

驚愕性瞬目反射の視覚プレパルス抑制における青色光の優位性

山田富美雄^{1,2}、中野真一²、田中邦彦³、箱井英寿¹

青色LEDと赤色LEDをプレパルスとし、驚愕性瞬目反射におよぼすプレパルス抑制効果を比較した。被験者は12名の健常大学生であった。半数の被験者には第一セッションで赤色LEDをプレパルス、第二セッションで青色LEDをプレパルスとし、残り半数の被験者には逆順でPPI測定を行った。プレパルス持続時間は50msであった。驚愕反射誘発刺激は強度110 dB(A)、持続時間50ms、r/f時間0msの白色雑音で、ヘッドフォンを介して両耳提示した。プレパルスと反射誘発刺激の時間間隔(SOA)は50、100、150、500msの4種であった。反射誘発刺激提示20-120ms間の眼輪筋EMG積分値を分析したところ、青色LED条件が赤色LED条件よりPPI効果が強く表れ、500ms先行時間条件においては青色LED条件でのみ有意な抑制効果が認められた。以上の結果から、青色プレパルスは赤色プレパルスよりも強い注意喚起効果をもつことを示し、青色LED照明が人間の警戒感を強める効果を持つことが示唆された。

キーワード：プレパルス抑制、PPI、青色LED

1 序

1.1 プレパルス抑制という現象

プレパルス抑制とは、反射を誘発する刺激の直前100msに、それ自体では反射を誘発することのない微弱な刺激(パルス)を付加することによって、反射を抑制する現象である(山田, 1993)。先行するパルスによる抑制なので、prepulse inhibition、略してPPIと呼ばれる。プレパルスが反射誘発刺激に先行する時間(先行時間: SOA: stimulus onset asynchrony)が80-250msのとき抑制効果が観察されるが、先行時間が1秒を超えると反射が大きくなる(先行刺激促進: プレパルス促進: PPF)。図1に、驚愕性瞬目反射を例に、模式的なPPIおよびPPFの現象を図示する。また先行刺激がパルス状でなく、反射誘発刺激開始時まで持続するとさらに反射は促進する。

PPIは日本語表記でプレパルス抑制と呼ばれることが多い。筆者が最初にこの現象を人間の瞬目反射で研究を始めた頃は、lead-stimulus inhibitionあるいはprestimulus inhibitionと記載され(Hoffman & Fleshler, 1963; Ison & Hammond, 1971; Graham, Putnam, & Leavitt, 1975)、日本語では先行刺激抑制効果と呼んだ(山田・宮田, 1979; 山田・中山・宮田, 1983)。

人間の瞬目反射を用いたPPI研究は1975年から開始

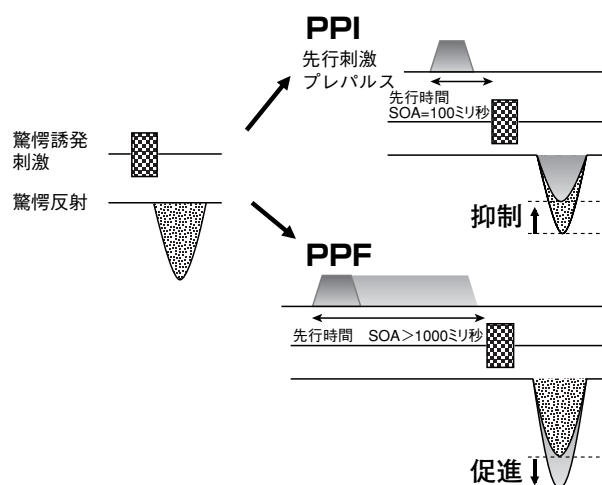


図1 驚愕性瞬目反射のプレパルス抑制とプレパルス促進(模式図)

し、Braffら(1978)が統合失調症患者においてPPIが消失ないし減弱する結果を報告したのを期に、研究論文数は飛躍的に増加し、最近では毎年150編前後もの論文が報告されるに至っている。

PPIの発現は、感覚-運動ゲート仮説によって解釈されている。正常なヒトの認知(情報処理過程)では、プレパルスの情報入力によって約100msの間、感覚-運

1 大阪人間科学大学 人間科学部 健康心理学科
2 大阪人間科学大学 大学院 人間科学研究科
3 大阪市立大学 大学院 生活科学研究科

動ゲートが閉じられるため、驚愕反射誘発刺激による反射そのものが弱められPPIが生じる。プレパルスで情報処理する中枢が、後続する反射誘発刺激の入力とそれに対する反射の閾門（ゲート）を閉じることによって生じると考えるとわかりやすい。一方統合失調症では、ゲートが閉じられないので、反射抑制がおこらないというわけである。統合失調症の患者では、反射誘発刺激も処理の対象となり、反射抑制に至らないと考えられている。

1.2 驚愕性瞬目反射

人間のPPIの実験で標準的に用いられている驚愕性瞬目反射は、100dBを超える刺激強度で50ms持続する突発音を、被験者の両耳にヘッドフォンを介して提示すると生じる。

驚愕性瞬目反射はヒトの驚愕反応の第一成分である。高速度カメラを使ってヒトの驚愕反応パターンを1秒に1000コマの速さで撮影記録したLandisとHuntによると、耳元で鳴るピストルの号砲刺激後20~54（平均40）msで脛が閉じ始める。続いて口輪筋や眉雑筋の収縮、頸部の前傾、上肢関節の屈曲、下肢の屈曲、全身の前屈姿勢へと連なり、いわゆる「すくみこみ姿勢（crouching pause）」になる。大砲などの破裂音を聞いた瞬間に、私たちが意識せずにとる自然な防御姿勢であり、その最も早い成分が瞬目反射である。

図2で示すような、まばたきから、すくみこみ姿勢に至る一連の行動パターンを、驚愕パターンとLandisとHuntは呼んだ。今日では、眼輪筋の筋電図を測定し、図3のように刺激後20ms~120ms間の積分値を驚愕反射量として分析する。

白ねずみ（ラット）などの小動物では、大きな音刺激の提示によって、20msほどですくみこみ反応が現れたのち、逆に飛び跳ねるような行動がみられる。これを、微小振動をとらえるストレインゲージや振動センサーを装着した床の上にラットをおいて、振動波を記

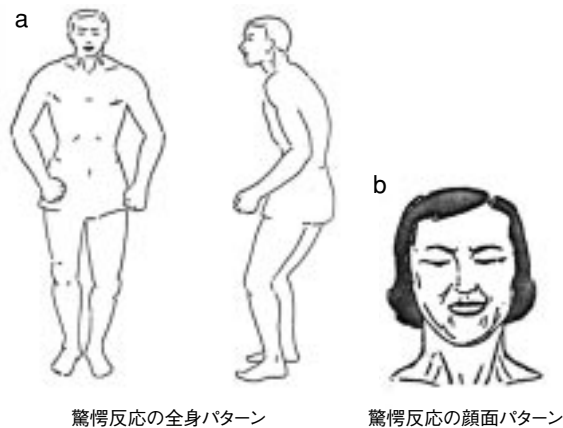


図2 驚愕反応パターン
a: 全身の屈曲、b: 瞬目 (Landis とHunt, 1939⁷⁾ より改変引用)

録し、潜時や振幅、重力加速度、波形積分値などの測度を解析する。

刺激強度が強いほど、刺激の持続時間は長いほど、刺激の立ち上がりは急峻なほど、驚愕反射量は増大する (山田, 1983)。

1.3 PPIの脳内メカニズム

先に述べたように、統合失調症患者ではPPIが障害されるので、PPIの現れ方を指標として、薬物などの治療効果が客観的・他覚的に評価できると期待されている。しかし、その脳内メカニズムについては、まだ推定の域である。

現在までに、驚愕反射の中枢は尾側橋網様核 (nucleus reticularis pontis caudalis) にあると動物実験から推定されるにいたっている。また脳内PPI中枢は、驚愕反射のPPI効果では、中脳の被蓋 (tegmentum) だと考えられている。統合失調症におけるPPI抑制の脳内回路としては、内側前頭前野 (medial prefrontal cortex) から腹側淡蒼球 (ventral pallidum) を経て被蓋を修飾するルートが推定されている。

また最近、ニコチン受容体への刺激 (喫煙) が統合失調症患者のPPI回復に効果があるとの報告がみられる (Postma et.al.,2006; Woznica, Sacco, & George, 2009)。ニコチン依存がドーパミン作動の脳内報酬系を介したものだと考えられているので、十分予測できる結果であり、今後のさらなる基礎研究が期待されている。

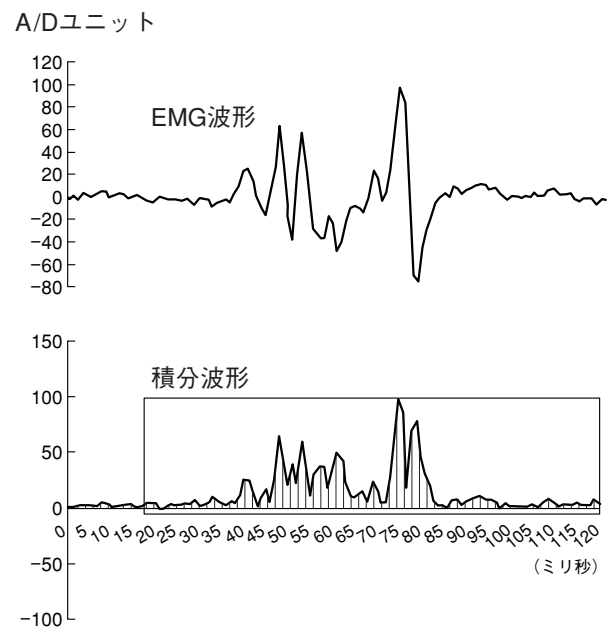


図3 眼輪筋EMG波形(上段) および整流波形(下段)。反射量は驚愕誘発刺激後20-120ミリ秒間の積分値とする。

1.4 プレパルスの感覚モダリティ

統合失調症の症状把握に用いるPPI測定のための基本機器構成では、プレパルスとして白色雑音が用いられている。これはプレパルスの感覚モダリティとして聴覚刺激を用いた実験成績が最も安定しているからに他ならない。筆者の経験によると、健常者においてはPPIが100%観察されるからである。

プレパルスとして視覚刺激 (Ison & Hammond, 1971) や触覚刺激 (山田ら, 1992) を用いてもPPIは観察されるので、PPIはモダリティフリーの現象だとみなされている。

1.5 目的

本研究の目的は、視覚プレパルスを用いてPPIを観察し、視覚プレパルスの色がPPIに及ぼす効果を検討することである。

プレパルスへの課題負荷によってPPI効果が増強し (Yamada & Miyata, 1985)、食品の映像をプレパルスにすると空腹時のPPI効果が食後よりも強いこと (Luthy, et al., 2003) などから、プレパルスの注意喚起効果がPPI増強を生むこと考えられている。近年注目されている青色照明の注意喚起効果がPPI増強として観察できると予測される。

2 方法

2.1 被験者

実験協力者は、21~22歳 (平均 21.3 ± 0.49 歳) のボランティアの大学生12名 (男6名、女6名) であった。

2.2 刺激

視覚プレパルスとして、赤色と青色の発光ダイオード (LED: light emitted diode) を用いた。これら刺激は被験者の前方1mの白色スクリーン上に設置された。実験室内の照明をおとし、暗黒下で実験は行われた。

反射誘発刺激は110dBの白色雑音で、r/f時間は0ms、持続時間は50msに設定した。聴覚刺激はヘッドフォンを介して実験協力者の両耳に提示された。実験中ヘッドフォンからは、55dBの白色雑音が流されていた。

プレパルスと反射誘発刺激の時間制御は、ニホンサンテック社製可搬型PPIシステム (Map1158) を用いた。LEDの提示には、本システムのプレパルス外部トリガー信号を自作LED点灯装置に入力し、持続時間50msでLEDを点灯させた。

視覚プレパルスと驚愕反射誘発刺激の時間間隔 (SOA) は、50ms、100ms、150ms、500msの4種とし、プレパルスが付加されない反射誘発刺激単独提示のコントロール条件を合わせた計5条件が1ブロック内ですべて与えられ、かつ順序を入れ替えて5ブロッ

ク提示された。提示順序は、5×5のラテン方格に従った。試行間隔は平均30sで25s~35sに無作為に変化させた。

2.3 反射の測定

眼輪筋EMGは、図4のように2つのディスコ電極を右目の下眼瞼部と外眼角外側部に装着して導出し、TEAC製小型アンプ内蔵1ch送信機を用いたテレメーターシステムによって測定した。アンプの時定数は0.03sに設定した。

反射量としては、反射誘発刺激後20~120ms間の眼輪筋EMG積分値を用いた。この区間中最大の振幅を示すEMG成分について、頂点間振幅と刺激から頂点までの反射時間を計測した。反射量の評価に先立ち、反射量に1を加えた値を対数変換し、正規化を図ったうえで (Yamada & Miyata, 1980; Yamadaら, 1980) 分散分析をおこなった。

2.4 手続き

実験協力者には、提示された驚愕音にどの程度驚いたかを、基準音を100としてマグニチュード推定する課題を与え、刺激提示直後に口頭で回答させた。基準音は実験に先立って3回提示される100dBの白色雑音とした。

被験者は2グループに分け、グループ1では赤色LED条件から実験を開始し、休憩後青色LED条件で実験をおこない、グループ2では青色LED条件→赤色LED条件の順で実験をおこなった。各グループ内の男女比は1:1であった。

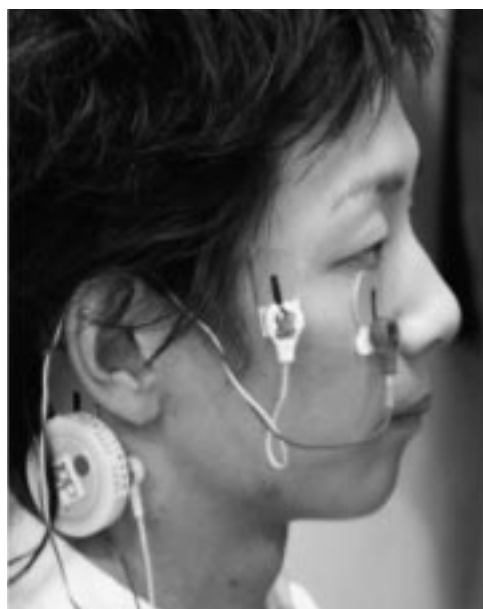


図4 実際の電極装着の様子

3 結果

図5に、プレパルスの色（青・赤）条件別に、驚愕性瞬目反射量の平均値と標準偏差値をSOA条件の関数として示した。両色条件ごとのコントロール条件を実線と波線で示した。

両条件の反射量とも、50msのSOA条件ではコントロール条件を上回り、100msから150msまでのSOA条件ではコントロール条件を下回り抑制効果（PPI）が観測できる。一方500msのSOA条件では青色条件だけが抑制効果を維持し、赤色条件ではPPI効果が消失している。

プレパルスの色（2）×刺激条件（5）×試行数（5）の3要因分散分析をおこなったところ、刺激条件の主効果が有意であった（ $F_{(4,44)} = 5.02, p < .005$ ）。下位検定（Ryan法）の結果、SOA50ms条件と150ms条件との差が有意であった。また、プレパルスの色×SOAの交互作用が有意であった（ $F_{(4,44)} = 2.78, p < .05$ ）。交互作用の下位検定をおこなったところ、500msのSOA条件でのみプレパルスの色間で有意な差が認められた。なお、150msのSOA条件でのPPI効果が最大であった。

図6は、EMGの最大の振幅（反射振幅：peak to peak amplitude）について同様の分析をおこなった結果を図示する。反射振幅は反射量と似たパターンを示し、コントロール条件に比べ、100-150msのSOA条件で抑制効果が観測できる。また500msのSOA条件では青色プレパルス条件でのみ抑制を示す。反射振幅についても分散分析を適用したところ、プレパルスの色条件による差違は有意水準にいたらなかった。150msのSOA条件でのみPPI効果が有意であった。

図7に、眼輪筋EMG反射潜時におよぼすSOAとプレ

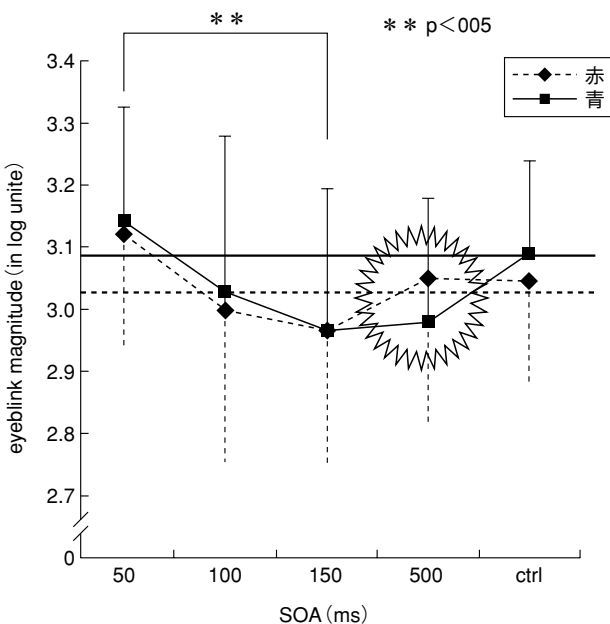


図5 眼輪筋EMG反射量におよぼすSOAとプレパルスの色の効果

パルスの色の効果を図示する。反射潜時について同様の分析をおこなったところ、刺激条件の主効果に有意傾向が認められた（ $F_{(4,44)} = 2.22, p < .10$ ）。下位検定の結果、100msのSOA条件がS2単独条件より有意に潜時が短縮していた。S1の色については、なんら有意な効果は認められなかった。

図8は、課題として与えた驚愕刺激の主観的驚愕度の結果を同様に図示したものである。プレパルスによる主観的な驚愕度への影響については、50msのSOA条件と500msのSOA条件間でのみ有意な差が認められたが、プレパルスの色の効果は認められなかった。

4 考察

以上の結果は、次のようにまとめることができる。すなわち (1) 視覚プレパルスでもPPIは認めら、(2) 青色プレパルスPPI効果が赤色プレパルスのPPI効果より強く、(3) 視覚プレパルスを用いたPPIにおける最適SOAは150msであった。

LED光源をもちいた視覚プレパルスによってもPPIは確認された。PPIが強力で基礎的な現象であることが改めて確認された。

青色光が赤色光よりもPPI効果が強く、500msのSOA条件でその差が顕著になったことは、青色光が赤色光よりも注意喚起効果が強く、持続時間も長いことを示す。

これは、青色の防犯灯による防犯効果の説明モデルとして利用可能かもしれない。すなわち、暗いところで点灯する防犯灯は、青色のほうが赤色よりも注意喚起力が強いので、犯罪企図を抑制するなんらかのメカ

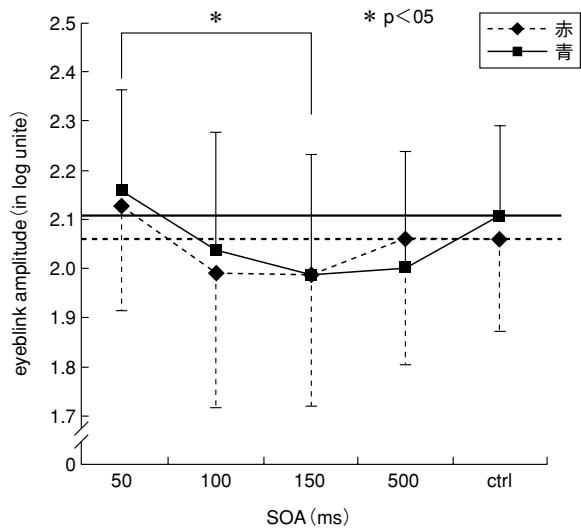


図6 眼輪筋EMG頂点振幅におよぼすSOAとプレパルスの色の効果

ニズムが働くという可能性を示唆する。

学生を対象としてSD調査でも、青色光は白色色よりも「不自然」、「不調和」、「冷たい」印象を与えるという結果が得られている（平, 2009）。

LEDの発光色に対する注意喚起効果がPPIを用いて客観的に測定可能であることが本実験から明らかとなった。とはいえ、色の好みには大きな個人差があり、真っ暗なところで薄明かりのLEDが点灯するという特殊な状況下での結果であった。より一般性を確保するためには、明るい照明下でのより輝度の高い視覚刺激によるPPI効果の観察などが期待される。

さらに、視覚刺激は単一色ばかりではない。画像刺激や文字をもちいたPPI効果の実験によって、感覚水準での注意喚起効果だけではなく、認知水準での注意や期待、動機づけや感情の効果を評価できる驚愕プロトタイプパラダイム（山田, 2003）との関係を検討することが必要となろう。

文献

- Braff, D., Stone, C., Callaway, E et al Prestimulus effects on human startle reflex in normals and schizophrenics. *Psychophysiology*, 1978, **15**: 339-343.
- DelPezzo, E.M., & Hoffman, H.S. Attentional factors in the inhibition of a reflex by a visual stimulus. *Science*, 1980, **210**, 673-674.
- Graham, F. K., Putnam, L. E., & Leavitt, L. A. Lead-stimulation effects on human cardiac orienting and blink reflexes. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1975, **104**: 161-169.
- 平 伸二 青色防犯灯による防犯効果と青色・白色複合 LED 照明の開発. 福山大学こころの健康相談室紀要, 2009, 4, 67-74.
- Hoffman, H., Fleshler, M. Startle reaction Modification by background acoustic stimulation. *Science*, 1963, **141**: 928-930.
- Ison, J. R., & Hammond, G. R. Modification of the startle reflex in the rat by changes in the auditory and visual environments. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 1971, **75**: 435-452.
- Ison, J. R., & Hammond, G. R. Modification of the startle reflex in the rat by changes in the auditory and visual environments. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 1971, **75**: 435-452.
- Landis, C., & Hunt, W. A. *The startle pattern*. Farrar & Rinehart. New York, 1939
- Luthy, M., Blumenthal, T., Langewitz, W., Kiss, A., Keller, U., & Schachinger, H. Prepulse inhibition of the human startle eye blink response by visual food cues. *Appetite*, 2003, **41** (2) : 191-195.

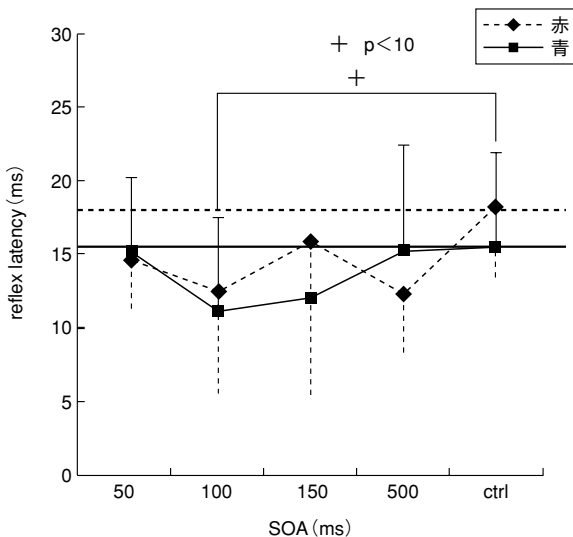


図7 眼輪筋EMG反射潜時におよぼすSOAとプレパルスの色の効果

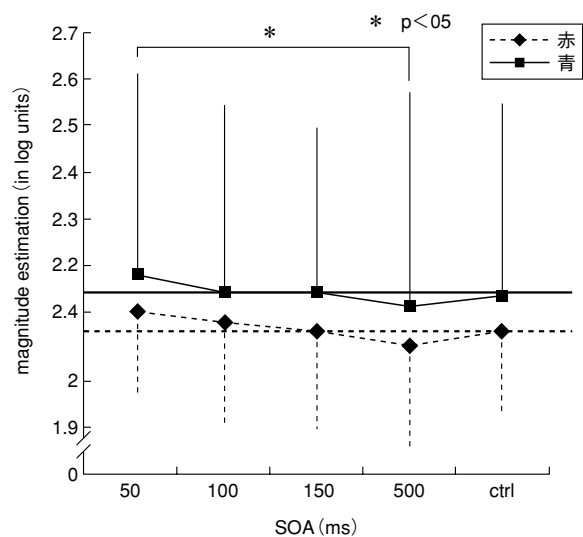


図8 驚愕音の主観的マグニチュード推定値におよぼすSOAとプレパルスの色の効果

- Postma, P., Gray, J. A., Sharma, T. et al A behavioural and functional neuroimaging investigation into the effects of nicotine on sensorimotor gating in healthy subjects and persons with schizophrenia. *Psychopharmacology (Berl)*, 2006, **184**: 589-599.
- Rossi, B., Vista, M., Farnetani, W., Gabrielli, L., Vignocchi, G., Gianchi, F., Berton, F., & Francesconi, W. Modulation of electrically elicited blink reflex components by visual and acoustic prestimuli in man. *International Journal of Psychophysiology*, 1995, **20**(3): 177-187.
- Schwartz, G., Hoffman, H. S., Stitt, C. L., & Marsh, R. Modification of the rat's acoustic startle response by antecedent visual stimulation. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 1976, **2**: 28-37.
- Simons, R., & Zelson, M. F. Engaging visual stimuli and reflex blink modification. *Psychophysiology*, 1985, **22**: 44-49.
- Woznica, A. A., Sacco, K. A., & George, T. P. Prepulse inhibition deficits in schizophrenia are modified by smoking status. *Schizophrenic Research*, 2009, **112**: 86-90.
- 山田富美雄 聴覚誘発眼輪筋反射と主観的驚愕度におよぼす誘発刺激の刺激特性の効果. 生理心理学と精神生理学, 1983, 1: 11-18.
- 山田富美雄 瞬目反射の先行刺激効果：その心理学的意義と応用, 多賀出版, 東京, 1993
- 山田富美雄 感情評価のパラダイム：驚愕プローブパラダイム. 生理心理学と精神生理学, 2001, 19 : 37-44.
- 山田富美雄・堀川隆志・錦織綾彦・堀 浩 触覚先行刺激による音眼輪筋反射の変容. 臨床脳波, 1992, 34, 635-640.
- 山田富美雄・宮田 洋 ヒトの驚愕性瞬目反射におよぼす先行刺激効果. 心理学研究, 1979, 49: 349-356.
- Yamada F Miyata Y Enhancement of the lead-stimulus inhibition induced by key-pressing to S1. *Annual Report of Kansai College of Acupuncture Medicine*, 1985, **1**: 9-13.
- 山田富美雄・中山 誠・宮田 洋 反射喚起と先行刺激抑制効果の独立性：ヒトの驚愕性瞬目反射を指標として. 心理学研究, 1983, 53, 383-386.

謝辞

本研究の一部は、筆頭著者を代表とする2008-2010年度科学研究費補助金基盤研究(B) #20330146「ストレスマネジメントを用いた禁煙支援プログラムの開発と評価」、ならびに平伸二教授を代表とする福山大学との共同研究による。

Blue LED prepulse inhibit more in PPI of human startle eyeblink reflex

Fumio Yamada^{1,2}、Shin'ichi Nakano²、Kunihiko Tanaka³、Hidekazu Hakoi¹

Startle response is inhibited by weak prepulse, either auditory or visual, presented 100ms before the onset of startle eliciting loud noise. This phenomenon is called PPI ; prepulse inhibition. The purpose of this experiment was to compare the effect of color of visual stimuli on PPI.

Subjects were 12 students (6 males and 6 females). Prepulse was an onset of LED (Light Emitting Diode) with 50-ms duration. Intensity of the startle noise was set at 110dB (A), duration 50-ms, and rise/fall time less than 1-ms. Noise was presented via headphones. Subjects received 25 trials with 5 blocks of 5 trials including four prepulse-noise pair conditions (SOAs 50-, 100-, 150-, and 500-ms), and noise alone control condition. Order of presentation was after the 5 by 5 Latin Squire. ITIs were randomly varied from 25 to 35-s with mean of 30-s. Subjects received two sessions, one is using red LED and the other blue. Six subjects initially received red condition and another 6 subjects blue. Startle response was assessed by EMG recordings of the *Orbicularis Oculi* muscles. Independent measures of reflex magnitude was defined as integrated value from 20- to 120-ms time windows after noise onset.

Results showed that mean magnitude of blink reflexes were inhibited under SOAs of 100-, 150-, and 500- msec conditions in both color conditions. But the inhibition was more intense in blue than red condition at 500-ms SOA condition. This results suggested that blue LED-prepulse has more attentional effects on stimulus sensation than red LED-prepulse.

Key Words : prepulse inhibition, PPI, blue, LED (Light Emitted Diode)

驚愕性瞬目反射の視覚プレパルス抑制における 青色光の優位性

山田 富美雄、中野 真一、田中 邦彦、箱井 英寿

大阪人間科学大学

〈紀要「*Human Sciences*」第10号〉

別 刷

2011年 3月