

法則発見課題における仮説の誤り認知¹⁾

—事象関連電位による分析—

岩木信喜²⁾・藤原直仁³⁾・長井沙耶花・渡邊美貴子・野口由佳里²⁾

Abstract

We examined whether or not feedback-related negativity (FRN) is greater to the feedback stimulus (FB) indicating an inconsistency between two hypotheses than for FB supporting a hypothesis. Fifteen college students were required to guess a rule concerning triple numbers (e.g., ascending numbers) that the experimenter had in the mind (Wason's 2-4-6 task). The following information was given on a sheet: for example, (1) "2, 4, 6", (2) hypothesis A which was induced from the example (e.g., even numbers), and (3) hypothesis B which was the opposite of A (e.g., odd numbers). Subjects were instructed to present a triple number for each hypothesis. They were visually given "Yes/ No" FB that indicated whether each example was consistent with the rule. Subjects performed 10 blocks with 20 trials each. Electroencephalography (EEG) was recorded from Fz, Cz, and Pz. Vertical and horizontal electrooculograms (EOG) were also recorded. The EEG and EOG signals during 1000 ms were averaged starting at 200 ms (the baseline) before the FB. The result showed that the mean potentials at Fz from 250 ms to 350 ms after the FB were not significantly greater for trials where inconsistency was recognized than for confirmation trials. Therefore, this result did not support the hypothesis that FRN might reflect recognition of an error in a hypothesis during a rule discovery task. However, the result of P3 amplitude supported the hypothesis (Oarksford & Chater, 1994) that the subjects make contingency judgments between 2 inconsistent hypotheses and Yes/ No feedback.

Key words: 2-4-6 task, hypothesis testing, reductio ad absurdum, feedback-related negativity, event-related brain potential

目 的

人が自らの考えや仮説を変更することは、高次認知の適応的性質に関わる重要な一側面である。この仮説変更プロセスを実験的に検討できる課題に Wason (1960) の 2-4-6 課題がある。

Wason の 2-4-6 課題は、実験者が心にもつ法則を推理して当てる課題である。被験者ははじめに法則から導き得る“2、4、6”という具体例を与えられて、例えば、“偶数”という仮

1) 本研究は平成15年度科学研究費補助金(若手(B)、課題番号15730306)の補助を受けた。

2) 九州ルーテル学院大学人文学部

3) 龍谷大学短期大学部

説を立てる。それを検討するために、“8、10、12”のような具体例を実験者に提示して、それが法則から導出可能かどうかについて Yes/No のフィードバック (FB) を受ける。真の法則が“単調増加”ならば、“8、10、12”に対する FB は Yes である。これを1試行として、被験者は自由な判断のもとに仮説の検討を続ける。そして、自信がもてたところで、その仮説を実験者に報告して法則と一致するかどうかの FB を Yes/No で受ける。No ならば、課題を続けなければならない。このような仮説検証過程で、被験者は、仮説から導出可能な正事例を提示する傾向があり、正事例バイアスと呼ばれている (Klayman & Ha, 1987)。この現象に関する総説については、Evans (1989) や Gorman (1995)、中島 (2001) を参照されたい。本稿では、その中の有力な解釈の1つである Oaksford & Chater (1994) の指摘に注目する。

Oaksford & Chater (1994) は、被験者が背理法を用いて仮説検証を行っている可能性を理論的に明らかにしている。例えば、先のように法則が“単調増加”の場合、被験者は“偶数”仮説を“8、10、12”で検討して Yes FB を受けた後に、“奇数”仮説を“1、3、5”のような正事例⁴⁾で検討することが多い。この場合、“奇数”仮説に対する FB も Yes であり、偶数と奇数が背理関係⁵⁾にあるため、“偶数-奇数”という属性は、真の法則とは無関係と判断されることになる。換言すると、“偶数-奇数”は、FB の内容とは関連しないという一種の随伴性判断がなされるのである。このように実際に背理法が利用されていることは、岩木・樋口・高橋 (2002) の研究で確かめられている。

ところで、今述べたように、背理法による仮説の検討は、基本的には随伴性判断 (contingency judgment) を行うことと同じである。つまり、背理法という手続きによって、対比的な2つの仮説と2種類のフィードバックとの関連性の有無の判断がなされると考えられる。ここで、ヒトにおける随伴性判断とヒト以外の動物における古典的条件づけが共通の土台を有しているという示唆 (レビューとしては、Allan, 1993; 嶋崎, 2003) を考慮するならば、2-4-6 課題における仮説の修正 (学習) プロセスが動物の古典的条件づけと共通するメカニズムによって支えられている可能性が示唆されるのである。言い換えれば、仮説検証という高次の認知処理をより低次の認知処理にグラウンディングさせる可能性が示唆されているのである。

さて、背理法が成立するという事は、暫定的に仮定していた仮説の少なくとも一部が間違っていることが認識されることを意味する。しかも、背理法を使った場合には、外部からの“誤り”教示なしに、仮説の誤りが認識されるのである。本研究では、このような仮説の誤りの認識を事象関連電位の1つのフィードバック関連陰性電位 (feedback-related negativity: FRN) で測定することを試みる。FRN は、行為のエラーを指し示すフィードバック情報を認識した際に増大する電位であり (Miltner, Braun, & Coles, 1997)、エラー行為の認識を反映するエラー関連陰性電位 (error-related negativity: ERN, Falkenstein, Hohnsbein, Hoormann, & Blanke,

4) この事例は偶数仮説の負事例でもあるが、この事例によって単一の偶数仮説の反証を行っているとは考えにくい。なぜなら、明らかに対立仮説を意識してそれに当てはまる事例を考え出しているからである。また、偶数の負事例ということだけならば分数や小数でもよいが、理論上、被験者は奇数を意識してその正事例を報告すると仮定されている。さらに、奇数事例に対するフィードバックが Yes であった時に、偶数仮説だけが単独に否定されるのではなく、偶数-奇数という相対化の観点が法則とは無関係な要素として棄却されると考えられている。したがって、報告される奇数事例は偶数仮説に対する負事例ではあるが、奇数仮説の正事例としての意味ももっていると考えたほうがよく、本稿ではその意味で正事例と表記することにした。

5) 対比される2つの仮説は必ずしも一方が他方の補集合を表現しているとは限らず、それらがある属性に関して反対の関係の場合もある (Oaksford & Chater, 1994, footnote 7)。例えば、“偶数-奇数”という対比の場合、それらに当てはまらない“1.1, 1.2, 1.3”のような数列も存在する。

1991; Gehring, Goss, Coles, Meyer, & Donchin, 1993) と神経基盤が共通すると考えられている (例えば, Luu & Tucker, 2003)。ERN は行為レベルのエラーの認識を反映するのであるから、もし FRN が背理法によって仮説の誤りを認識した際に増大したならば、仮説検証における仮説の誤りの認識が行為レベルのエラーの認識と神経システムを共有しているということが強く示唆されるであろう。

方 法

参加者

15名の大学生が実験に参加した。

課題と手続き

被験者に与えた記入用紙を図1に示した。図1には、“2、4、6”という3つ組数から帰納できる仮説とそれに矛盾する仮説がペアであらかじめ記入されていた。例えば、第1試行で“2つずつ”、第2試行で“2つずつでない”という具合で、このようなペアが10組記入され、1ブロックとされた。背理関係にある2つの仮説は表1にまとめた。被験者は各試行で仮説に当てはまる具体例、“2つずつ”の場合ならば“8、10、12”などを自ら記入して、それが真の法則 (例えば、単調増加) に当てはまるかどうかの Yes/No の FB を自発的なボタン押しによって受けた。FB は、500ms 間の“+”固視点、200ms 間のブランクの後にディスプレイ上に呈示された。その後、記録用紙に Yes FB ならば“当てはまる”に、No FB ならば“当てはまらない”にまるをつけ、FB の意外度を“意外でない”、“やや意外”、“かなり意外”の3水準で評定し

番号	仮 説	具体例	フィードバック	フィードバックの意外度	法則との関連性
—	—	2, 4, 6	当てはまる		
1	2つずつ		当てはまる 当てはまらない	小(意外でない) 中(やや意外) 大(かなり意外)	
	2つずつでない		当てはまる 当てはまらない	小(意外でない) 中(やや意外) 大(かなり意外)	有り無し まだ分からない
2	偶数		当てはまる 当てはまらない	小(意外でない) 中(やや意外) 大(かなり意外)	
	偶数でない		当てはまる 当てはまらない	小(意外でない) 中(やや意外) 大(かなり意外)	有り無し まだ分からない

図1. 記録用紙の一部。

表1. 背理関係にある2つの仮説

1	一桁の数字だけ vs. 一桁ではない数字を含む
2	偶数 vs. 偶数でない
3	2つずつ vs. 2つずつでない
4	増加する vs. 増加しない
5	等間隔 vs. 等間隔でない
6	正（プラス）の数 vs. 正の数でない
7	3数字とも異なる vs. 同じ数字を2度以上使う
8	0（ゼロ）を含めない vs. 0を含む
9	小数を含めない vs. 小数を含む
10	分数を含めない vs. 分数を含む

た。また、ペアとなっている2つの仮説の2つ目を検討した際には、2つの仮説を相対化する観点から真の法則と関連があるかどうかを判断し、“有り”、“無し”、“まだ分からない”のいずれかにまるをつけた。被験者は途中5分程度の休憩をはさんで計10ブロック行った。各ブロックでは異なる法則を設定した。表2は実験で用いた10種類の法則をまとめたものである。それらの法則は被験者ごとにランダムな順番に設定した。

本実験では、次の4種類の試行を分析した。まず、ペアの2つの仮説の1つ目の仮説に対して Yes FBがあった試行を“確証試行”とした。さらに2つ目の仮説に対しても Yes FBが与えられれば、背理関係が成立したことになるので、その試行は“背理法成立試行”とした。また、1つ目の仮説に対して No FBがあった試行は、“確証不成立（反証）試行”とした。もし1つ目の仮説には Yes FBで、2つ目には No FBならば、その試行は“背理法不成立試行”とした。その場合は、2つの仮説を相対化する観点、例えば“2つずつか否か”、が真の法則に関連するという随伴性判断がなされているはずである。

生理指標の測定と分析

脳波は、Fz、Cz、Pz、及び左耳朶から右耳朶を基準にして銀・塩化銀電極によって導出し、200HzのAD変換後、光磁気ディスクに記録した。垂直EOGを右目の上下から、水平EOGを左右の目尻の外側2cmの位置から導出した。脳波とEOGの電極間抵抗値と帯域通過周波数は5k Ω 以下と0.05-30Hzであった。両耳朶の平均値が基準となるように再計算した後、FB呈示時点を起点として200ms前から呈示後800msまでを、呈示前200ms間の平均電位を0Vにそろ

表2. 実験で使用した法則

1	数字なら何でもよい
2	単調増加
3	等間隔
4	ゼロを含まない
5	等間隔 & 単調増加
6	正の数 & 単調増加
7	等間隔 & 正の数
8	等間隔 & ゼロを含まない
9	等間隔 & 正の数 & 単調増加
10	等間隔 & ゼロを含まない & 単調増加

えて加算した。ただし、脳波か EOG が $\pm 50\mu V$ を超えた試行は加算から除いた。

分析では、背理法が成立して仮説を棄却したときの脳過程が確認成立試行と異なるのかどうか、及び、相対立する仮説と FB との間の随伴性が認識される背理法不成立試行の脳過程が確認不成立（反証）試行と異なるのかどうかを調べた。

繰り返し測定分散分析を行うに当たって、タイプ I エラーの確率の増大を避けるために、Greenhouse-Geisser のイプシロン (ϵ) によって自由度を適宜調整した。

結 果

各試行条件の総加算平均波形を図 2 に示した。確認成立試行と背理法不成立試行の波形は 15 名全員分であるが、残り 2 つの試行条件の波形はいずれの試行でも 15 回以上の加算回数を得られた 8 名分から算出したものである。それらの加算回数は、確認不成立試行が 22.0 ± 8.0 回（平均値 $\pm SD$ ）、背理法不成立試行が 21.6 ± 3.7 回であった。

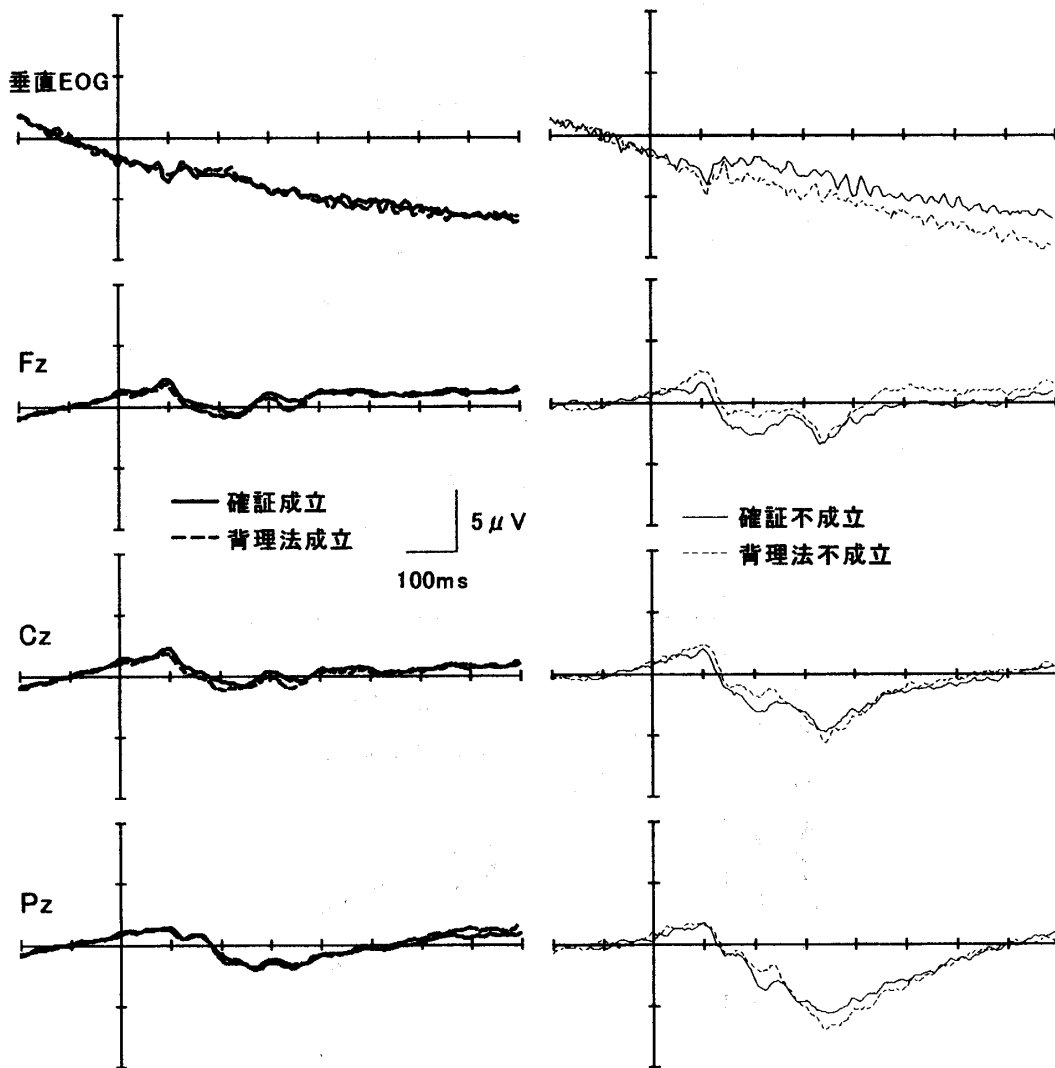


図 2. 各試行条件の総加算平均波形。縦軸はフィードバック呈示時点を示す。ただし、確認成立試行と背理法成立試行は 15 名分のデータを用い、確認不成立試行と背理法不成立試行はいずれの試行でも 15 回以上の加算回数であった 8 名分のデータを用いた。

確認成立試行と背理法成立試行において、FB 後300ms 付近を頂点とする FRN と考えられる電位が認められた。そこで、FB 呈示後250-350ms 区間の平均電位について、2（確認成立と背理法成立）×3（部位：Fz、Cz、Pz）の分散分析を行ったが、部位の主効果（ $F [2,28] = 15.21, p < .001, \epsilon = .718$ ）のみで、条件の主効果も条件×部位の交互作用も有意ではなかった（図3）。

次に、背理法不成立試行の P 3 振幅が確認不成立（反証）試行よりも大きいようであったので、FB 呈示後300-400ms 区間の平均電位について2（確認不成立と背理法不成立）×3（部位：Fz、Cz、Pz）の分散分析を行った（図4）。その結果、部位の主効果（ $F [2,14] = 10.11, p < .05, \epsilon = .529$ ）と交互作用が有意であった（ $F [2,14] = 6.15, p < .05, \epsilon = .703$ ）。単純主効果の検定の結果、Pz 部位に傾向差が認められた（ $F [1,21] = 3.57, p = .07$ ）。また、刺激呈示後150-250ms 区間にも差があるようなので同様の分析を行ったところ、試行条件の主効果だけが認められた（ $F [1,7] = 8.47, p < .05$ 。区間平均電位±SE は、確認不成立=2.26±0.80、背理法不成立=1.20±0.97）。

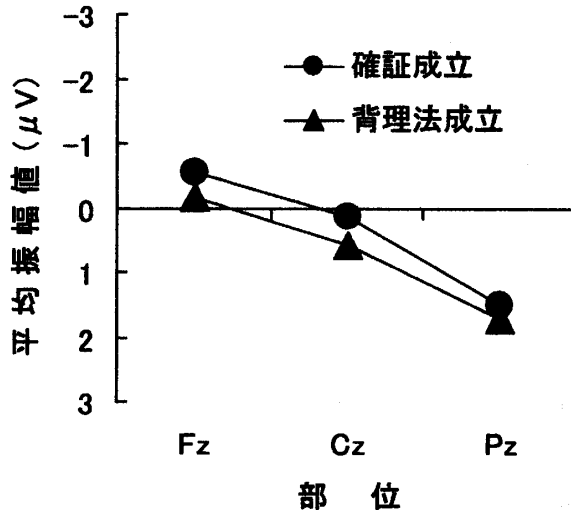


図3. フィードバック刺激呈示後250msから350msまでの区間平均電位。

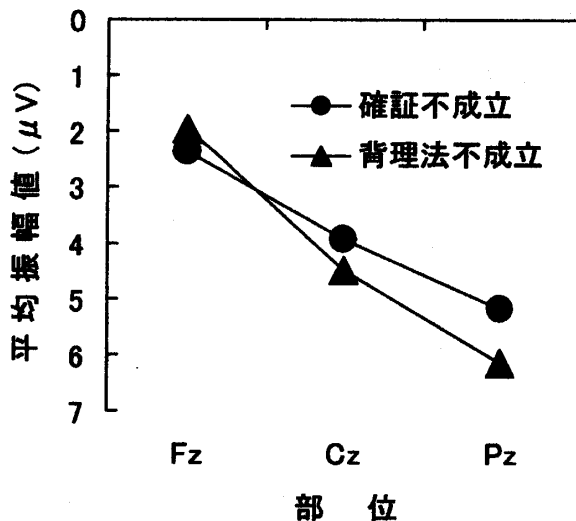


図4. フィードバック刺激呈示後300msから400msまでの区間平均電位。

考 察

本研究の目的は大きく2つあった。1つは、Oaksford & Chater (1994) が主張するように、被験者が相反する2つの仮説と Yes/No のFB との間の随伴関係を背理法によって検討しているのかどうかを調べることであった。もう1つは、行為レベルの誤りを指し示す情報の認識によって増大することが分かっているFRNという事象関連電位が、仮説検証における仮説の誤りの認識によっても増大するかどうかを調べることであった。

まず、図2の右図、及び、図4から分かるように、随伴関係があると判断される背理法不成立試行の波形は、同じNo FBである確証不成立試行とは異なっていた。これは、被験者が、相反する2つの仮説の一方にYes FBがあり、もう一方にNo FBがあった場合には、2つの仮説を相対化する観点が真の法則と関連するという随伴性判断を行っていたことを示唆する結果である。つまり、Oaksford & Chater (1994) が主張するように、被験者は相反する2つの仮説とYes/NoのFBとの間の随伴関係を背理法によって検討していたと考えられる結果であり、岩木他(2002)の行動指標による検討結果を支持するものであった。

一方、FRNが仮説検証における仮説の誤りの認識によって増大するかどうかという点については否定的な結果であった。図2の左図と図3から分かるように、FB後300ms付近を頂点にFRNと考えられる陰性電位が認められたが、確証試行との比較で背理法成立試行のFRNが増大するという結果は得られなかった。ただし、被験者の内観報告によると、背理法によって相反する2つの仮説を棄却することはやや困難であり、そのような思考手続きそのものが分かりにくかった可能性に注意する必要があるだろう。今後は、背理法によって無関係な情報を発見して、積極的に棄却する手続きを利用しやすいように変更して再検討した方がよいと思われる。

また、2種類の情報の共変動に敏感な者からそうでない者まで個人差があるだろうから、その個人差とFRN振幅との関連性を検討することも重要である。なぜなら、そのような相関関係が認められれば、背理法による仮説の棄却とFRNとの関係だけではなく、背理法という思考手続きがもたらす環境適応能力の個人差に、FRNが反映する神経システムが関連することが示唆されるからである。さらに、教育という観点から、背理法の学習による思考力の向上とFRNの神経システムとの関連性も検討する価値があるであろう。

最後に、目的でも述べたことであるが、ヒトにおける随伴性判断とヒト以外の動物における古典的条件づけが共通の土台を有しているという示唆(例えば、Allan, 1993; 嶋崎, 2003)を考慮するならば、2-4-6課題における仮説の修正プロセスが動物の古典的条件づけと共通する神経システムによって支えられている可能性が示唆されるのであり、仮説検証という高次認知処理をより低次の認知処理にグラウンディングさせる可能性が示唆されるのである。系統発生を考えれば、ある目的的行為の成否がどのような情報の変動と関連していたかという随伴性認知に関わるFRNの神経システムが、目的的行為を制御する“仮説”と外部情報との関連性を意識的に検討する能力を支えるように進化したことが1つの可能性として考えることができる。つまり、仮説検証という演繹的思考に関わる意識には、FRNのシステムが基盤にあるかもしれないのである。このような観点からのアプローチも今後重要になるのではないだろうか。

文 献

- Allan, L. G. 1993 Human contingency judgments: Rule based or associative? *Psychological Bulletin*, 114, 435-448.
- Evans, J. St. B. T. 1989 *Bias in human reasoning*. Hove and London (UK): Lawrence Erlbaum Associates.
- Falkenstein, M., Hohnsbein, J., Hoormann, J., & Blanke, L. 1991 Effects of crossmodal divided attention on late ERP components. II. Error processing in choice reaction tasks. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 78, 447-455.
- Gehring, W. J., Goss, B., Coles, M. G. H., Meyer, D. E., & Donchin, E. 1993 A neural system for error detection and compensation. *Psychological Science*, 4, 385-390.
- Gorman, M. E. 1995 Hypothesis testing. In S. E. Newstead & J. St. B. T. Evans (Eds), *Perspectives on Thinking and Reasoning*. Hove (UK) & Hillsdale (USA): Lawrence Erlbaum. Pp. 217-240.
- 岩木信喜・樋口匡貴・高橋 功 2002 Wason の 2 - 4 - 6 課題における仮説相対化方略の分析手続きの検討。日本心理学会第66回大会発表論文集, 840.
- Klayman, J. & Ha, Y.-W. 1987 Confirmation, disconfirmation and information in hypothesis testing. *Psychological Review*, 94, 211-228.
- Luu, P., & Tucker, D. M. 2003 Self-regulation and the executive functions: Electrophysiological clues. In A. Zani and A. M. Proverbio (Eds.), *The Cognitive Electrophysiology of Mind and Brain*. Academic Press. Pp. 199-223.
- Miltner, W. H. R., Braun, C. H., & Coles, M. G. H. 1997 Event-related brain potentials following incorrect feedback in a time-estimation task: Evidence for a "generic" neural system for error detection. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9, 788-798.
- 中島 実 2001 帰納的推論—仮説検証の心理を探る 森 敏昭 (編著) 認知心理学を語る 3 おもしろ思考のラボラトリー 北大路書房 Pp. 57-76.
- Oaksford, M. & Chater, N. 1994 Another look at eliminative and enumerative behaviour in a conceptual task. *European Journal of Cognitive Psychology*, 6, 149-169.
- 嶋崎恒雄 2003 ヒトの随伴性判断 今田寛 (監修) ・中島定彦 (編) 学習心理学における古典的条件付けの理論—パヴロフから連合学習研究の最先端まで— 培風館 Pp. 163-176.
- Wason, P. C. 1960 On the failure to eliminate hypotheses in a conceptual task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 12, 129-140.