

The right hemisphere maintains solution-related activation for yet-to-be-solved problems

MARK JUNG BEEMAN & EDWARD M. BOWDEN

Memory & Cognition 2000, 28(7), 1231-1241.

問題解決の2つのプロセスについて調べる

- ▷ これら2つは異なる役割を果たすだろう
 1. 解法と関連する情報の活性化
 - 問題解決者に正しい解法へのパスを示すと思われる
 - * (本研究では単語読み上げで測定：実験 1A, 2A)
 2. 解法の認識
 - 解法, あるいはそのパスを見つけたときに, 解法を認識する
 - * (本研究では単語識別で測定：実験 1B, 2B)

大脳半球がそれぞれ異なる情報活性化を行うだろう (RH coarse semantic coding theory)

- ▷ 左脳 (left hemisphere; LH)
 - 明確な意味的符号化に従事
 - 単語の1つの意味に対して, 強い活性化
 - 意味的な関連範囲は狭い
- ▷ 右脳 (right hemisphere; RH)
 - 粗い意味的符号化に従事
 - 単語に対して, 弱く拡散された活性化 (単語の他の意味を含める)
 - 意味的に離れた関連を持つ (関連範囲が広い)

筆者らの先行研究 (Beeman, 1993, 1998; Beeman et al., 1994)

- ▷ 先行研究では次の2つの仮説を提唱
 1. 洞察的な問題は (情報, 解法の) 直接的な探索の失敗, あるいは間違いを起こす
 2. 直接的な手掛かりの不足によって, 明確な意味符号化を行う LH よりも, 粗い意味符号化を行う RH を用いる
- ▷ これらの仮説は支持された (Bowden & Beeman, 1998)
- ▷ 本研究では, これらの結果の再現と拡張を試みる

処理における (大脳) 半球の相違についての証拠

プライミング・言語

- ▷ 言語処理における一般的な LH 優勢にかかわらず, 左視野 (left visual field; lvf)-RH の方が, 右視野 (right visual field; rvf)-LH よりプライム効果あり
 - 単語間の関連性が低くなると, この傾向が強くなる
(Beeman et al., 1994; Burgess & Simpson, 1988; Chiarello, Burgess, Richards, & Pollock, 1990; M. E. Faust & Gernsbacher, 1996; Nakagawa, 1991)
- ▷ 遠隔関連単語 (remotely associated words) のペアの認識は lvf-RH の方が容易である
(Rodel, Cook, Regard, & Landis, 1992)
- ▷ 右脳に障害を負った人は外延的な単語の解釈をし, 左脳に障害を負った人は比喩的, あるいは含意的な解釈をする
(Brownell, Potter, & Michelow, 1984)

神経学的な先行研究

- ▷ RH の活動が比喩を理解させる (Bottini et al., 1994)
- ▷ RH の活動が動詞の新奇な使用方法を生成する
(Abdullaev & Posner, 1997; Seger, Desmond, Glover, & Gabrieli, 200)
- ▷ 会話中の意味的統合の必要性に応じて、fMRI の信号が RH で選択的に増加する
(Robertson et al., 2000; St. George, Kutas, Martinez, & Sereno, 1999)

問題解決における (大脳) 半球ごとの可能な役割

LH が明確な意味的符号化に用いられているのなら …

- ▷ 問題となる単語の解釈に偏った、小さな意味的領域で強く活性化される
→ これは、洞察問題では誤った方向に活性化することになる

RH が粗い意味的符号化に従事しているなら …

- ▷ 以下について活性化を広げる
 - 代替となる意味
 - 解法と無関係のものだけでなく、解法を含む関連概念
- ▷ プロセスとしては以下のことが考えられる
 - 初期には、RH の活性は弱く広がっており、より強い LH の活動によってブロックされる
 - しかし、RH の活性に、代案やより遠い関連 (概念) が存在すれば、解法を生成、認識することができる

ヒントの遅効性

- ▷ Fiore and Schooler (1998) の研究
 - 9 問の洞察課題
 - ヒントを右視野、あるいは左視野に提示
 - 問題提示後、ヒント提示までの時間を統制 (直後 vs 2 分後)
 - * 2 分後の方が成績がよかった
- ▷ 問題が解けない状態になることで、ヒントの効果がある

Remote Associates Test と compound remote associate problems

- ▷ Remote Associate Test
 - Mednick (1962) が提案
 - 初期は創造性研究、後に洞察、創造的思考の研究で用いられた
- ▷ compound remote associate problems (Bowden & Beeman, 2000)¹
 - 3 つの単語を提示し、4 つ目を予測させる
 - * right/cat/carbon – COPY など
 - 4 つ目の予測は 3 つの単語提示後、15 秒以内 (問題解決時間 15 秒) とし、15 秒後に rvf-HL もしくは lvf-RH に、解法に関連するプライム刺激を提示
 - * lvf-RH > rvf-LH でプライム効果
 - * 解法選択課題では、lvf-RH > rvf-LH で早い選択

- ・ 本来右利きの人は rvf-LH による反応速度が速いはず（つまり、プライム効果は RH であらわれている）

本研究

- ▷ 各半球での経時的な問題解決活動を調査する
- ▷ 筆者らの先行研究を再現（ただし、以下の点が異なる）
 - 課題解決時間を 7 秒に変更（実験 1A, 1B）
 - 課題解決時間を 2 秒に変更（実験 2A, 2B）
 - 課題解決時間を 1 秒、問題解決を完成させない（実験 3）

実験 1A

目的

- ▷ 「解法と関連する情報の活性化」について調べる
- ▷ 実験 2A, 2B, 3 の比較対象として実施

概要

- ▷ 解法に関連するプライミングは、解法の意味的な活性化をもたらすことを示した
- ▷ （大脳）半球の違いについて、rvf-LH と lvf-RH のプライム効果を比較
 - 質的に異なる意味的プライミングのパターンを確認
 - 複数の独立した言語野の処理があることを示唆 (Beeman & Chiarello, 1998 参照)
- ▷ lvf-RH の方がプライム効果が高かった
 - RH が洞察問題系に有効であること（筆者らの主張）を支持
- ▷ 未解決の問題についての、解法に関連したプライム効果があらわれた
 - 問題解決者は解法に対する意味的な活性化がされており、また、無意識に行われることを示唆

方法

参加者

- ▷ 32 人（男性：16 人，女性：16 人）の大学生
- ▷ 右利き，ネイティブな英語話者

課題

- ▷ compound remote associate problems 144 問の課題
 - Remote Associate Tests (Mednick, 1962) を参考に作成
 - high/district/house - SCHOOL など
 - 洞察を経験することができる課題 (Bowden & Beeman, 2000)

要因計画²

- ▷ 2 × 2 の被験者内要因
 - ターゲット単語 (Unrelated/Solution) について 2 条件

¹投稿時印刷中．引用文献の名前で検索失敗

- 視野-視覚野 (rvf-LH/lvf-RH) について 2 条件

手続き

- ▷ 1 試行あたり課題 1 問（おそらく，参加者あたり 144 問），課題提示順はランダム
- ▷ 1 試行は以下の流れ
 - 15 インチの画面上に，課題の 3 単語（フレーズ）を提示
 - 参加者は 7 秒以内に課題を解くことを要求される（声に出して報告）
 - 課題提示後，7 秒で課題消去
 - トーン（音）を提示 (250ms)
 - 画面上に注視点（十字）提示 (500ms)
 - 画面上にターゲット単語提示 (180ms)
 - 参加者は 3 秒以内にターゲット単語を声を出して読むことを要求される
- ▷ SOA は 7,750ms
- ▷ ターゲット単語の条件は以下のとおり
 - 画面の右端 (rvf-LH) もしくは画面の左端 (lvf-RH) に提示（視野角 1.5 度）
 - 内容は正解となる単語 (Solution) もしくは，72 試行後の正解となる単語 (Unrelated)
 - 上記について 4 試行ごとにカウンタ・バランスをとった

結果

課題の正答率

- ▷ 7 秒以内の正答率 21.1% ($SD = 5.8$)
- ▷ ターゲット単語読み上げ 89.3% ($SD = 6.1$)

分析

- ▷ 検定は全て 5% 水準
- ▷ 5 人のデータは外れ値のため差し替え (replaced)
- ▷ 性差は認められず

ターゲット単語読み上げまでの平均遅延時間（表 1）について

- ▷ 正答できなかった課題 (Unsolved Problems)
 - LH の方が読み上げまでの遅延時間が短かった
 - * rvf-LH の方が lvf-RH より 58ms 早い ($F(1, 30) = 77.75, MS_e = 109, 395$)
 - プライム効果（ターゲット単語 == 正答）が認められた
 - * Unsolved Problems 全体で，Solution の方が Unrelated より 37ms 早い ($F(1, 30) = 22.77, MS_e = 43, 128$)
 - lvf-RH の方がプライム効果が高かった
 - * lvf-RH : 49ms ($F(1, 30) = 30.12, MS_e = 38, 171$)
 - * rvf-LH : 25ms ($F(1, 30) = 8.59, MS_e = 9, 726$)
 - * ターゲット単語タイプと（大脳）半球での交互作用あり ($F(1, 30) = 9.35, MS_e = 4, 680$)
 - ・ プライム効果が lvf-RH で 24ms 優位であることを示している

- ▷ 正答できた課題 (Solved Problems)

²本当は性差も分析対象としているが，ほとんどの実験結果で性差は認められていない。また，要因計画は本文中にも明記されていない。そこで便宜上，このように表記した。

- LHの方が読み上げまでの遅延時間が短い傾向がみられた
 - * rvf-LHの方がlvf-RHより20ms早い ($F(1, 30) = 3.90, MS_e = 12,720, p < .06$)
- プライム効果(ターゲット単語 == 正答)が認められた
 - * Solved Problems全体で, Solutionの方がUnrelatedより79ms早い ($F(1, 30) = 15.16, MS_e = 123,504$)
- lvf-RHの方がプライム効果が高かった
 - * lvf-RH: 84ms ($F(1, 30) = 17.87, MS_e = 111.556$)
 - * rvf-LH: 41ms ($F(1, 30) = 4.84, MS_e = 26,569$)
 - * ターゲット単語タイプと(大脳)半球での交互作用の傾向あり ($F(1, 30) = 4.06, MS_e = 14,620, p < .06$)
 - ・ プライム効果がlvf-RHで43ms優位であることを示している

表 1: ターゲット単語読み上げまでの平均遅延時間 (ms) .

Target word	Unsolved Problems			Solved Problems		
	rvf-LH	lvf-RH	RH Advantage	rvf-LH	lvf-RH	RH Advantage
Unrelated	659	730		653	694	
Solution	635	681		612	611	
Priming	25*	49*	24*	41*	84*	43*

$p < .05$

実験 1B

目的

- ▷ 「解法の認識」について調べる

方法

参加者

- ▷ 40人(男性:16人,女性:24人)の大学生
- ▷ 右利き,ネイティブな英語話者

実験 1A との相違(これ以外は実験 1A と同じ)

- ▷ 単語読み上げの代わりに,ターゲット単語が解答か否かを判断(“yes”/“no”:ボタン押下)
 - “yes” == Hits: “no” == Correct Rejections (これらは,後の表では反応タイプと呼ぶ)
 - 押下する手は左右半づつ

結果

課題の正答率

- ▷ 7秒以内の正答率 21.6%($SD = 7.5$)
- ▷ ターゲット単語の正誤判定 93.7%($SD = 9.0$)

分析

- ▷ 検定は全て 5% 水準
- ▷ 5人のデータは外れ値のため差し替え (replaced)

- ▷ 性差は認められず

ターゲット単語の正誤判定までの平均遅延時間（表 2）について

- ▷ Solved Problems は違いが認められなかった
- ▷ （大脳）半球の主効果あり
 - lvf-RH の方が rvf-LH よりも 49ms 早い ($F(1, 38) = 7.41, MS_e = 87, 783$)
 - （大脳）半球と反応タイプ (Correct Rejects/Hits) の交互作用は認められず

表 2: ターゲット単語の正誤判定までの平均遅延時間 (ms) .

Response Type	Unsolved Problems		
	rvf-LH	lvf-RH	RH Advantage
Correct Rejections	1,772	1,740	32
Hits	1,769	1,704	65
			$M : 49^*$

$p < .05$

ターゲット単語の正誤判定についての正答率

- ▷ 信号検出理論を用いた分析 (d' ; 刺激検出力の指標)
 - rvf-LH : 76.2%; $d' = 1.91, SD = .69$
 - lvf-RH : 68.5%; $d' = 1.42, SD = .72$
 - * rvf-LH の方が lvf-RH よりも検出力が高い ($F(1, 39) = 20.58, MS_e = 5.8$)
 - * しかし, lvf-RH の反応速度の優位性と, rvf-LH の正答率の優位性に相関は認められず ($r(40) = .04$)
 - ・ つまり, lvf-RH の反応速度を上げるために, 正答率を犠牲にしたわけではない

実験 1A, 1B のまとめ

実験 1A

- ▷ 課題解決に失敗すると, lvf-RH のプライム効果が高かった
- ▷ 課題解決に成功すると, lvf-RH のプライム効果はわずかであった

実験 1B

- ▷ ターゲット単語の正誤判定は lvf-RH の方が早かった

実験 2A, 2B

- ▷ 課題解決時間を 7 秒から 2 秒に短縮
 - 課題解決方略を決定するには十分だが, 課題解決には不十分な時間
- ▷ 他の単語を用いたプライミング研究では十分な時間
- ▷ 1 つの実験で SOA を変動させる方法もあるが, 統計検定力が落ちるため実現が困難

方法

参加者

- ▷ 実験 2A, 2B それぞれ, 40 人 (男性: 20 人, 女性: 20 人) の大学生
- ▷ 右利き, ネイティブな英語話者

課題と手続き

- ▷ 実験 1A, 1B と基本的に同じ
- ▷ SOA が異なる (2,750ms)
 - 課題提示時間 (2,000ms) + トーン (250ms) + 注視点 (500ms)

実験 2A の結果

課題の正答率

- ▷ 2 秒以内の正答率 10.6% ($SD = 6.8$)
- ▷ ターゲット単語読み上げ 90.4% ($SD = 4.6$)

分析

- ▷ 検定は全て 5% 水準
- ▷ Unsolved Problems に対してのみ分析
 - Solved Problems が少数であったため
- ▷ 5 人のデータは外れ値のため差し替え

ターゲット単語読み上げまでの平均遅延時間 (表 3) について

- ▷ LH の方が読み上げまでの遅延時間が短かった
 - rvf-LH の方が lvf-RH より 54ms 早い ($F(1, 38) = 42.91, MS_e = 81, 450$)
- ▷ プライム効果が認められた
 - Solution の方が Unrelated より 45ms 早い³ ($F(1, 38) = 32.80, MS_e = 47, 334$)
- ▷ lvf-RH の方がプライム効果が高かった
 - lvf-RH : 38ms ($F(1, 38) = 21.24, MS_e = 28, 388$)
 - rvf-LH : 31ms ($F(1, 38) = 21.37, MS_e = 19, 375$)
 - ターゲット単語タイプと (大脳) 半球での交互作用は認められず
 - * 実験 1A で確認された「プライム効果が lvf-RH で 24ms 優位」を支持しない
- ▷ ターゲット単語タイプ × (大脳) 半球 × 性別で有意傾向 ($F(1, 38) = 3.51, MS_e = 2, 805, p < .07$)
 - 男性: 24ms RH プライミング優位 ($F(1, 19) = 4.23, MS_e = 2, 714, p < .06$)
 - 女性: 10ms LH プライミング優位 $F < 1.0$
 - * この実験でのみ, わずかな性差が確認された

³表 3 と合わない. 不明.

表 3: ターゲット単語読み上げまでの平均遅延時間 (ms) .

Target word	Unsolved Problems		
	rvf-LH	lvf-RH	RH Advantage
Unrelated	605	654	
Solution	574	616	
Priming	31*	38*	7

$p < .05$

実験 2B の結果

課題の正答率

- ▷ 2 秒以内の正答率 5.5% ($SD = 6.5$)
- ▷ ターゲット単語の正誤判定 97.5% ($SD = 2.5$)

分析

- ▷ 検定は全て 5% 水準
- ▷ Unsolved Problems に対してのみ分析
- ▷ 4 人のデータは外れ値のため差し替え

ターゲット単語の正誤判定までの平均遅延時間 (表 4) について

- ▷ 反応タイプ (Correct Rejections/Hits) の主効果あり
 - Hits の方が Correct Rejections よりも 256ms 早い
($F(1, 38) = 22.50, MS_e = 2, 329, 315$)
 - 交互作用なし

表 4: ターゲット単語の正誤判定までの平均遅延時間 (ms) .

Response Type	Unsolved Problems		
	rvf-LH	lvf-RH	RH Advantage
Correct Rejections	1,696	1,698	-3
Hits	1,449	1,434	14
			$M : 6$

$p < .05$

ターゲット単語の正誤判定についての正答率

- ▷ 信号検出理論を用いた分析 (d' ; 刺激検出力の指標)
 - rvf-LH : 78.6%; $d' = 1.98, SD = .63$
 - lvf-RH : 76.4%; $d' = 1.77, SD = .70$
 - * rvf-LH の方が lvf-RH よりも検出力が高い傾向 ($F(1, 39) = 3.43, MS_e = .8, p < .08$)
 - * rvf-LH の正答率の優位性と反応速度に相関は認められず ($r(40) = -.02$)
 - ・ 実験 1B と同様に, lvf-RH の反応速度を上げるために, 正答率を犠牲にしたわけではない

実験 2A, 2B のまとめ

実験 2A

- ▷ lvf-RH のプライム効果はわずかであった
 - 実験 1A (7 秒), Bowden & Beeman (1998) (15 秒) では RH の優位性が示されている

実験 2B

- ▷ (大脳) 半球の違いは認められず
 - 実験 1B (7 秒), Bowden & Beeman (1998) (15 秒) では RH の優位性が示されている

実験 3

目的

- ▷ 課題解決時間 7 秒, 15 秒では RH の優位性が認められ, 2 秒では RH と LH の差は認められなかった
 - (大脳) 半球の違いの差はあるのか?
 - 課題解決中の差はないのか?
 - * SOA を 1,250ms にして調べる

方法

参加者

- ▷ 32 人 (男性 : 16 人 , 女性 : 16 人) の大学生
- ▷ 右利き , ネイティブな英語話者

課題と手続き

- ▷ 基本的に実験 1A , 2A と同じ
- ▷ 以下の点が異なる
 - SOA が 1,250ms
 - * 課題提示時間 (1,000ms) + (トーン + 注視点 (250ms))
 - 課題の回答を声に出さない

結果

ターゲット単語読み上げ

- ▷ 89.2% ($SD = 11.1$)

分析

- ▷ 検定は全て 5% 水準
- ▷ 3 人のデータは外れ値のため差し替え

ターゲット単語読み上げまでの平均遅延時間 (表 5) について

- ▷ LH の方が読み上げまでの遅延時間が短かった
 - rvf-LH の方が lvf-RH より 57ms 早い ($F(1, 29) = 27.22, MS_e = 102, 779$)
- ▷ プライム効果が認められた
 - Solution の方が Unrelated より 45ms 早い ($F(1, 29) = 22.97, MS_e = 62, 439$)

表 5: ターゲット単語読み上げまでの平均遅延時間 (ms) .

Target word	Unsolved Problems		
	rvf-LH	lvf-RH	RH Advantage
Unrelated	696	752	
Solution	649	708	
Priming	46*	45*	-2

$p < .05$

経時的分析

これまでの研究，実験との比較

- ▷ 先行研究も含め，実質的な違いは課題解決時間のみ
 - ターゲットの関連性 × (大脳)半球が，課題解決時間と交互作用するか否か検討
- ▷ Figure 1
 - 課題関連プライム提示時間 (1.25, 2.75, 7.75, 15.75 sec) とターゲットの関連性 × (大脳)半球で交互作用あり ($F(3, 130) = 3.05, MS_e = 2, 627, p = .03$)
 - 7秒と15秒でRHの優位性があり，1秒と2秒ではないことがいえる
- ▷ Figure 2
 - 課題解決時間と(大脳)半球で交互作用あり ($F(1, 104) = 3.92, MS_e = 48, 175, p < .03$)
 - 7秒と15秒でRHの優位性があり，2秒ではないことがいえる

総合考察

プライム効果

- ▷ 課題提示後，3秒後までにあらわれる

(大脳)半球の差

- ▷ プライム効果によるRHの優位性は，時間の経過とともにあらわれる
- ▷ 本研究で得られたデータは，RH coarse semantic coding theory (Beeman, 1998; Beeman et al., 1994) を支持する内容であった
- ▷ LH/RHの役割
 - LH：すばやく，限定的な意味的活性化を行う
 - RH：拡散された意味的関連を維持し，意味的な再解釈を可能とする（会話中，LHでの失敗時）

まとめ

- ▷ 問題解決時には，まずRHとLHの両方が活性化される
 - LHの誤った方向と関連する情報は，すぐに弱まる
 - RHの情報は弱く，拡散している
 - * そのため，普段は意識上にのぼらない
 - * 解法を認識したときに，洞察経験をもたらす

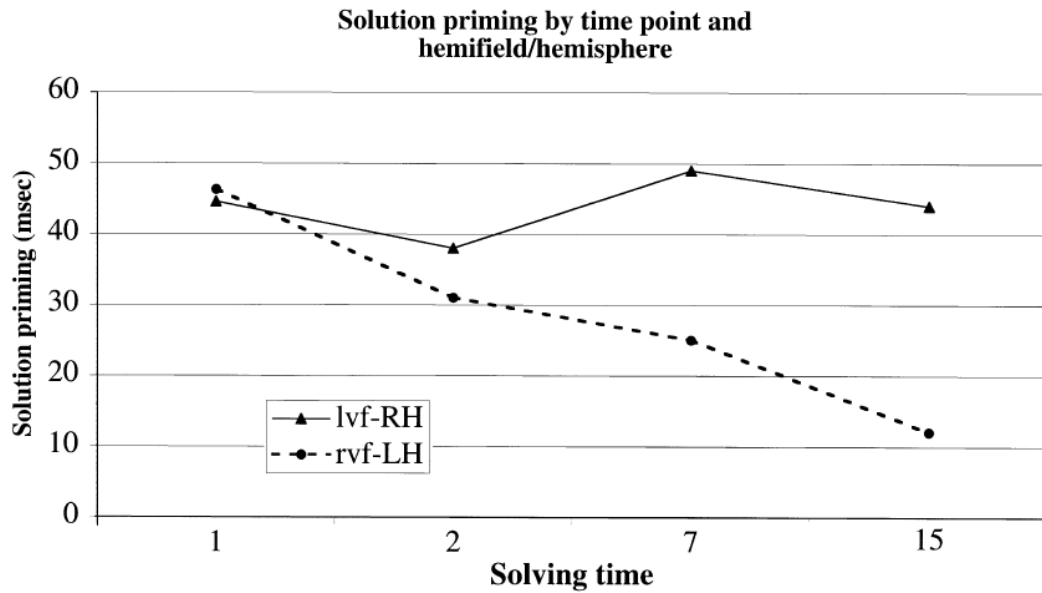


Figure 1. Solution-related priming for target words presented to the rvf-LH or to the lvf-RH, after 1, 2, 7, or 15 sec of solving effort, from Experiments 3, 2A, 1A, and Bowden and Beeman (1998) Experiment 1, respectively.

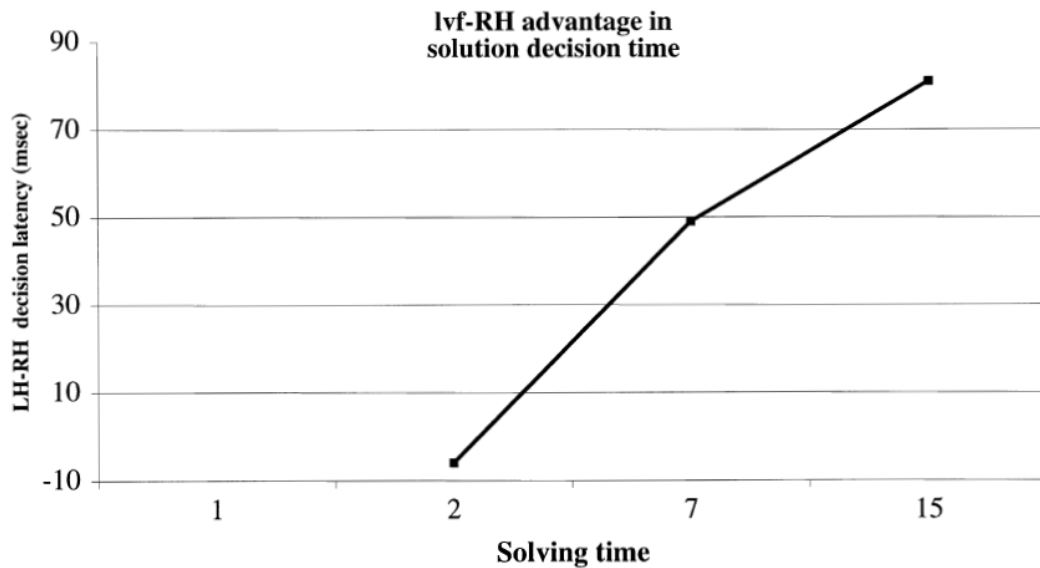


Figure 2. lvf-RH advantage in raw solution decision latency, after 1, 2, 7, or 15 sec of solving effort, from Experiments 2B, 1B, and Bowden and Beeman (1998) Experiment 2, respectively.