HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	衝動性眼球運動の潜時 （反応時間） : とくにexpress saccadeについて
Author(s)	福島, 順子; 八田, 達夫; 松田, 竜幸 他
Citation	北海道大学医療技術短期大学部紀要, 5, 51-60
Issue Date	1992-12
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/37547
Type	departmental bulletin paper
File Information	5_51-60.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

衝動性眼球運動の潜時（反応時間）
―― とくに express saccade について ――

福島　順子・八田　達夫*・松田　竜幸**・井河　　武
大野　靖昭・大橋　光寿・佐藤　公博・高橋　浩史
村上　智樹・吉岡　純子・浅野　葉子*・右近　雅子*
岸上　博俊*・畑山　順子*・細川亜希子*・松浦　由枝*

Latencies of express saccades in humans

Junko Fukushima, Tatsuo Hatta*, Tatsuyuki Matsuda**, Takeshi Ikawa, Yasuaki Ohno, Teruhisa Ohashi, Kimihiro Satoh, Hiroshi Takahashi, Tomoki Murakami, Junko Yoshioka, Youko Asano*, Masako Ukon*, Hirotoshi Kishigami*, Junko Hatakeyama*, Akiko Hosokawa* and Yoshie Matsuura*

Summary

Human subjects were asked to execute saccades from a central fixation point to a peripheral target. When the fixation point was turned off some time before the target onset (gap task), the latencies were shorter than those in the no-gap saccade task. All subjects had a tendency to show the shortest latencies when the gap was 150 or 200 msec. The distribution of the latencies was not bimodal but continuous. Two subjects showed gradual decrease in latencies during the time they repeated the gap saccade task. One of the two subjects showed significantly shorter latencies when they were re-examined. Neither amplitude nor peak velocity were significantly different between saccades in the gap-task and those in the no-gap task.

北海道大学医療技術短期大学部理学療法学科
＊北海道大学医療技術短期大学部作業療法学科
＊＊道央佐藤病院作業療法部
Department of Physical Therapy, College of Medical Technology, Hokkaido University
*Department of Occupational Therapy, College of Medical Technology, Hokkaido University
**Department of Occupational Therapy, Dooh Satoh Hospital

要　　旨

ヒトが周辺視野の視標に対してsaccadeを行う課題において，中心固視点と視標の間にgapを設けると潜時が短縮することが知られておりその早い潜時のsaccadeをexpress saccadeと呼んでいる。今回gapの時間を種々に変化させランダムな順序で行い，次のような結果を得た。(1) gapなしの場合と比べて潜時の短縮がみられ，gapが150－200 msecのとき潜時が最短になる傾向がみられた。(2)潜時の分布は二峰性ではなく連続していた。(3)再検査を行った2例中1例では2回目の潜時が1回目よりも短縮した。(4) gapのある課題を繰り返し行うと前半部よりも後半部に従って潜時が短縮する傾向があった。(5)振幅と最高速度はgapの有無で差はなかった。これらの結果と過去の文献より，中心固視点に対するattentionがgapをおくことによって解除されることが，express saccadeの成因として考えられる。

はじめに

ある視標から別の視標に，最も視力の良好な中心窩を合わせるようにして急速に視線を移動させる眼球運動はsaccadeと呼ばれている。視標が現れてから眼球が動くまでの時間は，反応時間または潜時と言われているが，正常人では約200±50 msecである[1)2)]。

しかしこの潜時は，測定の際の視標の呈示の仕方によって少しずつ異なってくる[3)4)5)6)]。例えば，中心に発光ダイオード(LED)の視標があり，それが一定時間点灯した後消えて周辺の視標が点灯するという場合，被験者は中心の視標から周辺の視標に視線を移す。

その際，図1のように，(1)中心の視標が消えると同時に周辺の視標が点灯する場合と(2)中心の視標が消えてからわずかの時間をおいて(gap)，周辺の視標が点灯する場合とでは，潜時に差があることが知られている[7)]。Saslowは2名の学生を被験者にして実験を行い，gapが200 msec以上あれば，潜時が約50 msec短縮すると報告している。Fischerらは訓練したサルにおいて，150－200 msecのgapを設けた状況下では潜時が約140 msecになるとし，このsaccadeをexpress saccadeと呼んだ[8)]。彼らはサルのほかに[8)9)]，ヒトにおいても[10)]100 msec内外のexpress saccadeと約150 msecのregular saccadeが出現するといっている。しかし，Fischerらの実験ではgapの時間は200 msecに固定されているか，または100, 150, 200 msecのいずれかを連続して行っており，予測によって反応時間が短縮した可能性を否定できない。Gapの時間間隔をランダムに呈示した最近のWenban-Smithらの報告ではexpress saccadeは出現するが，Fischerらのいうように2群に分かれることはなかったという[11)]。このように，express saccadeの潜時については一定の結論は得られていない。

そこで，著者らはgapの時間をランダムな順序で呈示して，express saccadeが出現するかどうか，またその反応時間の分布は2峰性になるかどうか，すなわちWenban-Smithらの結果を確認することを第一の目的とした。また，express saccadeの場合のsaccadeの正確さ(振幅)，速度が，通常のsaccadeと比較してどうかについては，Fischerらの報告では振幅の低いものが多かったという記載があるが[8)]，定量的に調べた報告はない。そこで，第2の目的を，振幅，速度のパラメーターを調べgapの有無について比較することとした。

対象及び方法

被験者は19－39才の男4名，女4名の健康人で，検査について十分説明して同意を得ている。第一回目の検査では，全員が検査前に説明は受けているが特に訓練はしていない初めての被験者である。第二回目に一回目の被験者のうちの男2名の被験者（被験者H，M）について再度

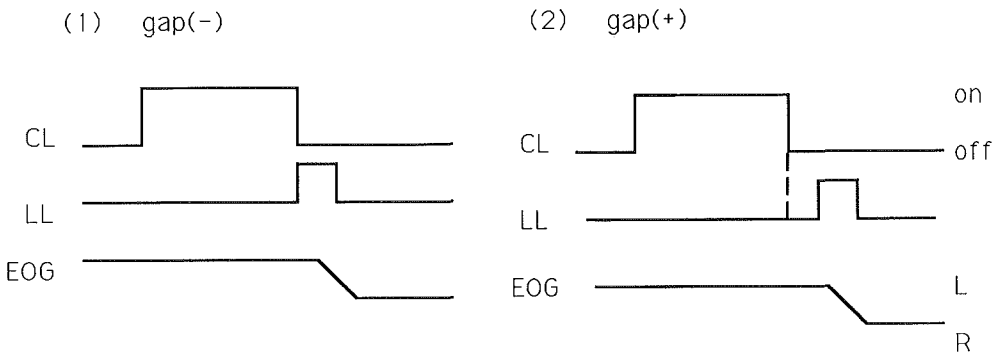

図1 (1) gap(−)：gapなしのsaccade taskと (2) gap(+)：gapありのsaccade taskを模式図で示す。横軸は時間，CL：center light，LL：left light，EOG： electrooculogramによる眼球位置を示す。

検査を行った。

実験設定については，以前に報告した論文を参照されたい[12)13)14)15)]。簡単に記すと，被験者は暗がりで椅子に座り，眼前1mのスクリーン上に呈示される発光ダイオード(LED)を見るように指示される。LEDは中心固視点と左右12度の計3点とし，点灯する時間，間隔はNEC PC 98 VXのパーソナルコンピューターで制御した。眼球運動はelectrooculogram(DC-EOG)により導出し，LED，眼球位置の信号をオムニコーダー（NEC三栄）にてモニターしながら，データレコーダーに記録し，シグナルプロセッサー（NEC三栄）にてoff-line解析を行った。すなわち，個々のsaccadeについて，潜時，振幅，速度を求めた。なお，統計検定にはANOVAを用いた。

課題は，(1) gapなしのsaccade課題では，図1に示すように，中心のLED(center light ; CL)が3－6秒間点灯し，それが消えるとともに右または左のLED(right light ; RL or left light ; LL)が500 msec点灯した。(2)の課題では，CLが同じく3－6秒間点灯し，100，150，200，250 msecのgapが入った後，RLまたはLLが500 msec点灯した。gapの間隔の呈示する順序はランダムとした。被験者は視標をできるだけ正確に早く見るように指示された。

これらの課題を各被験者について各20回ずつ行い，さらにそのうち2名の被験者については(2)の課題を後日360回行った。課題の施行前後にCLとLLまたはRLを交互に正確に見るようにしてEOG記録を較正した。被験者が疲労を訴えたときは適宜休憩を入れた。

結　　果

まず，gapなしの(1)の課題におけるsaccadeの潜時は，全員の結果を集めると図2aに示すような分布をとり，平均±標準偏差は217.1±41.5 msecであった。一方，gapを設けた(2)の場合は，gapが100 msecの場合は図2bに示すように177.0±40.6 msec，150 msec(図2c)では166.3±42.6 msec，200 msec(図2d)では，157.9±52.7 msec，250 msec（図2e）では178.7±48.3 msecであり，gapなしの場合と比較するといずれの場合にも潜時が有意に短縮していた（図3）。しかし，各gapごとの潜時には有意差がなかった。

また，図2a−2eの分布を見ると，gapが200 msec(図2d)の場合には2つのピークをとっているように見える。しかし，その中間の値をとる潜時もあり，完全に2つのピークに分かれた

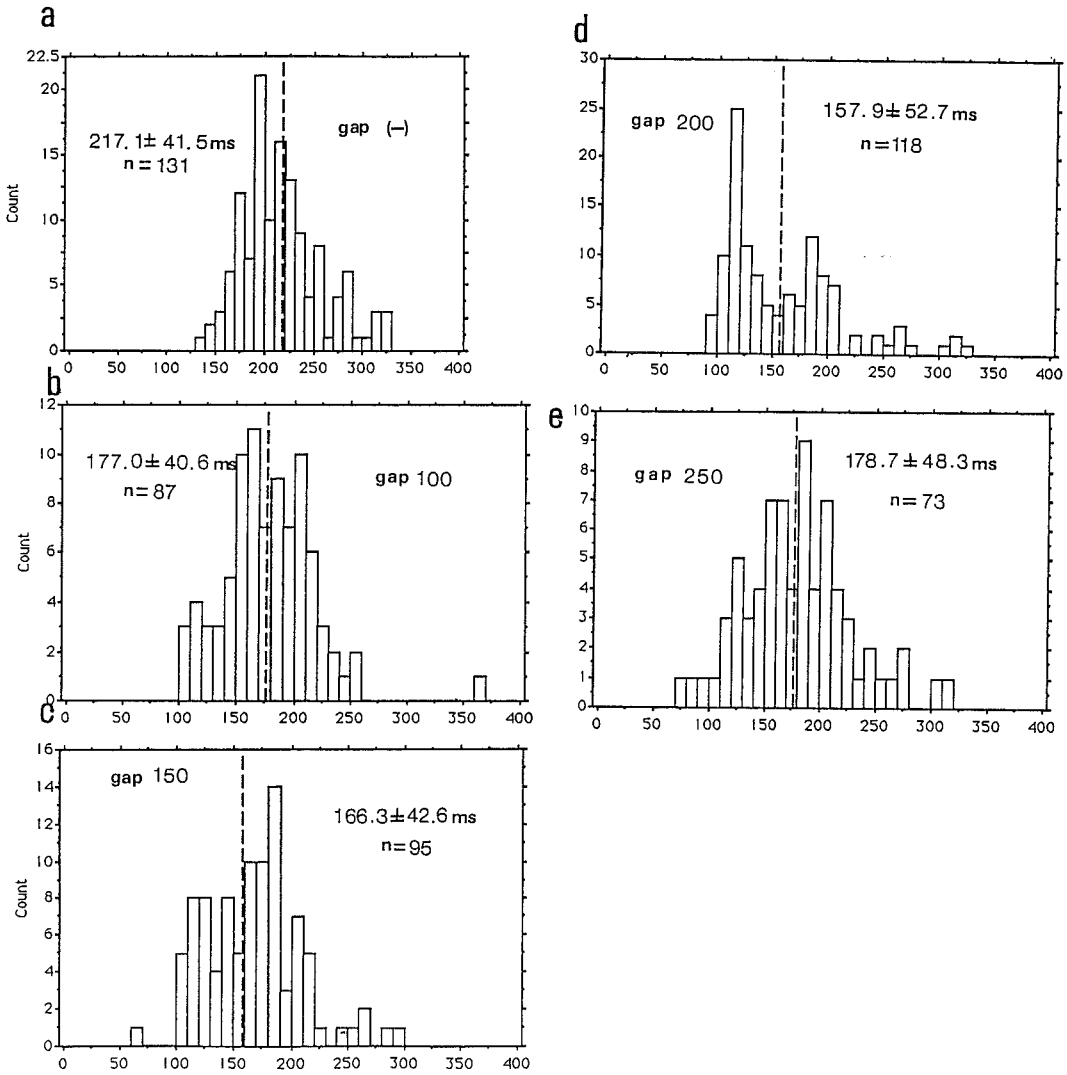

図2　a：gap(−)，b：gap 100 msec，c：gap 150 msec，d：gap 200 msec，e：gap 250 msec の潜時のヒストグラムを示す。横軸は潜時(msec)，縦軸は個数，縦の破線は平均値。

のではなかった。Gap が 100, 150, 250 msec では潜時の分布は明らかに連続しており，二峰性にはならなかった。

個々人ごとに検討した場合には，全員においてgapがない場合とある場合で有意差があったが，gapの長さによって潜時に有意差はなかった。個々人の潜時の分布では，はっきりした二峰性を示した例はなかったが，数が少ないために明かにならなかった可能性もある。そこで，被験者の中の2例において，再検査を行った。その結果は，図4に示すとおり両被験者において異なっていた。被験者Hにおいては，第1回目の結果と比較して，gapが100, 150, 200 msecのいずれにおいても速い成分が増加し有意に短縮が見られたが($p<0.01$)，被験者Mでは第2回目と比較して有意な短縮は見られな

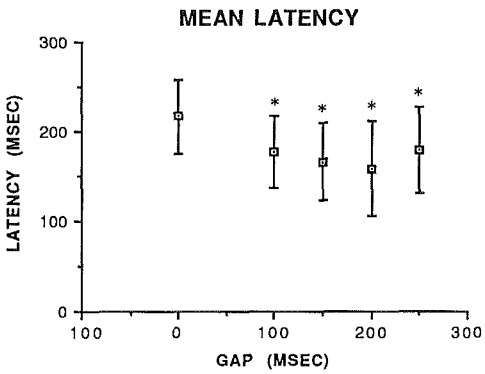

図3　潜時の平均値と標準偏差。＊はp<0.05でギャップなし条件との間に有意差のあったもの。

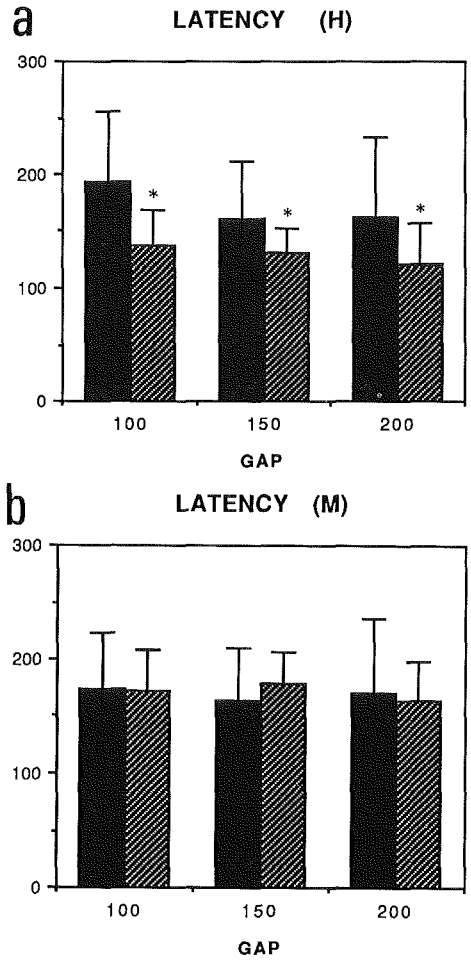

図4　潜時の平均値と標準偏差を第1回目（塗りつぶした棒グラフ）と第2回目（車線のグラフ）で比較した。a.は被検者(H)，b，は被検者(M)。＊はP<0.01.

かった。またその分布も，この2人の被験者では異なっていた。すなわち被験者Hでは，gapが100，150，200 msecのいずれでも120−130 msecの短い潜時のsaccadeのみが見られ，被験者Mでは約150 msecにピークをもち速い成分から遅い成分まで広く見られた。2例ともはっきりとした二峰性の分布とはならなかった（図5）。

次に課題の呈示する順序と関係があるかどうかを調べた。すなわち，360回のうち前半部と後半部では潜時に差があるかどうかをみたのが図6である。これから，前半部にあった遅い成分は後半に行くにつれて少なくなり，回を重ねるごとに潜時が短縮していく傾向が認められた。また，図6aで左右差があるように見えるので，比較してみたところ，被験者Hでは左124.8±20.5 msec，右132.5±35.5 msecと有意に左が短かった（$p<0.05$）。被験者Mでは左168.1±43.2 msec，右169.1±62.7 msecと有意差はなかった。

次にgapの有無によるsaccadeの振幅，速度について調べた結果を述べる。平均振幅はgapありの場合12.4±1.5度，gapなしの場合12.7±1.7度となり，有意差はなかった。ただし，gapのある場合には視標と反対方向を一度見てしまった後で視標を見るというエラーが，2.7%見られたが，gapのない場合には全く見られなかった。

最高速度はgapなしの場合309.7±54.0度/sec，gapありの場合302.8±48.8度/secで，両者の間に有意差はなかった。

考　　察

今回の実験の結果から，100−250 msのgap

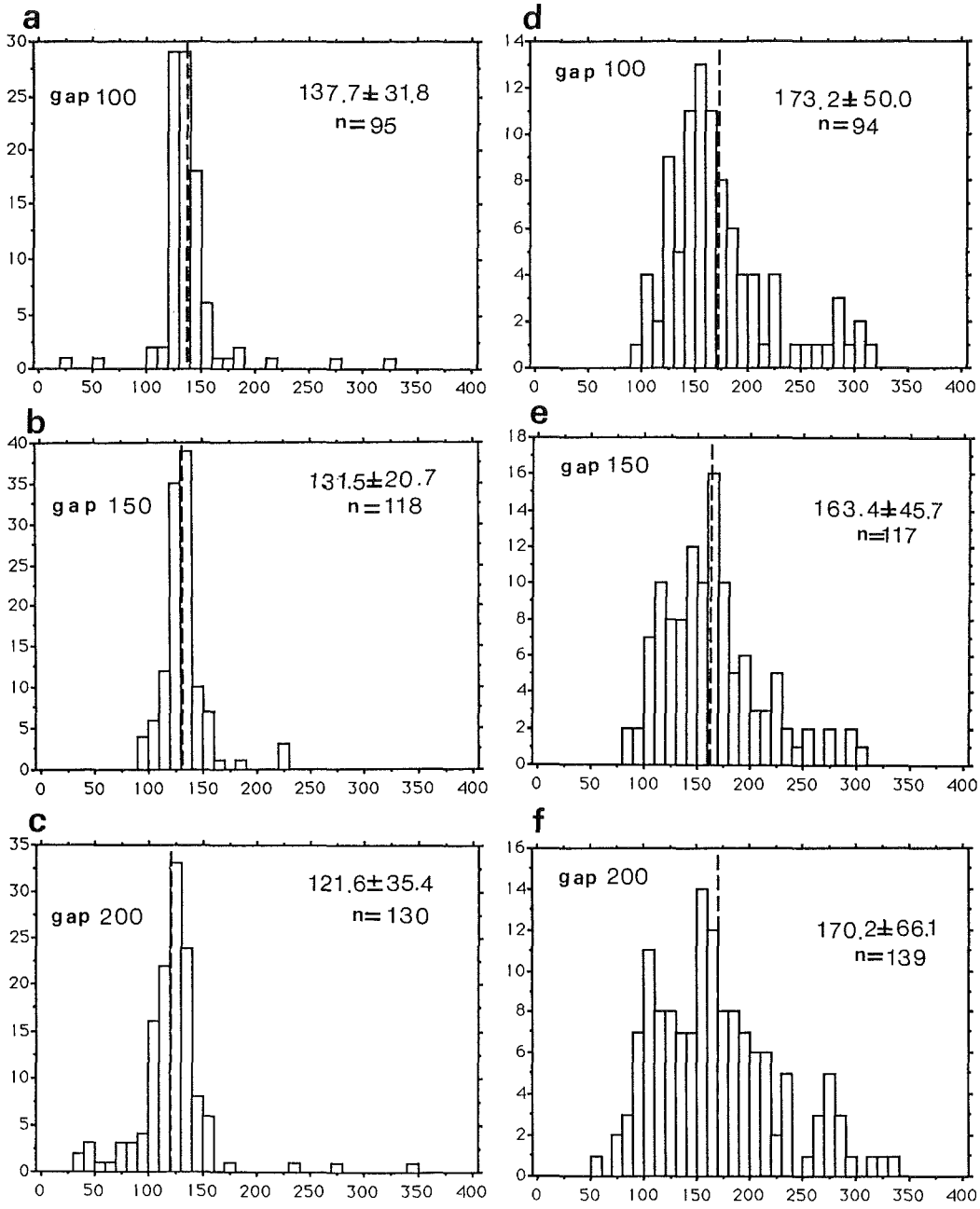

図5　a, dはgap 100 msec, b, eはgap 150 msec, c, fはgap 200 msecのときのa, b, cは被検者(H)の潜時のヒストグラム, d, e, fは被検者(M)の潜時のヒストグラムを各々示す。横軸は潜時(msec), 縦軸は個数, 縦の破線は平均値を示す。

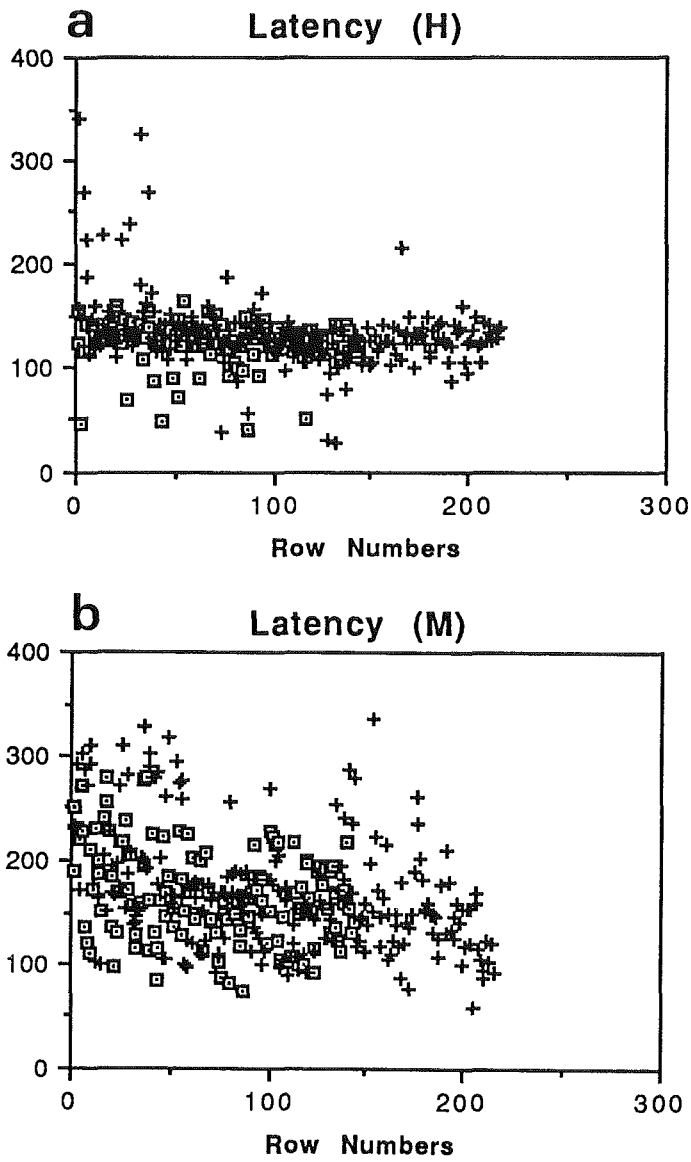

図6　a．は被検者(H)のb．は被検者(M)の潜時を最初の施行から順に横に並べたもの。縦軸は潜時(msec)，四角は左，十字の印は右の施行を示す。

のある場合にはgapの呈示のしかたをランダムにしても，潜時が短縮するということがわかった。すなわちexpress saccadeは視標の出現が時間的に予測できる場合でなくともgapを設けると出現することがわかった。また，潜時の分布を見るとgap 200 msで二峰性であるように見える場合もあったが（図2d），これは6名の結果をまとめた場合にみられたのであっ

て，個々人の成績で見ると二峰性にはならなかった（図5）。これはWenban-Smithらの結果[11]と一致している。被験者Mにおいてもgap 200 msの場合に二峰性に近い分布をとっていたので（図5 f）gap 200 msでそういう分布をとる人もいる可能性はあると思われる。しかし，Wenban-Smithらも指摘しているように被験者によって分布に個人差があった。Fischerらは，saccadeには2つの神経経路があり，express saccadeの場合は通常の潜時のsaccadeとは異なり，視覚刺激が上丘を介して直接burst neuronに情報を与えると推測し，express saccadeはその経路を，regular saccadeはさらに上位の中枢を介する経路によると述べている[8][9]。しかし，本実験のように個々人によって潜時の平均値や分布が異なることと，2つのピークに分かれず連続した分布を取ることは，Fischerらの説よりは個々人によって変動する要素が関係しているという方が考えやすい。また，被験者Hにおいては，第2回目の成績のほうが潜時が短縮していた。このことは，まったく初めてのナイーブな被験者よりも，課題を前もって知っている被験者のほうが，express saccadeが出現し易いし，潜時も短縮するということを示唆している。また，360回連続して（60回ずつ短時間の休憩をいれたが）行った場合には，潜時が前半部よりも後半部で短縮していたことからも，課題を繰り返すことにより潜時がだんだん短縮する傾向があることが示される。従って，express saccadeは回数を重ねて訓練すると潜時が短かくなる可能性がある。実際サルでは訓練を休んだ場合にはそれ以上潜時が短縮しないことが報告されている[16]。

gapの時間による潜時の短縮の程度は，有意差の見られたものはなかったが，第1回目の全体の潜時では200 msのgap，被験者Hでも200 ms，被験者Mでは150 msが最も速い傾向があった。従ってFischerらのいうようにgap 150－200 msが最もexpress saccadeの出現しやすいgapなのかもしれない。

それでは，なぜ適当なgapを設けると潜時が速くなるのであろうか。gapがある場合はcenter lightのoff刺激と視標のon刺激の両方が加わることから，より強い刺激として感じられることが考えられる。すなわちoff刺激がmotor set刺激として作用するという可能性である[17]。しかし，motor set状況として働く場合は，運動準備電位[18]やCNV（contingent negative variation）[19]にみられるように約1秒前からであり，このgapの間隔はそれらに比して短すぎると思われる。

第2に考えられるのはattentionの問題である。中心固視点（center light）が点灯しているときには，それを見続けるように指示されているので，固視のためのattentionが必要とされる。固視とsaccadeとは全く異なる神経制御系が関与しているので，固視の状態からsaccadeへとattentionを移動させなければならない。そのための時間がかかる。Gapがちょうどそのattentionの移動に必要なだけあれば，視標の呈示からの時間（潜時）は効果的に短縮される。Gapがなくてcenter lightのoffと同時に視標がonとなる場合には，その時間がかかる分，視標の呈示からの時間（潜時）は長くなると考えられる。Braunらは，center lightは視標が出てからも持続させ（overlap），視標や固視点とは別にattention のための刺激（attention stimulus）を与えたところcenter lightは点灯したままにもかかわらず，attention stimulusと視標とのgapに対応してexpress saccadeが出現したと報告しており[20]，このことはattentionの移動が原因という考えを支持している。また，saccadeの振幅（正確さ）や最高速度はgapの有無で特に有意差はなかった。このことはexpress saccadeでも正確さや速度は通常のsaccadeと変わらないことを示し，回数を重ねても安定して出現していることが示される。このことgapなしの場合と比べて被験者の疲

労感も自覚的に少なかったことからも，gapがあることによりattentionの移動が容易になったと考えられる。しかし，振幅や速度に関しては，視標の位置を12度ばかりでなくいろいろに変えてみた場合にも正確かどうか検討して見る必要があると思われる。また，gapありの場合にのみ反対方向へのsaccade(error)が少数見られたが，これは360回の後半部にのみ見られた。これはcenter lightのoff刺激に反応したと考えられるもので，回を重ねるに従って予測する傾向が出てくるためと考えられる。

最近，express saccadeを精神分裂病患者に用いてその潜時のピークが患者では対照群と比べて短縮しているとか，二峰性のうち潜時の短いピークしかないという報告[21]があるが，本実験やWenban-Smithらの報告から，対照群においても個人差や経験の差があることや，二峰性とならないことが多いことがわかった。もし仮に分裂病患者でexpress saccadeが出やすいとか潜時が短縮しているということが正しいとすれば，固視を十分に行っていないためにattentionの移動が行われ易いという可能性も考えられる。また，分裂病患者でのexpress saccadeの潜時の左右差についても，正常人で左右差が出ることは本実験でもみられたので，患者の左半球障害と単純に結びつけることはできないと思われる。通常のsaccadeの潜時には正常者でも左右差の見られることが知られている[22]。

いずれにしてもsaccadeの課題においてgapを設けると，健康人においても種々の要素が入ってきて潜時が一定しない。従ってそういう要素を排除するためには通常のsaccadeの課題ではgapを設けないほうが適切であると考えられる。

文　献

1) Leigh RJ and Zee DS : The properties and neural substrate of eye movements, The Neurology of eye movements. 2nd ed. p. 82, 1991, F.A. Davis, Philadelphia.
2) 福島順子：精神分裂病の眼球運動障害，北大医短紀要，2：1－13，1989.
3) Deubel H : Sensory and motor aspects of saccade control. Eur Arch Psychiatr Neurol sci 239 : 17－22, 1989.
4) Doma H and Hallett PE : Dependence of saccadic eye-movements on stimulus luminance and an effect of task. Vision Res 28 : 915－924.
5) Groner R and Groner MT : Attention and eye movement control : An overview. Eur Arch Psychiatr Neurol Sci 239 : 9－16, 1989.
6) Ross SM and Ross LE : Children's and adults' predictive saccades to square wave targets. Vision Res 27 : 2177－2180, 1987.
7) Saslow MG : Effects of components of displacement step stimuli upon latency for saccadic eye movements. J opt soc Am. 57 : 1024－1029, 1967.
8) Fischer B and Boch R : Saccadic eye movements after extremely short reaction times in the monkey, Brain Res 260 : 21－26, 1983.
9) Boch R and Fischer B : Further observations on the occurrence of express-saccades in the monkey, Exp Brain Res 63 : 487－494, 1986.
10) Fischer B and Ramsperger E : Human express saccades : extremely short reaction times of goal directed eye movements, Exp Brain Res 57 : 191－195, 1984.
11) Wenban-Smith MG and Findlay JM : Express saccades : Is there a separate population in humans, Exp Brain Res 87 : 218－222, 1991.
12) Fukushima J, Fukushima K, Chiba T et al : Disturbances of voluntary control of saccadic eye movements in schizophrenic patients. Biol Psychiatry, 23 : 670－677, 1988.
13) Fukushima J, Fukushima K, Kato M et al : Voluntary control of saccades in schizophrenic and affective disorders. J Psychiatr Res 24 : 9－24, 1990.
14) Fukushima J, Fukushima K, Morita N et al : Further analysis of the control of voluntary

saccadic eye movements in schizophrenic patients. Biol Psychiatry 28 : 943－958, 1990.
15) 八田達夫, 福島順子, 山田孝：健常児を対象とした衝動性眼球運動の定量的解析, 北大医短紀要　3 ：45－52, 1990.
16) Boch R and Fischer B : Further observations on the occurrence of express-saccades in the monkey. Exp Brain Res. 63 : 487－494, 1986.
17) Tanji J and Evarts EV : Anticipatory activity of motor cortex neurons in relation to direction of an intended movement. J Neurophysiol. 1062－1068, 1976.
18) Kornhuber HH and Deeke L : Hirn-potentialänderungen bei Willkür-bewegungen und passiven Bewegungen des Menschen : Bereitschaftpotential und reafferente Potentiale. Arch Ges Physiol. 284 : 1－17, 1965.
19) Walter WG, Cooper R, Aldridge VJ et al. : Contingent negative variation : an electric sign of sensorimotor association and expectancy in the human brain. Nature 203 : 380－384, 1964.
20) Braun D and Breitmeyer BG : Relationship between directed visual attention and saccadic reaction times. Exp Brain Res 73 : 546－552, 1988.
21) Matsue Y, Goto Y, Saito H et al : Pursuit eye movement dysfunction and disinhibition of saccades in schizophrenia. Biol Psychiatry 29 : 383S, 1991.
22) Pirozzolo F and Rayner K : Handedness, hemispheric specialization and saccadic eye movement latencies. Neuropsychologia 18 : 225－229, 1979.