短縮した (Student's *t*-test, $p < 0.01$)。

振幅の正確さ (accuracy of amplitude) は、聴覚刺激のタイミングに関わらず 100% 前後で安定していた (図 5)。また、最大角速度 (peak velocity) は被験者によって差はあるものの、それぞれの被験者ごとで見ると、聴覚刺激タイミング

に関わらず比較的安定しており、振幅の正確さ、最大角速度はともに、聴覚刺激のタイミングによって一貫した変化は観察されなかった(図6)。

2. 聴覚刺激呈示の方向性(実験5-2)の結果, 図7)

Ortho condition, Anti condition, Random condition における Tg. ON -100 msec での潜時は

図3 得られた眼球運動波形のトレース
上段が音刺激のないコントロール時の波形。下段は聴覚刺激を呈示した時(実験条件5-1) Tg. ON -100, -90, -80, -70, -60 msec) の波形の一例。

それぞれ 144.5 ± 21.5 msec, 219.0 ± 23.0 msec, 196.5 ± 20.5 msecであった。特に Ortho condition で潜時は 144.5 ± 21.5 msec と非常に短縮した。Anti condition でも潜時短縮という現象は同様に生じたが、正面からの聴覚刺激時の Tg. ON -100 msec と比較すると、潜時の短縮は抑制される傾向を認めた。また、Random condition でのサッケード潜時は正面からの聴覚刺激時の Tg. ON -100 msec の値 (202.0 ± 26.2 msec) とほぼ同様であった。

考 察

1. 聴覚刺激先行時間と視覚誘導性サッケード潜時の関係

前述したように複数の感覚刺激によって反応時間が短縮する現象は IF と呼ばれている⁶⁾。今回、視覚・聴覚刺激の組み合わせでサッケードの反応時間(潜時)は明らかに短縮し、それは IF によって生じた促進現象であると考えられる。今までの HRT を評価対象として用いた IF の報告において、反応時間の短縮の程度、聴覚刺激の呈示タイミングについてはかなりの幅がある。聴覚刺激の呈示タイミングは大別して視覚刺激呈示後、同時、前の3つのグループに分類できる。視覚刺激呈示後としているのは Todd¹⁴⁾, Gielen ら¹⁵⁾ であ

図4 実験条件5-1) におけるサッケードの潜時

聴覚刺激のないサッケード課題(コントロール)でのサッケード潜時 (264.1 ± 12.9 msec) を波線で示す。聴覚刺激の呈示時, Tg. ON -200 msec から Tg. ON +60 msec の間でサッケード潜時は短縮した。特に潜時が短縮したのは Tg. ON -100 msec (202.0 ± 26.2 msec), Tg. ON -50 msec (199.0 ± 25.7 msec) であり、コントロールと比較して約 60 msec 短縮した (Student's *t*-test, $p < 0.01$)。

る。Todd は 100 msec 後、Gielen らは 65 msec 後に聴覚刺激を呈示した時、HRT はそれぞれ 20-80 msec、約 15 msec 短縮したと報告した。Schmidt ら¹⁶⁾ は、視覚刺激呈示と同時に聴覚刺激を呈示した時 HRT が約 30 msec 短縮したと述べている。一方、Bernstein ら¹⁷⁾ は聴覚刺激が 500

msec 視覚刺激に先行して呈示された時 HRT は 64 msec 短縮したと報告した。

今回の実験で最も反応時間の短縮する聴覚刺激のタイミングは、Bernstein ら¹⁷⁾ と同様にターゲット LED (視覚刺激) の点灯前であった。このように聴覚刺激のタイミングについて結果が異な

図5 実験条件5-1)におけるサッケードの振幅の正確さ

振幅の正確さ (accuracy of amplitude) は、音刺激のタイミングに関わらず100%前後では安定していた。

図6 実験条件5-1)におけるサッケードの最大角速度

最大角速度 (peak velocity) は被験者によって差はあるものの、それぞれの被験者ごとで見ると、音刺激のタイミングに関わらず比較的安定していた。

っている原因として、各実験で聴覚刺激と視覚刺激の呈示方法が違うことと、反応時間の評価対象の違い（HRT とサッケード潜時）が当然考えられる。さらに今回の実験条件では、聴覚刺激のタイミング設定を 10 msec 刻みと細かくしたので、そのために潜時が最も短縮するタイミングをより正確にとらえられたとも考えられる。

しかし、今回の実験結果で最も注目すべきデータは聴覚刺激条件 5-2) である。特に Ortho condition, Tg. ON -100 msec 時の潜時 (144.5 ± 21.5 msec) は、もともとのコントロール（音刺激条件 5-1)) での潜時 (264.1 ± 12.9 msec) と比較して約 120 msec も短縮した。同じ Tg. ON -100 msec で、聴覚刺激が正面から呈示された時の潜時 (202.0 ± 26.2 msec) と比較すると、聴覚刺激の方向性という要素が加わったことで潜時はさらに約 60 msec 短縮したことになる。今までの IF に関する実験でもここまで反応時間が短縮した報告はなかった。しかも聴覚刺激に方向性が有るか無いかという差だけで、ここまで潜時に差が生じた理由は IF という概念だけでは説明困難である。これには聴覚刺激の持つ方向性という要素がさらに何らかの効果を及ぼしたと考えられる。

2. 注意の効果

最近の注意に関する研究で、線運動錯視課題 (illusory line motion) という方法を用いて注意という観察不可能な現象の実験が行われている¹⁸⁾。被験者が画面中央の注視点 (F) を見つめていると、注視点の左右どちらかに光点 (先行刺激, C) が呈示され、次に C を端点とする光の線分が現れる。すると、画面上では何も動いていないにも関わらず、この線分は C の側から徐々に描かれたように動きの錯視が生じる。これは次のように考えられている。視覚中枢には運動検出器があり、たとえば光の点が右から左に順番に光ると、その情報が順番に運動検出器に到達し運動を知覚する。各光点が同時に呈示されると、その情報は運動検出器に同時に到達し運動は知覚されない。線運動錯視課題では線分に先行して C が出現 (手がかり刺激) することにより注意が C に引きつけられ、その付近の視覚情報処理が局所的に促進される。その結果、瞬時に呈示した線分の C に近い部分と遠い部分との間に時間差が生じ、運動の知覚が生じると考えられている。この実験から、注意によって視覚情報処理が促進することが確認された。このような注意に関する研究でわかっていることは、上記のような情報処理が促進す

図7 実験条件 5-2) におけるサッケードの潜時

Ortho condition で潜時は 144.5 ± 21.5 msec と非常に短縮した。Anti condition でも潜時短縮という現象は同様に生じたが、潜時の短縮は抑制される傾向を認めた。

るということと、反応が増大するという2点である。

今回得られた聴覚刺激によるサッケード潜時の短縮という現象を、情報処理の促進という注意の特性にあてはめて解釈してみる。

一般的な（聴覚刺激が呈示されない）視覚誘導性サッケード課題において、被験者は最初固視点を固視している。その時、注意は固視点に向けられ固定されている。点灯したターゲット LED に反応するにはまず固視点から注意を解除しなければならない。この注意の解除に時間が費やされるため通常の視覚誘導性サッケード課題ではある程度の潜時が生じるとされている。前述したギャップ条件では固視点の消灯によって、ターゲット点灯に先行して注意が解除される。その結果新しい刺激（ターゲット）弁別のための閾値が下がり、エクスプレスサッケードが生じると考えられている⁴⁾。一方、オーバーラップ条件では固視点の消灯がないため固視点から注意がなかなか解除されない。その結果刺激弁別の閾値が上がり、潜時は延長すると考えられる³⁾⁵⁾。

聴覚刺激に方向性のない条件で行った5-1)について考えてみる。最初注意が固視点に向けられ固定されている点はまったく同じである。ここで聴覚刺激がターゲット点灯前に呈示されると、注意は固視点の消灯ではなく聴覚刺激によって解除される。その結果ギャップ条件と同様に刺激弁別の閾値が下がり、呈示されたターゲットに素早くサッケードを起こすことが可能になったと思われる。

5-2) では聴覚刺激そのものに加えて聴覚刺激に方向性がある。例えば右側から聴覚刺激が呈示された時、注意は聴覚刺激によって固視点から解除され、なおかつ右方向へより引き付けられる。そのため常に注意の向いている方向にターゲットが呈示されると (Ortho condition), より速くサッケードを起こすことが可能になったと考えられる。Anti condition では同様に刺激弁別の閾値は下がっているものの、まったく逆方向のターゲットへ反応しなければならないため時間がかかったと考えられる。

以上のことから、視覚誘導性サッケードの反応時間（潜時）の短縮は聴覚刺激の時間的要素、空間的要素に影響を受けたといえる。

3. サッケード関連の眼球運動系と聴覚系経路の結合

IF と注意は反応時間を促進させるという点で共通である。この反応時間の促進は、視覚入力と聴覚入力が脳内のどこかで同一の神経経路を共有、もしくは結合していなければ発現しないと考えられる。

視覚・聴覚刺激による IF について、Nicker-son¹⁹⁾ によってそれまでの様々な仮説モデルがまとめられている。しかし、このレビューでは具体的な脳内の部位については述べられておらず、また現在でも明らかになっていない。

視覚誘導性サッケードの神経経路は視覚刺激→網膜→外側膝状体→視覚野→頭頂連合野→前頭眼野→上丘→中脳、脳幹部のサッケードジェネレータ→外眼筋→眼球運動と様々な中枢神経系が関与している²⁰⁾²¹⁾。この中のどこかで聴覚系経路が結合していると思われる。

Horst ら²²⁾, Brian ら²³⁾, Jenny ら²⁴⁾ は視覚刺激、聴覚刺激による眼球運動の実験を行い、この二つの刺激に共通した部位として上丘をあげている。

上丘は視覚野、頭頂連合野、前頭眼野から興奮性の情報が収束する一方、大脳基底核（黒質網様部）からの持続的な抑制とその解除（脱抑制）によって制御されている。上丘の解剖学的構造は浅層、中間層、深層からなっており、浅層では視覚受容野として視野中心、網膜上中心窩を含むような細胞が存在し、もっぱら視覚入力にのみ反応すると考えられている。中間層の細胞群は注視とサッケードの発現に関係している。この細胞群は下行性投射によって脳幹のバーストニューロン、オムニボーズニューロンに連絡していると考えられている。一方、深層の細胞はネコ、サルを用いた実験から視覚、聴覚、体性感覚の全てに反応することがわかっている。もし浅層・中間層と深層の間に深さ方向の選択的な促進結合があるとするれば、上丘内で視覚・聴覚による反応時間の促進が生じていると推察される。

Wallace ら²⁵⁾ は深層の細胞は視覚—聴覚、視覚—体性感覚、聴覚—体性感覚といった複数の刺激の組み合わせにも応答すると報告した。この実験結果から考えると、深層のみで眼球運動系と聴覚系経路の促進的結合が起こっている可能性も考

えられる。

また前頭眼野 (frontal eye field; FEF) は上丘中間層や脳幹の PPRF, 内側縦束の吻側間質核 (rostral interstitial nucleus of medial longitudinal fasciculus; riMLF) に投射し, 視覚誘導性サッケードに関与している。さらに FEF が注意機能に関与していることも明らかにされている²¹⁾。Russo ら²⁶⁾ はサルを用いて視覚誘導性サッケード課題と音刺激に対してサッケードを起こす聴覚誘導性サッケード課題 (aurally guided saccade) の両方を行い, FEF の神経活動を記録した。その結果, 視覚誘導性サッケードの際起こるニューロン活動とほぼ同様な反応を, 聴覚誘導性サッケードにおいても記録している。この結果をもって FEF 内でサッケード関連の眼球運動系と聴覚系の促進的結合が存在しているとい概には言えない。しかし, 眼球運動に関連する運動野である FEF が聴覚系にも関与しているという点で非常に興味深い。

今後, 今回同様の課題をファンクショナル MRI や PET 下に行うことによる画像的検討, また動物を用いた基礎的実験, さらに上丘, 前頭眼野障害症例における実験を行うことが必要であると思われる。

まとめ

1. 聴覚刺激がサッケード潜時に与える影響を, 視覚誘導性サッケード課題 (オーバーラップ条件) を用いて検討した。

2. 聴覚刺激によって最もサッケード潜時が短縮したのは, ターゲット点灯前 (Tg. ON - 100 msec, Tg. ON - 50 msec) であった。

3. 聴覚刺激にさらに方向性がある場合, 常に聴覚刺激と点灯するターゲット LED の方向が同側 (Ortho condition) であると, サッケード潜時はさらに短縮した。

4. 聴覚刺激によってサッケード潜時が短縮するという現象の背景には, IF と注意という2つの概念が存在すると考えられた。

5. サッケード関連の眼球運動系と聴覚系経路の促進的結合が上丘, 前頭眼野において存在する可能性を文献的に推察した。

稿を終えるにあたり御指導, 御校閲賜りました順天堂大学耳鼻咽喉科学教室市川銀一郎教授に深

甚なる謝意を表します。

本論文の概要は第56回日本平衡神経科学会総会, 第21回 Politzer society において発表した。

文 献

- 1) 福田秀樹: 発達と加齢におけるサッケードの変化. 神経進歩 40: 462-469, 1996
- 2) Saslow MG: Effects of components of displacement-step stimuli upon of saccadic eye movements. J Opt Soc Am 57: 1023-1029, 1967
- 3) Mayfrank L, Mobashery M, Kimming H, et al: The role of fixation and visual attention in the occurrence of express saccades in man. Eur Arch Psychiatry Neurol Sci 235: 269-275, 1986
- 4) Fischer B, Ramsperger E: Human express saccades: Extremely short times of goal directed eye movements. Exp Brain Res 57: 191-195, 1984
- 5) Reuter-Lorenz PA, Hughes HC, Fendlich R: The reduction of saccadic latency by the "Gap Effect". Percept Psychophys 49: 167-175, 1991
- 6) Hershenson M: Reaction time as a Measure of Intersensory Facilitation. J Exp Psychol 63: 289-293, 1962
- 7) Aunon JI, Keirn ZA: On intersensory evoked potentials. Biomed Sci Instrum 26: 33-39, 1990
- 8) Shimojo S, Miyauchi S, Hikosaka O: Visual motion sensation yielded by non-visually driven attention. Vision Res 37: 1575-1580, 1996
- 9) 彦坂興秀: 注意の神経機構. 安西祐一郎, 芋坂直行, 前田敏博, 他編. 岩波講座認知科学 9. 89-168頁, 岩波書店, 東京, 1994
- 10) Kato M, Hikosaka O: Saccade-related responses of external pallidal neurons in monkey. Neurosci Res Suppl 17: s218, 1992
- 11) Kato M, Miyashita N, Hikosaka O, et al: Eye movements in monkeys with local dopamine depletion in the caudate nucleus. I. Deficits in spontaneous saccades. J Neurosci 15: 912-927, 1995

- 12) Hikosaka O, Fukuda H, Kato M, et al: Deficits in saccadic eye movements in hereditary progressive dystonia with marked diurnal fluctuation. In ed Segawa M. Hereditary Progressive Dystonia with Marked Diurnal Fluctuation. pp 159-177, Parthenon Publishing, Lancs, New York, 1993
- 13) Hikosaka O, Fukuda H, Segawa M, et al: Voluntary saccades in normal and in dopaminedeficient subjects. In eds Segawa M, Nomura Y. Age-Related Dopamine-Dependent Disorders. pp 59-68, Monogr Neural Sci, Basel, Karger, Vol 14, 1995
- 14) Todd JW: Reactions to multiple stimuli. Archives of Psychology 3: 1-65, 1912
- 15) Gielen CAM, Schmidt RA, Van Den Heuvel JM: On the nature of intersensory facilitation of reaction time. Percept Psychophys 34: 161-168, 1983
- 16) Schmidt RA, Gielen CAM, Van Den Heuvel JM: The locus intersensory facilitation of reaction time. Acta Psychol 57: 145-164, 1984
- 17) Bernstein IH, Chu PK, Briggs P: Stimulus intensity and foreperiod effects in intersensory facilitation. J Exp Psychol 25: 171-181, 1973
- 18) Hikosaka O, Miyauchi S, Shimojo S: Focal visual attention produces illusory temporal order and motion sensation. Vision Res 33: 1219-1240, 1993
- 19) Nickerson RS: Intersensory facilitation of reaction time: energy summation or preparation enhancement?. Psychol Rev 80: 489-509, 1973
- 20) 彦坂興秀: 随意性の眼球運動. 神経進歩 28: 138-152, 1984
- 21) 船橋新太郎: 変前頭眼野と前頭連合野の機能. 神経進歩 40: 383-397, 1996
- 22) Horst RK, Chuck R, Bruce O, et al: Simultaneous auditory stimuli shorten saccade latencies. Laryngoscope 99: 1230-1232, 1989
- 23) Brian DC, Douglas PM: The influence of auditory and visual distractors on human orienting gaze shifts. J Neurosci 16: 8193-8207, 1996
- 24) Jenny EG, Michael CD, Brian DC, et al: Combined eye-head gaze shifts to visual and auditory targets in humans. Exp Brain Res 111: 68-78, 1996
- 25) Wallace MT, Wilkinson LK, Stein BE: Representation and integration of multiple sensory inputs in primate superior colliculus. J Neurophysiol 76: 1246-1266, 1996
- 26) Russo GS, Bruce CJ: Frontal eye field activity preceding aurally guided saccades. J Neurophysiol 71: 1250-1253, 1994

(原稿到着: 平成11年 3月25日
別刷請求先: 渡辺道隆
〒113-8421 東京都文京区本郷3-1-3
順天堂大学医学部耳鼻咽喉科学教室)