HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	健常児を対象とした衝動性眼球運動における警告刺激の影響
Author(s)	八田, 達夫; 福島, 順子; 寺門, 佳子
Citation	北海道大学医療技術短期大学部紀要, 4, 97-104
Issue Date	1991-12
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/37536
Type	departmental bulletin paper
File Information	4_97-104.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

健常児を対象とした衝動性眼球運動における警告刺激の影響

八田　達夫・福島　順子・寺門　佳子

The effect of warning stimulus on saccadic eye movement in children

Tatsuo Hatta, Junko Fukushima*, and Yoshiko Terakado**

Summary

We examined the effect of warning signals on visually guided saccade task in 12normal children (7-10 years old) and 5 adult controls (20－38 years old). The warning signal was given by a buzzertone 300msec or 600msec before the visual target was presented. There was no significant difference in amplitude and peak velocity of saccades of children with or without the warning signal. The latencies of visually guided saccades with the warning signal were significantly shorter than those without the warning signal, and they reached adult's level. These results suggest that the warning signal given by auditory stimulation improved children's attention and that the resulting change in "motor set" decreased latencies of visually guided saccades in children.

要　　旨

衝動性眼球運動（サッケード）に及ぼす警告刺激の影響を12人の健常児（7才－10才）と5人の成人（20才－38才）を対象として調べた。警告刺激はブザー音による聴覚刺激で，視標の呈示される600 ms前と300 ms前に与えた。サッケードの振幅と速度は警告刺激の有無で差はなかった。しかし，潜時は警告刺激によって有意に短縮し，成人と同じレベルに達した。

これらの結果から警告刺激は子供の注意を喚起し，motor set状況を形成すると考えられた。

はじめに

Robinsonは1968年に視標を追跡する眼球運動には4つの下位システムがあることを明かにし，その1つとしてサッケードをあげている。サッケードは突然視野の中に現れた視標に対して急速に眼球を動かす運動である（Robinson 1968）。

子供では運動開始までの時間，すなわち，潜時が，成人に比較し延長することが知られ，サッケードには神経系の発達と成熟が反映されると考えられる（Cohen and Ross 1977, 1978 ; Groll

北海道大学医療技術短期大学部作業療法学科
＊北海道大学医療技術短期大学部理学療法学科
＊＊北海道大学医学部附属病院理学療法部
Department of Occupational Therapy, College of Medical Technology, Hokkaido University
＊ Department of Physical Therapy, College of Medical Technology, Hokkaido University
＊＊ Department of Physical Therapy, Hokkaido University Hospital

and Ross 1982)。4才から11才までを対象とした我々の研究においても，同様の結果が得られた(八田ら，1990)。その後，更に年齢層を広げ，13才まで調べたところ，年齢の増加に従い潜時は短縮する傾向にあり，6－7才間と11－12才間において有意な差で短縮し，13才で成人と等しくなった(八田ら，1991印刷中)。すなわち子供ではサッケードの振幅，速度は成人と変わらないが，潜時は成人より延長する。これらの結果は，認知，視知覚などに障害を持つ小児の眼球運動検査を評価する基準となるだろう。臨床評価の場面では，子供は遂行に関しては正確にできること，また開始までの反応時間が遅れることなどが考慮されなければならないことが示された。

子供の潜時が長いという理由には種々の要因が考えられる。我々の研究では，固視がきちんとできたもの，振幅が正確で潜時が極端に遅れていないもののみをデータとして採用したので，採用したデータにおいては十分に課題を理解して行っており，少なくとも理解や協力が悪かったためではないと思われる。

潜時延長の理由には，視覚情報処理や運動プログラムをつくる機能の未成熟などが関連し，このことが脳内の伝導伝達時間の延長をきたしたためと推定することができる。しかし，子供では注意の集中が成人よりも劣ると考えられるので，これらの経路は十分に成熟しているにもかかわらず，その経路を作動させるための注意や準備状態を作る機能が未熟であるために潜時が延長している可能性もある。そこで，潜時の延長に対して注意や準備状態がどの程度関与しているかを検討することを目的として，注意をさらに喚起する条件下で潜時が短縮するかどうかを調べてみた。この結果は，子供を対象とする検査評価の方法や，反応時間の遅れる子供の治療訓練に関して，示唆を与えるものと考えられる。

方　　法

実験1．ブザー課題(DL課題，DS課題，DN課題)

対象

被験者は知能，学習，日常生活上問題のない健康な子供12名（男子6名，女子6名）で，札幌市在住の小学生であった。年齢は7－10才であった。図1に示すように，我々の研究結果によると，この7－10才の年齢層では年齢間でサッケードの潜時に差が見られず，6才よりは短縮するが，12才よりは延長していた（八田1991印刷中)。実験への参加については全員の保護者と子供から承諾を得た。対照群は20才から38才の成人5名であった。全被験者とも健康状態は良好で睡眠薬や鎮静剤などの服薬はしていなかった。全員が十分に覚醒し，課題を理解し実験に協力的であった。測定にあたって不安をとりのぞき，各課題の試行ごとに休憩をいれた。

手続き

図2のように，被験者を暗がりで椅子に座らせ，眼前1ｍのスクリーン上に，赤の発光ダイオード（LED）の視標を提示した。視標は7個

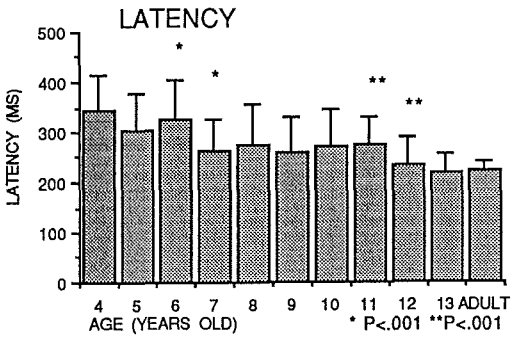

図1　4才から13才まで各年齢ごとにサッケードの潜時を示す。縦軸は潜時を示す。年齢とともに潜時は減少する傾向にあるが，6－7才の間と11－12才の間では有意な差で短縮が見られた。7才から11才の年齢間では差がなかった。

からなり，中心と左右の12度，8度，24度の位置にあった。測定は各角度ごとに行なった。警告刺激としてブザーを被験者の頭の正中線上5 cmの位置においた。今回は，注意を喚起するためブザーによる聴覚刺激を使った。聴覚刺激は他の感覚刺激よりも反応潜時が約150 msと短く，実験環境にも適しているために用いた。

被験者には中心のLEDが点灯している間はそれを注視し続け，中心が消え左右どちらかが点灯するとすばやくそれをみるように指示した。中心のLEDは4－6 sec点灯し，それが消えると同時に右または左のLEDが500 msec点灯した。試行中にブザーのある場合とない場合があり，このブザーの有無はランダムとした。被験者にこのことを教えておいた。

ブザーのいれ方について図3に示すように以下の3種類を設定した。1）1 msec持続して鳴るブザー音を左右どちらかの視標が点灯する600 ms前にいれる（DL課題）。2）1 msec持続して鳴るブザー音を左右どちらかの視標が点灯する300 ms前にいれる（DS課題）。3）ブザー音をいれない（DN課題）。

DL課題，DS課題はブザーを視標提示前に与える課題であり，DN課題は，逆に視標提示前にブザーを与えない課題である。つまり，DL課題とDS課題は注意を喚起する課題で，DN課題はブザーを予測させないためにいれたブザーなしの課題である。これら3種類の課題を7回づつランダムに組合せ，合計21回を12度，8度，24度の角度ごとに行なった。

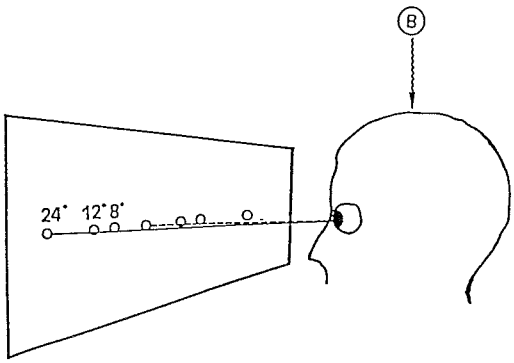

図2　視標の提示方法とブザーの位置を示す。視標は被検者の1 m前のスクリーン上にある。視標は中心と左右の8，12，24度の位置にある。ブザー（B）は被験者の頭上5 cmにある。

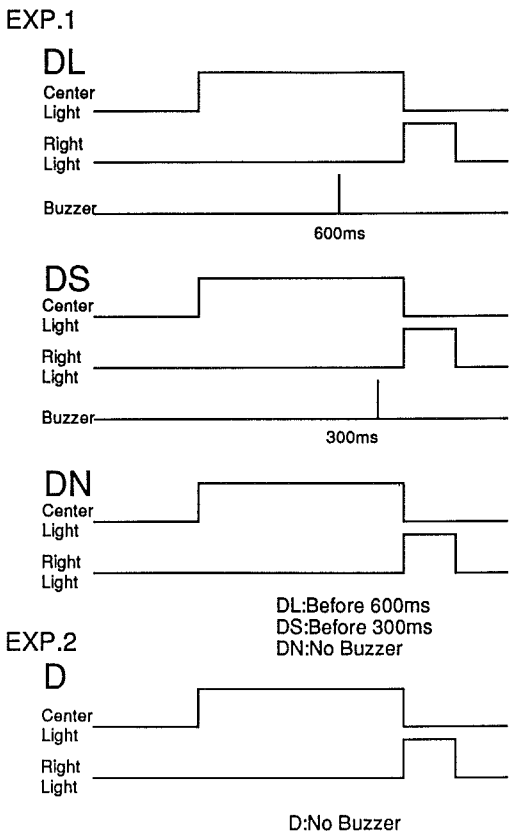

図3　DL課題，DS課題，DN課題，D課題の方法を示す。各課題における，上段のCenter Lightは中心の視標を示す。中段のRight Lightは右側の視標を提示した場合を示す。DL課題，DS課題における下段のBuzzerはブザーを入れる時間を示す。ブザーの持続時間は1 msである。DL課題では左右の視標が点灯する600 ms前にブザーをいれ，DS課題では左右の視標が点灯する300 ms前にブザーをいれる。DN課題ではブザーをいれない。DL課題，DS課題，DN課題を各7回づつランダムに組み合わせ，実験1とした。ブザーをいれないD課題を別にして実験2とした。

実験２．ノーブザー課題（D課題）

対象

実験１と同じ被験者である。

手続き

実験環境及び視標の提示方法は実験１と同じである。しかし，本実験では全試行でブザー音を与えない，視覚刺激のみによるサッケードを測定した(D課題)。D課題は実験１のDL課題，DS課題，DN課題の対照として行った。D課号は12度，８度，24度ごとに10回づつ行った。従って，ブザーを与えない試行は，実験１でブザーの有無を予測させないためのDN課題と実験２の対照群としてのD課題の２種類がある。

実験１，実験２ともEOG（Electro-oculogram）は眼窩外側に付けた表面電極からD.C.または時定数10秒のA.C.にて記録した。頭の固定は行っていないが頸部を動かしていないことを注意深く観察し，確認した。EOG，LED，ブザーの信号はペンレコーダに出力し，同時にデータレコーダにも記録した。眼球の位置信号から速度を得るため微分回路（sample clock 10 ms）を用いた。データレコーダの記録からシグナルプロセッサ７T17（NEC三栄）にて，サッケードの潜時(latency)，振幅(amplitude)，最高速度（peak velocity）を測定した。図４は，ブザー音を右の視標の600 ms前に与えたDL課題の場合を例示している。

各課題ごとの平均値と標準偏差を求め，統計学的検定にはANOVAを用いた。

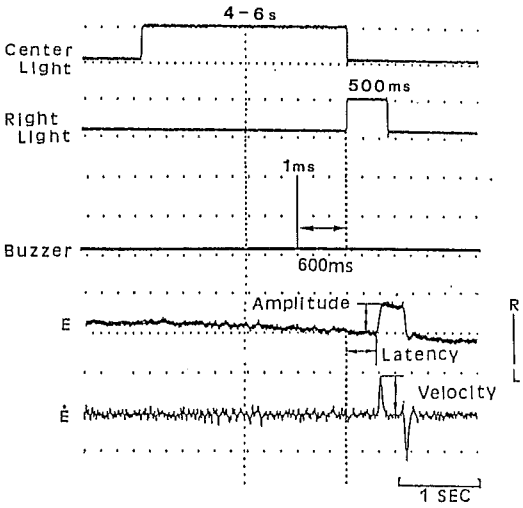

図４　DL課題における一例を示す。ブザーは視標の提示の600 ms前にいれている。EOGの波形からAmplitude(振幅)，Latency(潜時）を求め，微分波形からPeak Velocity（速度）を求めた。

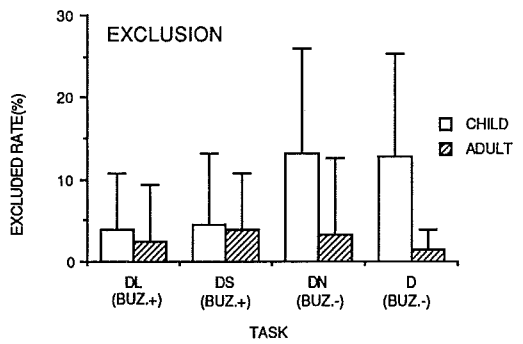

図５　データから除外した率を各課題ごとに示す。縦軸は除外したサッケードの回数の全体の試行に対する百分率を示す。白抜きは子供で斜線は成人である。子供ではDN課題，D課題に比較し，DL課題，DS課題で有意（P＜.05）な低下をし，成人と同じレベルとなった。成人では各課題ごとで差が見られない。

結　　果

視標提示後の中心固視点の固視状態が悪いもの，潜時または振幅がそれぞれの課題の全体の平均値の±２ＳＤ以上逸脱するものを除外した。図５に除外した率を示す。子供において，ブザーのあるDL課題，DS課題において，ブザーのないDN課題，D課題よりも除外した率が有意に低下した（$F(3,134)=8,135$　$P<.05$）。成人ではDL課題，DS課題，DN課題，D課題の間で差はみられなかった。

ブザーのはいらないDN課題，D課題におい

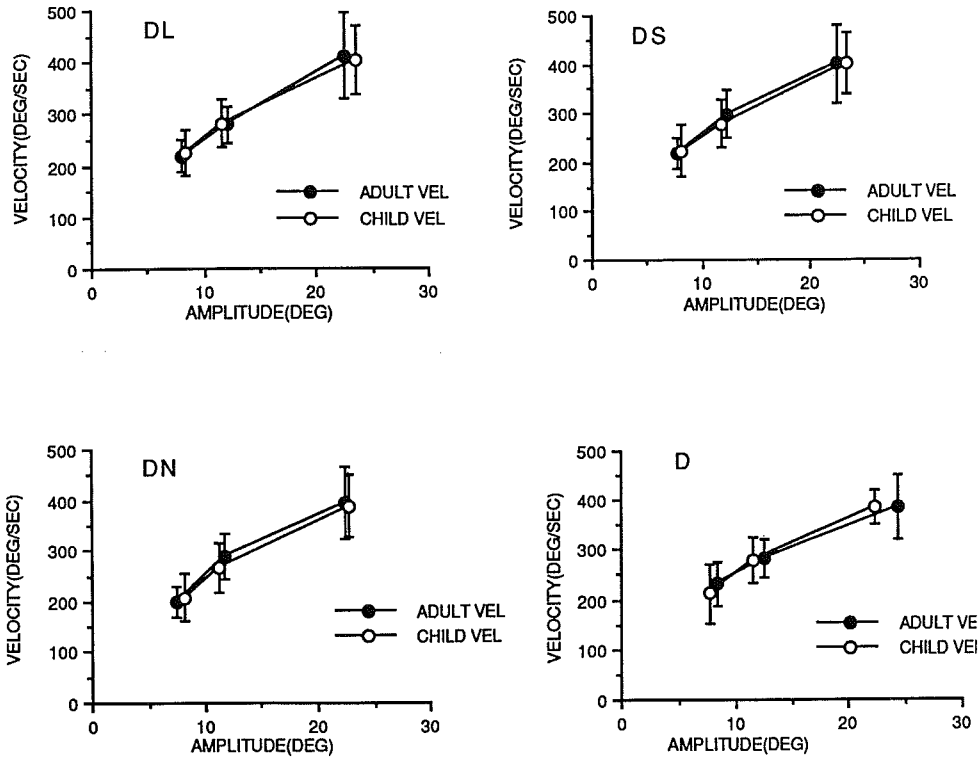

図6　課題ごとにサッケードの振幅と速度の関係を示す。横軸は振幅を示し，縦軸は速度を示す。白丸は子供で黒丸は成人である。子供，成人とも振幅の増加にともない速度も増加し，振幅と速度の関係はよく保たれている。

て子供と成人を比較すると，子供では有意（$F(3.92)=6,183$　$P<.05$）に除外した率が高かった。一方，ブザーのあるDL課題とDS課題の間に子供と成人の間に差がなかった。従って，子供ではブザーがある課題では除外率が成人と同じレベルになったことになる。

また，視覚刺激で初めてサッケードを行う課題であるにもかかわらず，警告刺激に反応してしまうこともあり，これをdistractibility errorとする。子供では明らかにdistractibility errorと思われるものは，DL課題では11.5%，DS課題では5.8%みられた。それに対し，成人ではdistractibility errorは全く見られなかった。これらのdistractibility errorも解析対象から除いた。

これらの基準を満たしたサッケードの速度と振幅の関係を図6に示す。速度は振幅に応じて増加するのであるが，この速度と振幅の関係は，子供も成人と同様に，DL課題，DS課題，DN課題，D課題のすべてにおいて，保たれていた。

図7にサッケードにおける振幅の平均値と標準偏差を示す。子供においては，DL課題，DS課題，DN課題，D課題の間で振幅に差は見られなかった。成人では24度のDL課題，DS課題，DN課題でD課題に比べて振幅が小さくなっていた。12度，8度ではDL課題，DS課題，DN課題，D課題で差はみられなかった。次に子供と成人を比較すると，24度のD課題で成人と比

べて振幅が有意に小さかったが，他の課題では差が見られなかった。

図8にサッケードにおける速度の平均値と標準偏差を示す。子供，成人とも，DL課題，DS課題，DN課題，D課題それぞれの間で有意差は見られなかった。

8，12，24度のサッケードの潜時を併せて各課題毎にまとめたのが図9である。子供の平均値は，ブザーのあるDL課題で199 ms，DS課題で208 ms，ブザーのないDN課題で247 ms，D課題で264 msであった。DL課題，DS課題はDN課題，D課題に比較し，有意（$F(3,957)=72.108$　$P<.01$）に潜時が短縮した。一方成人は，DL課題で202 ms，DS課題で203 ms，DN課題で254 ms，D課題で213 msであった。DL課題，DS課題はD課題に比較し有意差はないが，短縮する傾向を示した。DN課題はDL課題，DS課題に比べ有意（$F(3,553)=26,922$ $P<.01$）に延長していた。

DL課題，DS課題，DN課題で子供と成人を比較すると差がなかった。従って，子供では，実験1のブザー課題（DL，DS）では，成人と同じレベルに達した。しかし実験2のD課題では子供は成人に比べて潜時が有意に延長していた。

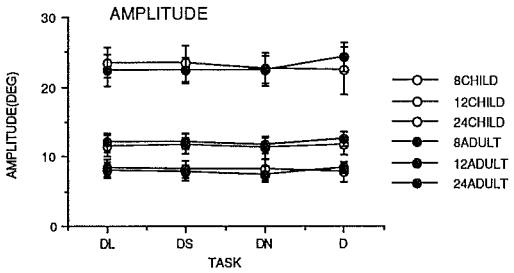

図7　子供と成人における衝動性眼球運動の振幅を各課題ごとに示す。縦軸は振幅を示す。白丸は子供で黒丸は成人である。子供では各課題の間で差はなかった。成人は24度におけるDL課題，DS課題，DN課題で振幅が小さかった。

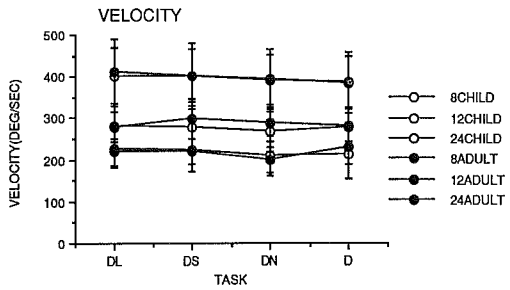

図8　子供と成人におけるサッケードの最高速度の平均値を課題ごとに示す。白丸は子供で黒丸は成人である。子供，成人ともに差は見られなかった。

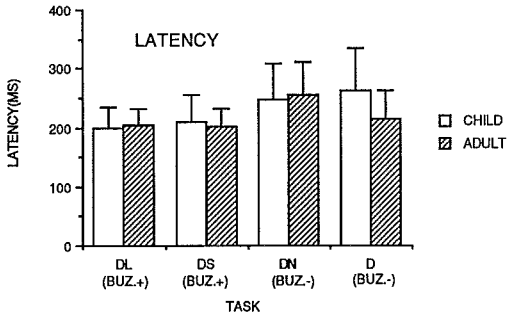

図9　子供と成人におけるサッケードの潜時を各課題ごとに示す。縦軸は潜時を示す。白丸は子供で斜線は成人である。子供におけるDL課題，DS課題ではDN課題，D課題に比較し有意に潜時が短縮し，成人と同じレベルとなった。成人ではDL課題，DS課題はD課題より短縮する傾向があった。DN課題では有意に延長した。子供，成人ともDL課題とDS課題の差はなかった。

考　　察

今回の実験データの中から，まず中心固視の悪いもの，サッケードの振幅，潜時が著しく逸脱したものを除外したが，除外の率は，子供ではブザーのあるDL課題，DS課題では成人のレベルまで下がり，サッケードの正確性が向上することがわかった。このことは，子供では成人とは異なり，視覚刺激のみの場合よりも警告刺激を追加することによって成績が改善するこ

とを示している。

子供では，警告刺激に対してサッケードをしてしまう distractibility error の割合が，成人よりも多かったが，このことは注意の持続の困難性と関連しているであろう。一方，データのなかで，警告刺激に対してサッケードを行ったものを視覚刺激に対するサッケードと誤って採用した可能性は，視覚刺激は左右ランダムに出現することから，否定できると思われる。警告刺激に応答した場合はサッケードの振幅，方向が決っていないのでたらめになってしまうので区別できる。

子供では，サッケードの振幅，速度に差は見られなかった。以前報告したように，振幅，速度は4才の子供においても成人と変わらず，早期に成熟が起こっていると推定された（八田ら 1990）。また，ブザーの影響を受けなかったことから，被験者が十分協力的で，眠気などはなくきちんと課題を行っていることが示された。これは今回採用したデータが信頼できることを示す（Bon and Lucchetti 1988）。

それに対してサッケードの潜時は，子供においては，ブザーのある課題（DL 課題，DS 課題）と，ブザーのない課題（DN 課題，D 課題）では著明な差を示し，ブザー課題（DL 課題，DS 課題）では子供と成人の差が見られなくなった。すなわち，ブザー課題において子供は成人と等しい能力を発揮した。このことは，子供では視覚刺激単独よりも，警告刺激をその前に加えることによって注意が喚起され準備状態を作ったためと推定される。成人ではブザーのある DL 課題，DS 課題とブザーのない D 課題の間で有意差はなかったが，やはりブザーのある方が短縮する傾向はみられた。

従って，このことは手の随意運動における motor set 状況（すなわち運動開始のヨーイドンのヨーイ）があるかないかによってサッケードの潜時が影響を受けるという従来の報告を考えると矛盾しない（Tanji and Evartz 1976；Wise and Mauritz 1985）。ただ，サッケードの場合は手の運動と異なり，反射性の要素が強いので（Guitton et al. 1985, Fukushima et al. 1988），成人においてはこの潜時の短縮効果が著明でなかったものと思われる。

以上より今回の被検者である 7－10 才の年齢の子供の潜時に関しては，もし motor set 状況さえ形成されれば成人と同様になることがわかった。前回の研究で，サッケードの速度は子供と成人で差がなかったことから，サッケードの遂行過程（脳幹バーストニューロン以下）は4才で十分成熟していると考えられた。一方，潜時に差がみられたことから，視覚情報処理，運動プログラムなどに関与する経路の未熟性が考えられたが，今回の結果から，視覚情報処理，運動プログラムを含めたサッケードに関与する経路全体の成熟は完了していると考えられる。ただし，その経路を作動させるための注意，準備に関する領域または経路が未熟であると考えられる。そこで，今回のように警告刺激を前もって与えるような準備状況を作ることによって，サッケードの経路がうまく作動され，成人と等しいレベルになったと考えられる。

成人において，DN 課題では D 課題よりも潜時が有意に延長したのは，ブザーのある課題の中に入り込んできたブザーのない課題（DN 課題）ということで，混乱を生じたためと考えられる。成人においては，課題遂行の際，予測が入る割合が子供よりも大きいと思われるので，予測を裏切る場合（DN 課題）では混乱をきたしたため，潜時が延長したと思われる。

子供を対象とする検査評価では motor set 状況の有無で結果が異なる場合のあること，また反応時間の遅れる子供に対しては motor set 状況を与えることが感覚運動訓練の方法において有効であろうとの示唆が得られた。

文　献

1. Bon, L. and Luchetti C. The motor programs of monkey's saccades: An attentional hypothesis. Exp Brain Res 71 : 199－207, 1988.
2. Cohen, M.E. and Ross, L.E. Saccade latency in children and adults : effects of warning interval and target eccentricity. J Exp Child Psychology, 23 : 539－549, 1977.
3. Cohen, M.E. and Ross, L.E. Latency and accuracy characteristics of saccades and corrective saccades in children and adults. J Exp Chils Psychology, 26 : 517－527, 1978.
4. Fukushima, J., Fukushima, K., Chiba, T., Tanaka, S., Yamashita, I., and Kato, M Disturbances of voluntary control of saccadic eye movements in schizophrenic patients. Biol Psychiatry 23 : 670－677, 1988.
5. Groll, S.L. and Ross, L.E. Saccadic eye movements of children and adults to double -step stimuli. Develop Psychology, 16, 108－123, 1982.
6. Guitton, D., Buchtel, H.A., and Douglas, R.M. Frontal lobe lesions in man cause difficulties in suppressing reflexive glances and in generating goal-directed saccades. Exp Brain Res 58 : 455－472, 1985.
7. 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．北海道大学医療技術短期大学部紀要　3 : 39－44, 1990.
8. 八田達夫，福島順子，森田伸行，寺門佳子，山田　孝　衝動性眼球運動（サッケード）の発達―健常児を対象とした定量的解析―精神神経誌，1991（印刷中）．
9. Robinson, D.A. Eye movement control in primates. Science, 161 : 1219－1224, 1968.
10. Tanji, J.and Evartz, E.V. Anticipatory activity of motor cortex neurons in relation to direction of an intended movement. J Neurophysiol 39 : 1062－1068, 1976.
11. Wise, S.P. and Maurittz, K.H. Set-related neuronal activity in the premotor cortex of rhesus monkeys : Effects of changes in motor set. Proc R Soc London (Biol.) 223 : 301－305, 1985.