The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	外発的・内発的注意制御とその加齢効果
Author(s)	高原, 美和; 篠原, 一光
Citation	大阪大学大学院人間科学研究科紀要. 2006, 32, p. 285-305
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/8647
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

外発的・内発的注意制御とその加齢効果

高　原　美　和
篠　原　一　光

目　次

1.　はじめに
2.　注意制御と加齢
　２－１．　２種類の注意制御
　２－２．注意の捕捉
　２－３．注意の捕捉における加齢効果
３．眼球運動制御と加齢
　３－１．眼球運動制御に関する加齢研究の意義
　３－２．Anti-saccade 課題による検討
　３－３．Oculomotor capture 課題による検討
　３－４．今後の展望
４．まとめ

大阪大学大学院人間科学研究科紀要 32：285-305（2006）

外発的・内発的注意制御とその加齢効果

高原　美和
篠原　一光

1. はじめに

我々が外界の情報を取捨選択する際に、フィルターとして機能するものが注意である。特に、注意の空間的な移動がどのような方法で生じたのかによって、2 種類の注意制御に区別されている。１つは内発的注意制御、もう１つは外発的注意制御である。人間はこれらの注意制御が適切に機能することによって、様々な場面での効率的な情報獲得を実現させている。一方、意図的な情報選択を行う際に意図とは関係ない方向に注意や視線が外れてしまうことが報告されている（Theeuwes & Godijn, 2001）。この現象は“注意の捕捉（attentional capture）”と呼ばれ、注意制御機能を検討する１つの手段として利用されてきた。従って、本稿では "注意の捕捉" を中心にこれまでの注意制御研究の動向と加齢研究を概観する。また、神経心理学研究より内発的な眼球運動制御に重要な役割を果たす前頭葉領域が、加齢にともなって質量や代謝が減少することが報告されているため（West, 1996）、眼球運動制御機能に何らかの加齢変化が生じていることが予測される。そこで、注意制御研究の中でも、眼球運動を伴う注意制御に関する加齢変化について、これまでの研究の流れと今後の展望について紹介する。

2．注意制御と加齢

2.1 内発的注意制御と外発的注意制御

注意の分類には範囲や資源配分などに基づく考え方もあるが、注意の移動がどのような理由で生じたのかによる分け方も存在する。つまり、注意の移動が観察者の意思に基づいて実行されたのか、それとも、意思に反して実行されたのかという制御という観点からの区別である。このうち前者は内発的注意制御（endogenous control of attention）、

後者は外発的注意制御（exogenous control of attention）と呼ばれている。また、前者を目的指向型もしくは意図的注意制御、後者を刺激駆動型もしくは反射的注意制御と表現する場合もある。

これら 2 つの注意制御は、人間が日常的によく用いる機能の 1 つである。例えば、時間が知りたくて時計を見ることや、横断歩道に差し掛かって信号を確認することなど、観察者の意図、予期、知識、経験に基づいて特定の対象に注意を向けるという行動がある。これが、内発的注意制御である。一方、目の前で突然街頭に明かりが灯ったり、奇抜な服装をした人が通り過ぎたりしたら、勝手にその方向へ注意が向いてしまうかもしれない。この場合、観察者の意図とは関係なく、その対象が持つ特性によって注意が引き付けられたと考えられる。これが、外発的注意制御である。

注意制御機能において非常に興味深い点は、2 つの制御の存在によって人間が様々な状況に対応できるようになっていることである。観察者が自分の意思に基づいてしか注意を向けることができないとすれば、環境の変化をうまく察知できないということになってしまう。例えば、車を運転中に横断歩道とは関係のない場所で、急に子どもが飛び出して来るような事態には飛び出しを予期していないために発見や反応が遅れ、子どもに怪我を負わせる可能性が高いだろう。しかし、混雑していない道路状況では飛び出してくる子どもの動きは特異であり、注意を引きやすいと思われる。このため実際には子どもを発見して急停止、急ハンドル等で事故を避けられる場合も多い。このように、人間は自らの意思を基本として様々な行動をしながらも、環境における変化を素早く検出する姿勢も保っていると言える。注意制御機能に関する研究は、これら 2 つの注意制御間の切り替えに関する機能を明らかにするために行われていると言える。特に、先に述べた注意の捕捉（attentional capture）は、注意制御機能を明らかにする手段の 1 つとして数多くの研究が取り上げてきた。これらの研究では、どのような刺激が意図に反して外発的に注意を捕捉するのか、また、注意を引き付ける対象が行動と無関係である時に無視することはできるのか、という点が主要な観点となっている（レビューとして Klein, 2004; Theeuwes & Godijn, 2001 がある）。

2.2 注意の捕捉

それでは、何が内発的な注意制御を遮り、外発的に注意を捕捉するのだろうか？ Pashler (1988) は、被験者にディストラクター “O” の中から、“／” を探索させた。試行の一部には 1 つだけ色が異なるディストラクターが含まれており、これを無視してターゲットを探索するように教示された。結果は、色の異なるディストラクターがな

い場合よりもある場合の方が、探索成績が悪化した。また Theeuwes (1992) は、菱形のディストラクターの中から、ターゲットである円を探索させ、その内部の線の向きを判断させた。この実験でも同様に、いくつかの試行では色の異なるディストラクターが含まれ、被験者にはこのディストラクターを無視することが明示された。しかし、結果は色ディストラクターの含まれる条件において、ターゲットの探索が非効率になるというものだった。この実験のように、複数の刺激の中で１つの刺激だけが独特の特徴を持っている場合（この刺激のことを singleton と言う）、これらの実験はともに、ターゲットである singleton とは無関係な singleton の存在によって、ターゲットの探索成績が悪くなることを示している。つまり、課題とは無関係な singleton（task irrelevant singleton）による外発的な注意の捕捉が生じたと考えられる（Theeuwes, Kramer, & Kingstone, 2004）。

しかし、外発的に注意を捕捉する刺激は task irrelevant singleton だけではない。Yantis & Jonides (1984) は、複数の刺激の中から決められたターゲット文字を探索させる実験を行った。始めから配置されているデジタル数字の “8” がターゲットに変化する条件と、“8” がディストラクター文字に変化すると同時に何も刺激がなかった位置にターゲット文字が出現する条件との間で探索成績が比較された。前者の条件ははじめからある刺激の中からターゲットが現れるのに対し、後者の条件では反応画面においてターゲットが急に出現する。後者の条件のように、何もないところから刺激が急に現れることを突然のオンセット（abrupt/sudden onset）と呼ぶ。突然のオンセットがターゲットとなる確率は、“8” がターゲットに変化する確率と等しい。にもかかわらず、ターゲットが突然のオンセットとして呈示された場合には、ディストラクターの数とは独立して探索が速かった。さらに、Remington, Johnston, & Yantis (1992) は、ターゲットとは無関係な位置に出現するオンセットディストラクターの有無が、ターゲット探索にどのような影響を与えるのか検討した。オンセットディストラクターは無視するように教示されたが、結果は、オンセットの存在によってターゲット探索の成績が低下するというものであった。これらの実験より、突然のオンセットには外発的に注意を捕捉する特性があるということが示された。同様の結果は Theeuwes (1994) も報告している。

このように、外発的に注意を捕捉する刺激として、task irrelevant singleton や突然のオンセットがあげられているが、純粋に刺激によって誘発される捕捉かどうかについては疑問視する研究もある。特に task irrelevant singleton に関して、Bacon & Egeth (1994) は被験者が singleton 探索方略をとったために、task irrelevant singleton がある場合には探索効率が低下したと考えている。また、Folk, Remington, & Johnston (1992)

は、外発的な注意の移動は構え、予期、経験に依存したものであるとして、刺激特性だけから注意が捕捉されることはないと主張した。一方、突然のオンセットは視野内に新物体が出現する事態と考えられているが（Yantis & Hillstrom, 1994）、singleton のような刺激よりも強く注意を引きつける。観察者が、意図に反して強く注意を引き付けられる状況というのは、視界に急に新しい物体が入り込んでくる事態と言うことができるだろう。それでも、突然のオンセットが生じる位置とは別の部分に注意を集中したり（Theeuwes, 1991; Yantis & Jonides, 1990）、オンセットが呈示される中でターゲットを探索する十分な練習を行ったり（Warner, Juola, & Koshino, 1990）、画面の中でオンセット以外の大きな変化が生じたり（Martin-Emerson & Kramer, 1997; Franconeri, Hollingworth, & Simons, 2005）すると、オンセットが呈示されても注意は捕捉されにくくなる。突然のオンセットに対する注意の捕捉についても、完全に外発的なメカニズムで生じているのか、内発的な制御はどの程度可能なのかについて意見は一致していない（岩崎＆大原，2003）。

2.3 注意の捕捉における加齢効果

内発的な注意制御、すなわち意図的な注意移動を行う際に、突然のオンセットのような外発的に注意を引き付ける刺激から受ける影響は、年齢とともに変化することが指摘されている。Lincort, Folk, & Hoyer (1997) は、空間手がかりパラダイム[1] を用いて、2 つの注意制御に関する年齢差の検討を行った。彼らが特に興味を持ったことは、中心／周辺手がかりによる効果のタイムコースとその度合いに関する年齢差である。実験の結果、中心手がかりについて年齢差は見られなかったが、周辺手がかりについては高齢者では無視することがより困難であることが明らかになった。

また、Juola, Koshino, Warner, McMickell, & Peterson (2000) は、妥当性の異なる 2 種類の手がかりを呈示するタイミングをずらし、手がかりの影響力について年齢差を検討した。結果は、高齢者は周辺手がかりの妥当性が低いにもかかわらず、無視することが困難であった。さらに、この傾向は中心手がかりの後に周辺手がかりが呈示される場合でも示された。

Pratt & Bellomo (1999) は、先行手がかりとして色とオンセットを用いたが、手がかりの妥当性は低いという条件で実験を行った。彼らは、ターゲットが色であるかオンセットであるかによって、手がかりを無視する程度が年齢間で異なるかどうかを調べた。手がかりが色で与えられ、ターゲットも色で定義づけられた条件では、色手がかりへの注意の捕捉が見られたが、年齢間で違いは見られなかった。しかし、手がかりがオンセッ

トで与えられ、ターゲットもオンセットの場合に見られた、オンセット手がかりへの注意の捕捉は高齢者においてより大きかった。このように、注意の捕捉研究においては、高齢者は若年者よりもオンセットのような、外発的に注意を引き付ける刺激を抑制することが困難であると考えられている。

3．眼球運動制御と加齢

3.1　眼球運動制御に関する加齢研究の意義

これまで述べてきた研究は、おおむね眼球運動が伴わない注意の移動に関するものである。しかし、現実には注意が移動した対象に対して眼球運動が生じることが多い。眼球運動を伴う注意移動と眼球運動を伴わない注意移動は、それぞれ Overt orienting と Covert orienting と呼ばれる。人間が何かに視線を向ける時、まず注意が決まった位置へ向かい、それに続いて眼球運動が実行される（Deubel & Schneider, 1996; Peterson, Kramer, & Irwin, 2004）。眼球運動を測定することにより、反応時間だけではわからない実際の注意移動を知ることが可能になる。この点で眼球運動の測定は有意義と考えられる。

また、高齢者の眼球運動の分析は、その行動を理解する際に役立つことも考えられる。神経心理学的研究より、高齢者は前頭葉の形態が変化し、代謝が悪化することがよく知られている（West, 1996）。一方、前頭葉や前頭前野は内発的な眼球運動のプログラムと関係すると考えられているため（Shiller & Sandell, 1983）、高齢者では若年者とは異なる何らかの非効率な目の動きをする可能性が考えられる（Kramer et al., 2001）。さらに、この非効率な眼球運動が、しばしば報告される高齢者の重大な反応の遅れ（Scialfa & Joffe, 1997）の原因の一つとなっているという推測も成り立つ。このように、眼球運動の捕捉について加齢効果を検討することは、高齢者に起こる現実の問題や行動特性について、目の動きから理解し解決することを可能にする。すなわち、高齢化社会に向けて考えるべき交通場面や機器操作などの問題に対する、1 つの大きな情報源になるという点で眼球運動制御に関する加齢研究は意義深い。

3.2　Anti-saccade 課題による検討

Covert attention と同様、眼球運動を伴う Overt attention にも内発的な眼球運動と外発的な眼球運動が想定されており、それらの制御メカニズムについて多くの検討が行われてきた。中でも Anti-saccade 課題は、眼球運動制御を測る課題として代表的なもの

である。

Hallett (1978) によって考案された Anti-saccade 課題では、固視点の左右どちらかに出現するオンセットを周辺視でとらえ、できるだけ速くオンセットとは逆方向にサッケードを行わせる。つまり、オンセットへの反射的な眼球運動を抑制し、それと同時に反対側への意図的な眼球運動を実行しなければならない。多くの場合、現れたオンセットがサッケードのターゲットとなっている Pro-saccade 課題との間で成績が比較されるが、Anti-saccade 課題の方が、誤った方向へのサッケード（サッケードエラー）の数が増加し、サッケードの開始時間（サッケード潜時）が遅くなる。また、意図的な眼球運動制御と関係が深い前頭葉や前頭前野部分を損傷した患者は、Anti-saccade 課題の実行が困難となり、誤ったサッケードやサッケード潜時は健常者よりも大きく増加する（Guitton, Buchtel, & Douglas, 1985; Pierrot-Deseilligny, Rivaud, Gaymard, & Agid, 1991; Rivaud, Muri, Gaymerd, Vermersch, & Pierrot-Deseilligny, 1994）。

一方、前頭葉の形態が変化したり、代謝が悪くなったりして、前頭葉部分が機能的に動かなくなることは、通常の加齢でも見ることができる。つまり、内発的及び外発的眼球運動制御に関する加齢変化を調べるために Anti-saccade 課題は適していると考えられる。Olincy, Ross, Youngd, & Freedman (1997) は、19〜79 歳の実験協力者に Pro-saccade 課題と Anti-saccade 課題を行わせ、各年齢層における成績を段階的に示した。Pro-saccade 課題においても年齢が高くなるにつれて、サッケード潜時やエラー（サッケードターゲットとサッケード終了点とのずれ）の増加は見られたが、Anti-saccade 課題においてその傾向はより顕著であった。また、誤った方向へのサッケードの割合は年齢を経るにつれて大きく増加した。このことから、年齢を経るにつれて反射的なサッケードを抑制することが困難になり、また、その抑制にかかる時間が長くかかるようになると考えられる。

さらに、Butler, Zacks, & Henderson (1999) は、通常の Anti-saccade 課題に方向判断課題を加えた課題を用いて、若年者と高齢者の違いを検討した。結果は、サッケードエラーの数は若年者よりも高齢者の方が多くなったが、サッケード潜時については年齢による反応遅延以上の違いは見いだせなかった。また、サッケードの距離についても比較されたが年齢差は見られなかった。彼らは、方向判断課題が加わったことによる影響を取り除くため、方向判断課題は副次課題であるとして、眼球運動を正確に行うことを優先させる教示を行った。結果は、教示の変化によって高齢者のサッケードエラーが増加する傾向が見られたが、それ以外は大きく変わることはなかった（Figure 1,2）。

また、Nieumenhuis, Ridderinkhof, De Jong, Kok, &Van der Molen (2000)は、高齢

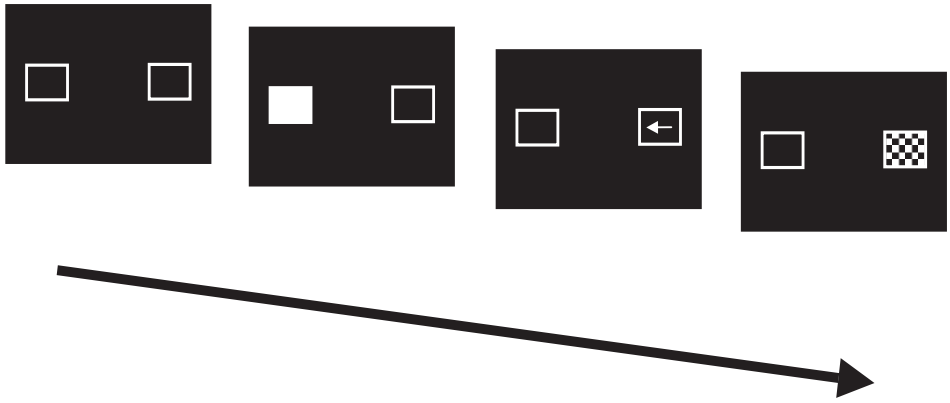

Figure 1. Butler et al. (1999)の Anti-saccade 条件における刺激呈示の一例
実験協力者は Fixation Cross を固視し続け、左右いずれかのボックスが白く変化したら（Onset 画面）直ちに反対側のボックスに視線を動かす。そして、反対側のボックスに呈示される矢印の向きについて左右いずれかを判断しなければならない。
（Butler et al. (1999) をもとに作成）

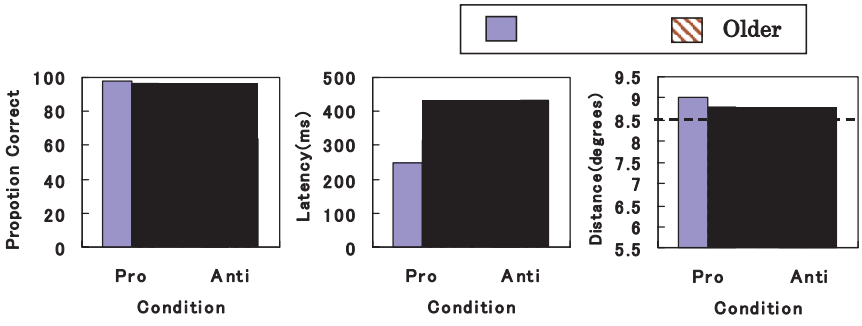

Figure 2. Butler et al. (1999) 実験 2 の結果
左：正サッケードの割合　　中：正サッケード試行におけるサッケード潜時
右：サッケード距離（左右ボックスまでの距離は 8.5°）
（Butler et al. (1999)をもとに作成）

者の Anti-saccade 課題に見られるサッケードエラーが、反射的なサッケードの実行力が強くなっているためなのか、それとも意図的なサッケードの実行力が弱くなっているのかを明らかにしようとした。彼らは、サッケード方向を示す先行手がかりと周辺に呈示されるオンセットの SOA を操作し、加齢効果を調べた。もし、反射的サッケードを実行しやすくなっているならば、間違った方向へサッケードが生じた試行のサッケード潜時は、高齢者において短くなる。一方、意図的サッケードの実行力が弱まっている結果ならば、意図的サッケードの準備を維持する必要があるため、手がかりとオンセット

呈示の SOA が長くなるにつれて、高齢者のサッケードエラーや潜時が増加する。結果は、SOA が長くなるにつれて、Anti-saccade 課題におけるサッケードエラー、サッケード潜時は、高齢者において増加する傾向が明らかになった。エラーサッケード試行のサッケード潜時に年齢差は見いだせなかった。よって、高齢者の眼球運動制御において問題となってくるのが、意図的な内発的サッケードの実行力が弱くなっている点であると考えられる[2)]。

このように、Anti-saccade 課題による研究から得られた結果は、神経心理学的な予測とも一致する。前頭葉や前頭前野は内発的なサッケードと関わりが深いが、反射的なサッケードの実行に関係が強いのは上丘などの中脳領域と考えられている（Shiller & Sandell, 1983）。また、一般的に加齢によって変化を受けやすい脳部位は、中脳領域より前頭葉領域と言われている（Hang & Eggers, 1991）。つまり、意図的サッケードに問題が生じやすい高齢者は、内発的・外発的サッケード実行のバランスが崩れやすいため、Anti-saccade 課題においてサッケードエラーや反応時間が増加することは不思議ではない。

しかし、眼球運動制御を調べるために、Anti-saccade 課題を用いることには欠点もある。1 つはオンセットの常に反対側にサッケードしなければならないという点である。これは、オンセットが常にサッケード方向の手がかりとして機能しうることになる。言い換えると、周辺のオンセットは実行すべきサッケードに対する重要な情報源になっているため、完全に抑制する対象ではない。このことが、高齢者のサッケードエラーを生じやすくさせており、内発的なサッケード能力を過小に評価している可能性も考えられる。もう 1 つは、呈示される刺激の空間的な広がりが左右関係のみとなっている点である。これは、内発的サッケードの実行と外発的サッケードの抑制について、限定的な位置関係しか扱っていないからである。以上の 2 点を考えると、日常的にはこのような状況はまれで、直接現実場面に当てはめて考えられる課題ではない。このため、具体的な場面での問題を解決するために応用していくことには工夫が必要かもしれない。

3.3 Oculomotor capture 課題による検討

Anti-saccade 課題にあげられる問題点を改良して、考案された課題が Oculomotor capture 課題（Oculomotor capture paradigm）である。Theeuwes, Kramer, Hahn, & Irwin (1998)によって始められたこの課題では、固視点から等距離に呈示される 6 ヶ所の円のいずれかに出現するターゲット円へサッケードを行い、円中に呈示されたターゲット文字の向きを弁別することが求められる。また、ターゲットの出現と同時にオンセットディストラクターとして新たな円が加わるが、これを無視して反応することが求められる

(Figure 3)。Oculomotor capture 課題において調べられる対象は、オンセットディストラクターへの反射的なサッケードを抑制し、ターゲットへの意図的なサッケードが正確に素早く行えるかどうかという点で、Anti-saccade 課題の目的と同じである。しかし、“オンセットディストラクターが、ターゲットの出現位置を示す手がかりにならないこと” や、“ターゲットとオンセットディストラクターの空間的な位置関係から、オンセットディストラクターが意図的サッケードに及ぼす影響を調べることが可能” という点で、Anti-saccade 課題とは大きく異なる。つまり、Oculomotor capture 課題では、意図的サッケードを実行する際に無関係な方向への外発的なサッケードはどの程度抑制できるのかという点について、空間的な広がりを考慮した検討が可能になっている。Oculomotor capture 課題で主に測度とされるのは、反応時間及び、サッケードが終了した位置の割合とサッケード潜時である。主な結果として、オンセットディストラクターの出現する条件において、反応時間が遅くなること、第１サッケードの終了点がオンセットディストラクター周辺になること、第１サッケードが正しくターゲットへ向けられた試行でもサッケード潜時の増加が見られることがあげられる。また、興味深い点として実験協力者が事前に"オンセットディストラクターが出現すること"や"それに気づいても無視するように"という教示を受けていたとしても、試行中にオンセットが生じていることに気づくことが少ないことがあげられる。

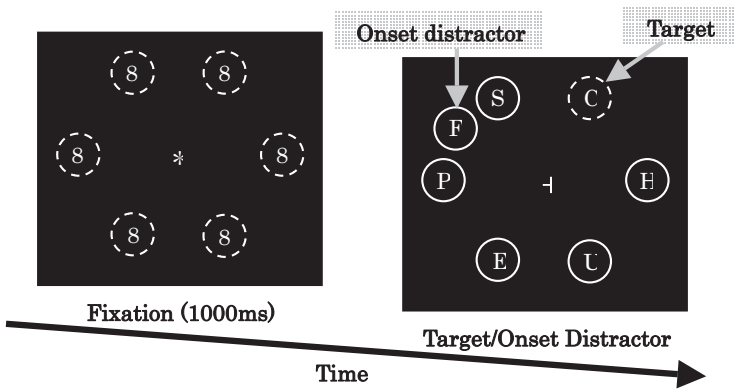

Figure 3. Theeuwes et al. (1998)Exp2.におけるオンセット条件の刺激例
実験協力者は Fixation 画面で固視点を注視し続け、＋に変化してから周辺部分に現れるターゲット C の方向にサッケードを行い、向きを判断しなければならない。文字，固視点は全て灰色、画面上の円の点線は灰色、実線は赤色を示す。Fixation 画面の円内に示された"8"はプレマスクを表している。(Theeuwes et al. (1998)をもとに作成)

Kramer, Hahn, Irwin, & Theeuwes (1999) は、Oculomotor capture 課題を用いて眼球運動制御に関する年齢差の検討を行った。彼らは、オンセットディストラクターとターゲットの位置が近いか遠いかによってオンセットディストラクターの影響が異なるかどうかということに注目した。結果は、オンセットディストラクターがターゲットの近くで生じても遠くで生じても、サッケード終了点がオンセットになる割合に変化は見られず、年齢差も見られなかった。また、反応時間やサッケード潜時についても、高齢者が若年者より反応が遅かったが、ターゲットとオンセットディストラクター間の距離の違いが影響していることはなかった。つまり、ターゲットとオンセットディストラクター間の距離が眼球運動制御に影響することはないこと、その傾向は年齢間で変わらないことが示唆された。

また、Kramer, Hahn, Irwin, & Theeuwes (2000) は、オンセットディストラクターの輝度を変え、目立ちやすさの違いがサッケードに与える影響について年齢差の検討を行った。結果は、反応時間やサッケード潜時については全体的に高齢者の反応が遅かった。しかし、他の刺激と等輝度の task-irrelevant なオンセットディストラクターによる影響については、特に高齢者で大きいということは見られなかった。また、第 1 サッケード終了点がオンセットディストラクター周辺になる割合も 25％程度で年齢差は見られなかった。しかし、オンセットディストラクターの輝度だけを高くし目立ちやすくした場合には、第 1 サッケード終了点に年齢差が現れた。高齢者が 35.9％だったのに対して、若年者は 13.8％と等輝度オンセットディストラクターの場合と比べて、大きく変化した。すなわち、オンセットディストラクターに気づきやすくなったことによって、若年者では無視しやすくなったのに対し、高齢者では無視しにくくなったことを示す。この結果について、Kramer et al. (2000) は、ターゲットへサッケードすることとオンセットディストラクターを無視することという複数の目的をワーキングメモリで保持しなければならないため、ワーキングメモリ容量の減少が指摘される高齢者において、意図的なサッケードがうまく実行できないという悪影響が現れたと解釈している。

Colcombe, Kramer, Irwin, Peterson, Colcombe, & Hahn (2003) は、先のセッションでターゲットであった刺激が、次のセッションにおいて無視すべきディストラクターとなる場合に、ターゲットへの意図的なサッケードについて、年齢間で異なる影響を及ぼすかどうかを検討した。彼らが用いた刺激特性は色とオンセットで、いずれかがターゲット特性の時、もう一方が無視すべきディストラクター特性として定義づけられた。第 1 セッションのターゲットがオンセットの場合、第 2・3 セッションのターゲットは色として、第 1 セッションのターゲットが色の場合は第 2・3 セッションのターゲットはオ

ンセットとして呈示された。第 1 セッションでターゲットだった特性が第 2 セッションではディストラクターになることによって生じる反応の遅れやサッケードエラーの割合（捕捉コスト）に、年齢差は見られるのか、また、その影響は第 3 セッションでは減少しているのか否かということが調べられた。無視すべきディストラクターに対してどの程度の構えが形成されているかということは、捕捉コストを算出することによって知ることができる。結果は、オンセットがディストラクターとして呈示された場合、目がオンセットに捕捉される割合は高かったが年齢差は見られなかった。また、反応時間及びサッケード潜時にも 2 種類のディストラクターによって年齢差が現れることはなかった。このことから、先行するセッションでターゲットであった刺激がディストラクターになることによって形成された構えが、意図的なサッケードに及ぼす影響には年齢差が見られないことが示された。

また、Cassavaugh, Kramer, & Irwin (2003) は、オンセットディストラクターを複数発生させ、その影響について年齢差を検討した。彼らが設けた条件は、ターゲットと同時に呈示されるオンセットディストラクターが 1 つだけの条件（単一オンセット条件）と、2 つが同時に加わる条件（二重オンセット条件）、ターゲットと同時に 1 つ加わり、サッケードが開始されると同時に別の場所にもう 1 つ加わる条件（随伴オンセット条件）であった。まず、反応時間については高齢者の方が若年者より遅かったものの、普遍的遅延（general slowing）によって説明が可能であった。また、オンセットディストラクターへの眼球運動の捕捉率はオンセットの数に関係なく統制条件より多く、年齢差も見出せなかった。しかし、サッケード潜時については、若年者では統制条件と各オンセット条件間で違いが見られなかったのに対して、高齢者の場合はオンセットディストラクターの出現によって潜時が短くなった。この傾向はオンセット数が増えるにつれて大きくなり、高齢者の方が複数のオンセットディストラクターが同時に出現することによって、反応が促進されることが示された。この結果は、オンセットディストラクターの存在が高齢者の眼球運動や反応に明確な不利益を与えることは示さないものの、オンセット数の増加が固視状態の解除を早めることを明らかにしている。

以上、Oculomotor capture 課題による研究をまとめると、Kramer et al. (2000) の高輝度オンセットディストラクター条件以外では、若年者と高齢者の間で反応時間や眼球運動に違いは見られなかった。つまり、反射的なサッケードを抑制して意図的なサッケードを実行する能力に関して、限られた条件に当てはまった時だけ、高齢者の眼球運動に若年者よりも非効率な動きが見られるということになる。今後は、他にどのような条件が高齢者の眼球運動に影響するのか特定していく必要があるだろう。Oculomotor capture

課題では、オンセットディストラクターの位置とターゲットの位置の間に決まった関係はなく、オンセットディストラクターはターゲットの位置を予測させるものではない。このため、Anti-saccade 課題とは異なり、反射的サッケードの抑制と意図的サッケードの実行について、明確に区別して考えることが可能となっている。また、ターゲット及びオンセットディストラクターの呈示位置が決まっていないため、それらの位置関係からの検討も可能になる。よって、Anti-saccade 課題と比較すると、ターゲット・ディストラクターの関係や空間的な広がりという点から、より現実場面における注意移動の問題を検討しやすいと言えるだろう。

3.4　今後の展望

眼球運動制御に関する加齢研究において、Anti-saccade 課題による検討と Oculomotor capture 課題による検討で得られた内容について概観した。いずれの課題においても、反射的なサッケードを抑制し意図的なサッケードを正確に素早く行う能力が測られていることに違いはない。しかし、課題間で得られた結果は同じとは言い難い。Anti-saccade 課題による検討では研究間に多少の違いはあるものの、高齢者において内発的な眼球運動制御に問題があることを指摘している。特に、サッケードエラーの割合は若年者よりも高齢者でかなり多くなり、オンセットへの外発的サッケードを抑制しにくいことが考えられる一方、Oculomotor capture 課題による研究の多くは、内発的なサッケード制御が高齢者において特別に劣っていることを示すものではない。オンセットディストラクターが特別に目立つ時のように、意識的に抑制する必要が出てきた時だけ、高齢者の意図的サッケードを妨害しやすくなる。つまり、Anti-saccade 課題の結果や神経生理学的な予測とは異なり、高齢者は意図的サッケードの制御をある程度は適切に実行することが可能であると考えられる。これは、Oculomotor capture 課題がより眼球運動制御の検討に適した課題であることから考えても、もっともらしい結論に感じられる。

しかし、このパラダイムが新しい点や呈示される刺激数が多く複雑な点、また眼球運動を測定するための非常に精度の高い機材を必要とする点などから、十分な検討が行われているとは考えられない。特に注目すべき点は、Oculomotor capture 課題を用いたほとんどの研究において、ターゲットとオンセットディストラクター間の距離の違いが眼球運動の捕捉率に影響しないという結果を導いていることである（Theeuwes et al., 1998; Kramer et al., 1999; Kramer et al., 2000; Colcombe et al., 2003）。これは当初、眼球運動制御について、内発的なサッケードと外発的なサッケードが同時にプログラムされた場合、プログラム完了にかかる時間が短い外発的なサッケードが先に実行される

ため、オンセットディストラクターへの眼球運動の捕捉という現象が観察されるという解釈（independent horse-race model: Kramer et al., 1999）を支持する結果の一つと考えられていた。しかし近年、内発的なサッケードと外発的なサッケードのプログラムはサッケードマップと呼ばれる部分で統合されるため、2 つのサッケード対象となる位置が近い場合と遠い場合によって、実行されたサッケードの終了点や潜時、及び軌道が異なるものになるとする考え（competitive integration model）が示された（Godijn & Theeuwes, 2002; Theeuwes & Godijn, 2004）。このモデルに従うならば、ターゲットとオンセットディストラクター間の距離が、眼球運動制御に何らかの影響を及ぼすはずである。Godijn & Theeuwes (2002) は、サッケード潜時がターゲットとオンセットディストラクターの距離が近いほど短くなり遠いほど長くなること、また、ターゲットとオンセットの距離が近い場合にはその中間点にサッケードが実行される割合が増えることを示し、2 つの刺激間の距離が眼球運動制御に影響すると主張した。

なぜ、Godijn & Theeuwes (2002) の結果と異なり、2 つのサッケード対象間の距離の影響が、多くの Oculomotor capture 課題における実験結果に現れないのだろうか。その理由として以下の 2 点が考えられる。1 つは、通常の Oculomotor capture 課題ではターゲット文字の弁別が求められるが、Godijn & Theeuwes (2002) では眼球運動の実行のみが求められるという課題の違いである。もし、ターゲット文字の弁別という付加課題の存在が、実験協力者の反応を慎重にしているとすれば、オンセットディストラクターへの眼球運動の捕捉を減少させるかもしれない。Butler et al. (1999) は、Anti-saccade 課題の際にサッケード先に呈示される矢印の方向判断は副次課題であるので、眼球運動を主課題として正確に行うようにと教示したところ、そのような教示がない場合と比較して、高齢者ではサッケードエラーが 10%程度上昇した。つまり、課題のどの側面を高齢者に重視させるかによってサッケードエラーの生じ方が変化してくる可能性がある。

もう 1 つは分析方法の違いである。通常の Oculomotor capture 課題では、反応時間においてターゲットとオンセットディストラクター間の距離の影響が見いだせない場合、その後に行われるサッケード潜時の分析において距離の影響が考慮されることはない。また、距離条件の設定がはじめから少ない場合もあり、2 刺激間の距離について十分な検討が行われているとは言えない。例えば、サッケード潜時についても距離条件ごとに分析をすることや、複数の距離条件を設定することなどによって、詳細な分析を進めなければならないだろう。

以上のように、眼球運動制御における内発的サッケードと外発的サッケードの関係は、

さらに検討が必要である。ここで述べたターゲットとオンセットディストラクター間の距離が及ぼす影響については、特に十分な検討を要する。この点は、眼球運動制御における加齢効果の影響を検討する上でも考慮すべき問題である。

4．まとめ

本稿では、日常的に見られる非意図的な注意移動によって、情報の獲得が非効率的になる現象を取り上げ、注意移動の仕組みや加齢効果について注目した。はじめに、意図的な注意制御が反射的な注意制御によって妨害される“注意の捕捉”が、どのような状況で生じやすいのかについて、眼球運動を伴わない注意移動の研究から考えた。特に突然のオンセットのような新しい物体が視界に出現する事態によって、意図的な注意移動が妨げられやすいことが示された。しかし、刺激が注意を引き付ける強い力を持っていたとしても、予期によって別の位置に注意を集中させていたり、練習を行ったりすることによって無視することが可能になるという報告も見られた。一方で、高齢者は若年者より突然のオンセットのような外発的に注意を捕捉する刺激を無視することが困難であることが示されている。これは、高齢者が若年者より意図的な注意制御に問題を抱えていることを現している。

次に、主に眼球運動を伴う注意移動についての加齢研究を紹介した。この研究は、視線の動きを測定することによって得られているため、眼球運動を伴わない注意移動の研究よりも現実に生じている非意図的な注意移動の動きや仕組み、また加齢の影響やその改善方法について、重要な示唆を与えてくれると考えられる。しかし、眼球運動制御に関する加齢効果は一様ではない。高齢者において、反射的なサッケードを抑制し意図的なサッケードを実行することがより難しいことを示す研究がある一方で、困難の度合いは若年者とあまり変わらないとする結果も数多く存在している。今後は、この不一致が課題に依存したものなのか、やはり眼球運動制御に年齢差は見られないものなのか、についてさらに検討を進める必要がある。

このように、注意制御については、年齢変化があるかどうかについては議論が続いている。しかし、眼球運動が伴うか伴わないかに関わらず、外発的に注意を捉える刺激を無視して内発的な注意移動を実行することは、若年者でもかなり困難な行動であると言える。よって、どのような状況で注意や眼球運動の捕捉が発生するのかとともに、どうすれば減らすことが可能かについて考えることは、年齢に関わらず効率的な行動をするために有益な情報となってくる。例えば、従来から取り上げられているターゲット位置

に対する予期やディストラクターを無視する練習に加えて、注意を向けたい情報と無視しなければならない情報との空間的な関係や課題の複雑さなどを変化させることにより、注意の捕捉の発生率がどのように変化するかを考えなければならない。

また、高齢者が交通場面や機器の操作などを行う際に、非意図的な注意移動によって現実に起こっている問題を考慮した実験を行うことによって、実際場面で生じる危険や非効率性を低減するための示唆を得ることもできるだろう。例えば、日常で起こりうる非意図的な注意移動として、車を運転中に道路脇の街灯や看板の照明など目立つものに視線を向けてしまうことや、駅の券売機やコンビニエンスストアの発券機を利用する際に、必要なボタンではなく目に入ったボタンを押してしまい発券に手間取ってしまうことなどがあげられる。これらの問題を改善するためには、運転者や利用者自身が気をつけるという解決策だけではなく、高齢者の安全性や利便性を増すために、道路整備や機器製作の段階において、どのように照明・看板やボタンを配置すれば非意図的な注意の移動を減らすことが可能かということ、また利用性を高めるために非意図的な注意の移動を利用する可能性について検討することが重要になってくると考えられる。

注

1）空間手がかりパラダイムでは、手がかりの妥当性が操作される。手がかり通りにターゲットが呈示された場合とそうでなかった場合、手がかりが呈示されなかった場合との間で、成績が比較される。利用される手がかりには 2 種類あり、画面中央にターゲット方向を示す矢印などで表される中心手がかりと、画面周辺のターゲット位置付近で点や線が出現する周辺手がかりである。いずれの手がかりを用いても、手がかりが妥当であった場合には、そうでない場合や呈示されない場合よりも成績は良い。しかし、2 つの手がかりの違いは、中心手がかりが top-down 的に制御されるのに対して、周辺手がかりは bottom-up 的に制御される点である。これは、中心手がかりは無視できるにもかかわらず、周辺手がかりを無視するようにと教示しても、手がかりの妥当性の効果が得られる点からも示されている。つまり、2 つの手がかりの特性は、内発的及び外発的注意制御の特徴を反映していると考えることができるため、注意制御研究に利用されることが多い。

2）意図的サッケードの実行力において、若年者と高齢者に違いは見られないとする研究もある。Fischer, Biscaldi, & Gezeck (1997)や Munoz, Broughton, Goldring, & Armstrong (1998)は、Anti-saccade 課題と Pro-saccade 課題における年齢差について検討を行った。しかし、高齢者において反応が遅れる傾向が見られたものの、誤った方向へのサッケードが増加することはなかった。この原因について Kramer et al. (2001)は、Olincy et al. (1997)の実験と比較して、十分な練習が行われたためではないかと述べている。

引用文献

Bacon, W. F., & Egeth, H. E. (1994). Overriding stimulus-driven attentional capture. *Perception & Psychophysics,* **55**, 485-496.

Butler, K. M., Zacks, R. T., & Henderson, J. M. (1999). Suppression of reflexive saccades in younger and older adults: Age comparisons on an antisaccade task. *Memory & Cognition,* **27**, 584-591.

Cassavaugh, N. D., Kramer, A. F., & Irwin, D. E. (2003). Influence of task-irrelevant onset distractors on the visual search performance of young and old adults. *Aging Neuropsychology and Cognition,* **10,** 44-60.

Colcombe, A. M., Kramer, A. F., Irwin, D. E., Peterson, M. S., Colcombe, S., & Hahn, S. (2003). Age-related effects of attentional and oculomotor capture by onsets and color singletons as a function of experience. *Acta Psychologica,* **113,** 205-225.

Deubel, H., & Schneider, W. X. (1996). Saccade target selection and object recognition: Evidence for a common attentional mechanism. *Vision Research,* **36,** 1827-1837.

Fischer, B., Biscaldi, M., & Gezeck, S. (1997). On the development of voluntary and reflexive components in human saccade generation. *Brain Research,* **754,** 285-297.

Folk, C. L., Remington, R. W., & Johnston, J. C. (1992). Involuntary covert orienting is contingent on attentional control settings. Journal of *Experimental Psychology: Human Perception and Performance,* **18,** 1030-1044.

Franconeri, S. L., Hollingworth, A., & Simons, D. J. (2005). Do new objects capture attention? *Psychological Science,* **16,** 275-281.

Godijn, R., & Theeuwes, J. (2002). Programming of endogenous and exogenous saccades: Evidence for a competitive integration model. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance,* **28,** 1039-1054.

Guitton, D., Buchtel, H. A., & Douglas, R. M. (1985) Frontal lobe lesions in man cause difficulties in suppressing reflexive glances and in generating goal-directed saccades. *Experimental Brain Research,* **58,** 455-472.

Hallett, P. E. (1978) Primary and secondary saccades to goals defined by instructions. *Vision Research,* **18,** 1279-1296.

Haug, H., & Eggers, R. (1991). Morphometry of the human cortex cerebri and corpus striatum during aging. *Neurobiology of Aging,* **12,** 336-338.

岩崎祥一・大原貴弘 (2003) 注意の捕捉　*心理学評論,* **46,** 462-481.

Juola, J. F., Koshino, H., Warner, C. B., McMickell, M., & Peterson, M. (2000). Automatic and voluntary control of attention in young and older adults. *American Journal of Psychology,* **113,** 159-178.

Klein, R. M. (2004). On the control of visual orienting. In M. I. Posner (Eds.), *Cognitive neuroscience of attention* (pp. 29-44). New York: Guilford Press.

Kramer, A. F., Scialfa, C. T., Peterson, M. S., & Irwin, D. E. (2001). Attentional capture, attentional control and aging. In C. Folk & B. Gibson (Eds.), *Attraction, Distraction, and Action: Multiple Perspectives on Attentional Capture* (pp.293-322). North-Holland: Elsevier

Science.

Kramer, A. F., Hahn, S., Irwin, D. E., & Theeuwes, J. (2000). Age differences in the control of looking behavior: Do you know where your eyes have been? *Psychological Science,* **11,** 210-217.

Kramer, A.. F., Hahn, S., Irwin, D. E., & Theeuwes, J. (1999). Attentional capture and aging: Implications for visual search performance and oculomotor control. *Psychology & Aging,* **14,** 135-154.

Lincourt, A. E., Folk, C. L., & Hoyer, W. J. (1997). Effects of aging on voluntary and involuntary shifts of attention. *Aging Neuropsychology and Cognition,* **4,** 290-303.

Martin-Emerson, R., & Kramer, A. F. (1997). Offset transients modulate attentional capture by sudden onsets. *Perception & Psychophysics,* **59,** 739-751.

Monoz, D. P., Broughton, J. R., Goldring, J. E., & Armstrong, L. T. (1998). Age-related performance of human subjects on saccadic eye movement task. *Experimental Brain Research,* **121,** 391-400.

Nieuwenhuis, S., Ridderinkhof, K. R., De Jong, R., Kok, A., & Van der Molen, M. W. (2000). Inhibitory inefficiency and failures of intention activation: Age-related decline in the control of saccadic eye movements. *Psychology & Aging,* **15,** 635-647.

Olincy, A., Ross, R. G., Youngd, D. A., & Freedman, R. (1997). Age diminishes performance on an antisaccade eye movement task. *Neurobiology of Aging,* **18,** 483-489.

Pashler, H. (1988). Cross-dimensional interaction and texture segregation. *Perception & Psychophysics,* **43,** 307-318.

Peterson, M. S., Kramer, A. F., & Irwin, D. E. (2004). Covert shifts of attention precede involuntary eye movements. *Perception & Psychophysics,* **66,** 398-405.

Pierrot-Deseilligny, C., Rivaud, S., Gaymard, B., & Agid, Y. (1991). Cortical control of reflexive visually-guided saccades. *Brain,* **114,** 1473-1485.

Pratt, J., & Bellomo, C. N. (1999). Attentional capture in younger and older adults. *Aging Neuropsychology and Cognition,* **6,** 19-31.

Remington, R. W., Johnston, J. C., & Yantis, S. (1992). Involuntary attentional capture by abrupt onsets. *Perception & Psychophysics,* **51,** 279-290.

Rivaud, S., Muri, R. M., Gaymard, B., Vermersch, A. I., & Pierrot-Deseilligny, C. (1994). Eye movement disorders after frontal eye field lesions in humans. *Experimental Brain Research,* **102,** 110-120.

Scialfa, C. T., & Joffe, K. M.（1997）. Age differences in feature and canjunction search: Implications for theories of visual search and generalized slowing. *Aging Neuropsychology and Cognition,* **4,** 227-246.

Shiller, P. H., & Sandell, J. H. (1983). Interactions between visually and electrically elicited saccades before and after superior colliculus and frontal eye field ablations in the rhesus monkey. *Experimental Brain Research,* **49,** 381-392.

Theeuwes, J. (1991). Exogenous and endogenous control of attention: The effect of visual onsets and offsets. *Perception & Psychophysics,* **49,** 83-90.

Theeuwes, J.(1992). Perceptual selectivity for color and form. *Perception & Psychophysics,* **51,**

599-606.

Theeuwes, J. (1994). Stimulus-driven capture and attentional set: Selective search for color and visual abrupt onsets. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance,* **20,** 799-806.

Theeuwes, J., & Godijn, R. (2001). Attentional and oculomotor capture. In C. Folk & B. Gibson (Eds.), *Attraction, Distraction, and Action: Multiple Perspectives on Attentional Capture* (pp.121-149). North-Holland: Elsevier Science.

Theeuwes, J., & Godijn, R. (2004). Inhibition-of-return and oculomotor interference. *Vision Research,* **44,** 1485-1492.

Theeuwes, J., Kramer, A. F., & Kingstone, A. (2004). Attentional capture modulates perceptual sensitivity. *Psychonomic Bulletin & Review,* **11,** 551-554

Theeuwes, J., Kramer, A. F., Hahn, S., & Irwin, D. E. (1998). Our eyes do not always go where we want them to go: Capture of the eyes by new objects. *Psycholigical Science,* **9,** 379-385.

Warner, C. B., Juola, J. F., & Koshino, H. (1990). Voluntary allocation versus automatic capture of visual attention. *Perception & Psychophysics,* **48,** 243-251.

West, R. L. (1996). An application of prefrontal cortex function theory to cognitive aging. *Psychological Bulletin,* **120,** 272-292.

Yantis, S., & Jonides, J. (1984). Abrupt visual onsets and selective attention: Evidence from visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance,* **10,** 601-620.

Yantis, S. & Hillstrom, A. P. (1994). Stimulus-driven attentional capture: Evidence from equiluminant visual objects. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance,* **20,** 95-107.

Yantis, S., & Jonides, J. (1990) Abrupt visual onsets and selective attention:Voluntary versus automatic allocation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance,* **16,** 121-134.

Exogenous and endogenous control of attention and its age-related changes

Miwa TAKAHARA and Kazumitsu SHINOHARA

The purpose of this review is to address the issue of how we control the shift of attention, and the influence of age-related changes on it. In our daily life, we have two forms of attentional shift, which are exogenous and endogenous shift of attention. The former is to guide the attentional shifts, without an observer's intentions. In contrast, the latter is to control the attentional shifts through an observer's intentions. These two kind of attentional shifts permit us to get a broad range of information efficiently.

Firstly, we reviewed the literature of covert attention, which does not involve the eye movements but only shifts of attention. Most studies indicated that the abrupt onset captured attention even if it was task-irrelevant one. In addition, it was more difficult for the elderly to inhibit the distraction of abrupt onset than young people.

Secondly, we examined the control of overt attention involving the eye movement, and its age-related changes. There are two forms of task to investigate the overt shifts of attention; the anti-saccade task and the oculomotor capture paradigm. In anti-saccade task, the participants are instructed to detect the onset presented in the peripheral visual field and move their eyes toward the opposite area of the onset. In general, the results of anti-saccade task revealed that it was harder for old to inhibit reflective saccades toward the onset and to execute intentional saccades toward opposite direction than young.

On the other hand, in the oculomotor capture paradigm, the participants are asked to move their eyes toward the target in peripheral visual field as quickly as possible, even if the onset distracter, that had no information about target location, was presented simultaneously. In contrast with the anti-saccade task, it was shown that most studies have failed to find the age-related changes about oculomotor control, except for the condition that the onset distracter was salient. The characteristic of the oculomotor capture paradigm is that the onset distractor does not appear at the location of a target and that the interval between the onset distracter and the target is not fixed, in comparison with the anti-saccade task.

Finally, we discussed the issue of age-related changes for oculomotor control, which plays an important role in the shift of attention. Recently, a new model of oculomotor control was proposed, that assume an integration on the signals of exogenous and endogenous saccades at a particular area in brain. However, there are some inconsistencies between the prediction of this new model and the result of the oculomotor capture paradigm. So, we pointed to the needs of future research on oculomotor control and its aging. Additionally, we think that consideration about aging of attention and oculomotor control is one of useful tool to resolve the difficulty related to old actually.