

Moving eyes and moving thought: On the spatial compatibility between eye movements and cognition

Laura E. Thomas and Alejandro Lleras

Psychonomic Bulletin & Review, 2007, 14 (4), pp. 663-668

Introduction

- 認知処理を検証するために、眼球運動計測技術は30年以上使用されてきた (see, e.g., Just & Carpenter, 1985; Knoblich, Ohlsson, & Raney, 2001; Lenhart, 1983)
 - 最近では、認知処理と眼球運動との相互関係を検証している

先行研究：

Grant and Spivey (2003) は、Karl Duncker's (1945) の腫瘍問題のような洞察問題に取り組んでいる間は、眼球運動が認知処理に影響を与えるのかどうかについて問いかけている。

- 腫瘍問題 (図 1 A)
 - 問題：手術不可能な胃の腫瘍がある患者がいる。レーザーを当てれば、腫瘍を破壊することができるが、健康な組織も破壊されてしまう。どのようにすれば、腫瘍だけを破壊することができるのか？
 - 答え：弱いレーザーを複数の場所から腫瘍に向けて発射することで、腫瘍部分で収束させる。それぞれのレーザーは弱すぎて健康組織にダメージを与えることはないが、腫瘍部分で収束することで、破壊することが出来る。

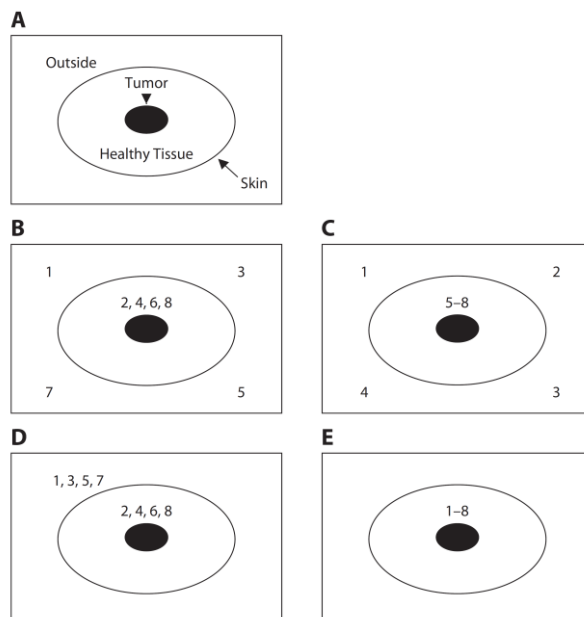


Figure 1. Diagram of Duncker's (1945) radiation problem. Panel B shows the letter/digit sequence locations for the embodied-solution group, panel C shows the sequence for the areas-of-interest group, panel D shows the sequence for the repeated-skin-crossing group, and panel E shows the sequence for the tumor-fixation group.

- 実験1
 - 眼球運動を記録
 - ◇ 10分以内で解けた参加者はSkinの部分を長い時間見ていた
 - Skinは問題解決に重要なのか
- 実験2
 - 眼球運動を記録せず
 - Skinの部分をハイライトすることで、注意を向けさせる
 - ◇ 腫瘍をハイライトした条件とハイライトなしの条件と比べ、正答率が高い
- 考察
 - 外側からSkinの部分を横切り、内側の腫瘍エリアに視線が動き、再び外側に出るという視線パターン（三角形のin and out）が非常に重要
 - ◇ 複数のレーザー発射の知覚シミュレーション(Barsalou,1999)により、心理的メカニズムが具体化する
 - ◇ 視線パターンと認知処理はリンクしている

本研究：

- 目的
 - 参加者に解答を具体化するような視線パターンを行わせることで、正答にたどり着けるようになるのかを検証
- 条件（変わるのは追跡課題だけ）
 - 具体化条件（*embodied-solution group*）→ 図 1 B
 - ◇ 追跡課題：肌の部分を横切る動き
 - 興味領域条件（*areas-of-interest group*）→ 図 1 C
 - ◇ 追跡課題：肌を横切らない動き
 - 繰り返し条件（*repeatedskin-crossing group*）→ 図 1 D
 - ◇ 追跡課題：固定の2点で肌を横切る動き
 - 腫瘍条件（*tumor-fixation group*）→ 図 1 E
 - ◇ 追跡課題：腫瘍のみを見る
- 予測
 - 答えのような動きが洞察のカギなら、具体化条件は高い正答率
 - 外部エリアに視線を移すことがカギなら、具体化条件と興味領域条件は正答率が高い
 - Skinを横切る動きがカギなら、具体化条件と繰り返し条件で正答率が高い
 - 視線を誘導することが認知処理に影響を与えないのなら、すべての条件で同じような正答率

METHOD

Participants

- 学生99名
 - 追跡課題の精度が80%以下の参加者と追跡課題と腫瘍問題の関係性に気づいた参加者は分析から除外

Stimuli and Apparatus

- 刺激
 - 腫瘍問題 (Duncker, 1945)
 - 追跡課題 (Tracking Task)
- 実験装置
 - An Eye II video-based eyetrackerを使用
 - ◇ あご台により、あごを固定

Procedure

- 課題を知っているかどうかを尋ねる
 - 全ての参加者は課題を知らなかった
- キャリブレーションを行い、課題についての説明を行った
- 参加者がキーを押すことで実験が始まる

Free-Viewing Period

- 30秒間隔を20試行 (10分間)
 - 26秒は腫瘍問題を自由に見ることができ、4秒は追跡課題を行う
 - 刺激が切り替わる時は注視点が真ん中に表示される

Tracking Task

- ランダムな7つの文字と1つの数字の列が様々な場所に表示される
- 数字を見つけたら、すぐにキーを押すように教示
 - 反応時間の計測
- 条件により表示のされ方が違う
 - 表示される順番は毎回同じ (図1 B・C・D・E)

Problem Solution and Experiment Completion

- 参加者は、解答を思いついたらキーを押す
 - ディスプレイが隠され、答えを紙に書く
 - 正答にたどり着くか、10分を過ぎたら実験は終了した
- 実験終了後に、追跡課題と腫瘍問題の関連に気が付いたかどうかを尋ねた

RESULTS

Tracking Task

- 一要因分散分析
 - 条件要因の主効果あり、 $F(3,67) = 5.77, MSe = 17.716, p = .001$
 - 多重比較
 - ◇ 腫瘍条件の反応時間が具体化条件 ($mean\ difference = 169, standard\ error\ [SE] = 46, p = .003$) と興味領域条件 ($mean\ difference = 149, SE = 44, p = .007$) と繰り返し条件 ($mean\ difference = 130, SE = 46, p = .030$) よりも有意に早かった
 - ◇ 予測できた当たり前の結果
- 視線誘導の効果をみるために、4秒の追跡課題で何回Skinを横切ったかを分析 (図2A)
 - 条件要因の主効果あり、 $F(3,67) = 123.46, MSe = 82.97, p < .001$
 - ◇ 具体化条件と繰り返し条件では有意差なし、Tukey test $mean\ difference = 0.23, SE = 0.40, p = .942$
 - ◇ 他のペアではすべてに有意差あり、all $ps < .001$
- 26秒の自由に見ることができている区間を分析 (図2B)
 - 参加者は条件に関わらず、平等にSkinを横切る動きを行う傾向にある、ANOVA $F(3,67) = 1.08, MSe = 0.03, p = .363$

Table 1
 Number of Participants, Tracking Task Reaction Time (RT), Skin-Crossing Saccades, and Solution Rate As a Function of Group

Group	N	Number Dropped		Tracking Task RT (msec)	Skin-Crossing Saccades		
		Tracking Failure	Saw Relationship		Free-Viewing Period ^a	Tracking Task ^b	Solution Rate
Embodied solution	25	5	2	662*	0.3	6.7*	0.50*
Areas of interest	25	6	1	643*	0.3	2.8*	0.33
Repeated skin crossing	24	5	3	624*	0.4	6.5*	0.19
Tumor fixation	25	7	0	494	0.3	0.4	0.22

^aSaccades/sec. ^bSaccades/4 sec. *Statistical difference between an experimental condition and the control condition (tumor-fixation group) at the $p < .05$ level.

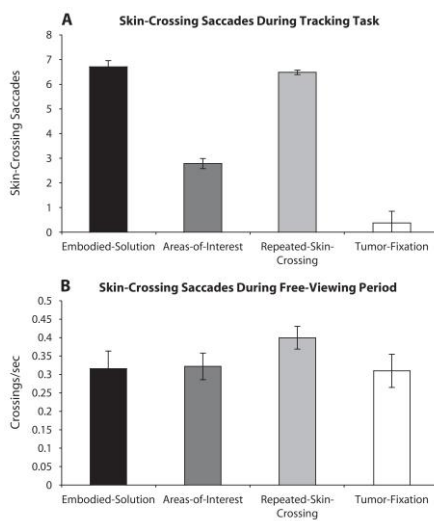


Figure 2. Mean number of skin-crossing saccades for the embodied-solution group, areas-of-interest group, repeated-skin-crossing group, and tumor-fixation group. Panel A shows the mean number of total skin-crossing saccades during the tracking task period only. Panel B shows the mean number of skin-crossing saccades per second recorded during the free-viewing periods only (i.e., excluding eye movements made during the digit tracking task).

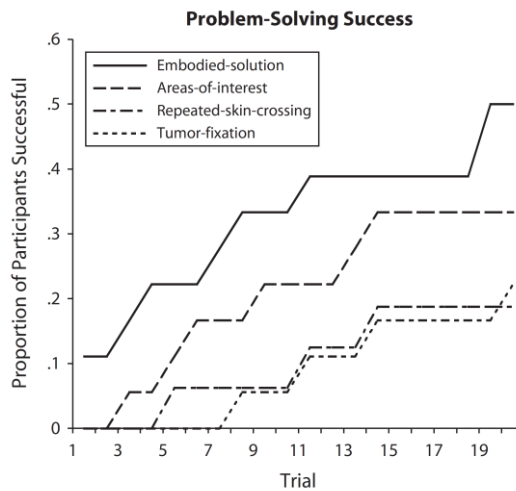


Figure 3. Proportion of participants in each group to successfully solve Duncker's (1945) radiation problem after each trial.

Problem-Solving Task

- Peto-Peto-Prentice survival analysis test(see Cleves, Gould, & Gutierrez, 2002, for details)により正答率の比較
 - 具体化条件と腫瘍条件に有意差がある、 $\chi^2(1, N=36) = 5.10, p = .024$
 - 具体化条件と繰り返し条件に有意差がある、 $\chi^2(1, N=34) = 3.87, p = .049$
 - 他の比較では有意差は認められなかった、all $ps > .2$
- 正答者割合でも比較
 - 具体化条件 vs 興味領域条件 腫瘍条件 繰り返し条件
 - ◇ 有意差あり、 $\chi^2(1, N=70) = 5.95, p < .015$
- アンケートを調べたところ、追跡課題と腫瘍問題の関係性に気づいている参加者はほとんどいなかった

DISCUSSION

- 具体化条件の参加者は他の条件と比べて、正答にたどり着きやすい
 - 視線パターンは思考に影響を与える（腫瘍問題のような課題に関しては）
- アンケート
 - ほとんどの参加者は関係性に気づいていなかった
 - 眼球運動と認知処理の関係は暗黙的なもの (implicit)
- 私たちの結果はGrantとSpiveyの主張を支持する
 - 腫瘍問題のような空間的なタスクに関しては、眼球の動きが潜在的な考えに影響を与えていると信じている
- 今後は、眼球運動と認知処理の繋がりについて調査していく必要があるだろう