

Cognitive styles as an explanation of experts' individual differences: A case study in computer-assisted troubleshooting diagnosis

Julien Cegarra, Jean-Michel Hoc

International Journal of Human-Computer Studies, Vol. 64, pp. 123–136, 2006

1. Introduction

- オペレータの成績には、彼らの専門知識レベルの違いが影響する (e.g., Cellier et al., 1997)
 - 練習量は技能習得における主要な独立変数 (Chase & Simon, 1973)
- しかし専門知識レベルは優れた成績を厳密・確実に示すものではない (Cellier et al., 1997)
 - 熟達者ヒューリスティックスによって、最善ではない成績を残す場合がある (e.g., 確証バイアス)
- 練習量以外の説明要因を探すことは賢明である
 - 専門レベルが同程度のオペレータ間の差異を同定・説明するためにも、オペレータを区別することは有用であろう
- 本研究の目的は、熟達者間の個人差を説明し、それをより一般的に分析する基礎を築くこと

2. Some aspects of diagnosis activities

2.1. *The concept of diagnosis*

- 症状を症候群と比較する「診断」の共通点 (Hoc, 1990)
 - 要素を意味のある構造へ整理する理解活動
 - > 行動の決定権を持つオペレータによって整理が実施される
 - > オペレータは状況を適度に把握しながら、望ましい結果を目指して損益のバランスを保つ
 - 診断方略は複数存在する

2.2. *Dimensions of diagnosis strategies*

- 診断における基本要素 (Primitives) (Hoc & Carlier, 2000)

2.2.1. *Primitives related to representation*

- 表象タイプ
 - 地理的表象 (Topographic representation) 物体の物理的要素 (e.g., 電話プラグ)
 - 機能的表象 (Functional representation) 物体により実施される機能
 - > オペレータは機能的表象を用いて、抽象的な値を扱う (e.g., ユーザに発信音をフィードバック)

- 表象の複雑さ
 - 事実的知識 (症状) と関連付けられる表象は単純
 - > e.g., 発信時にクリック音を聞く
 - 構造的知識 (症候群) と関連付けられる表象は、複数の結果が存在するため複雑
 - > e.g., 悪天候による断線で顧客を巻き込む

2.2.2. *Primitive related to processing: complexity of hypothesis processing*

- 検査の種類
 - 連続検査 仮説をひとつずつ検証
 - 同時検査 一度に複数の仮説を検証

3. **Explanations of individual differences in diagnosis**

- 本研究の目的は、診断基本要素と、専門知識レベル・認知スタイルの関係性を明らかにすること
 - 診断における個人差を説明できるだろう

3.1. *The role of expertise on diagnosis strategies*

- 専門知識の特徴 (Cellier et al., 1997)
 - 状況に関するより全体的で機能的な表象を構築できる (Hoc & Carlier, 2000)
 - > 専門知識を得るに従い、機能的表象の割合が増加
 - 推論を生成し、より良い予測を可能にする
 - > 状況が複雑になるほど認知的負荷が軽減され、予測が正確になる (Bainbridge, 1989)

3.2. *The role of cognitive styles in diagnosis strategies*

- 認知スタイルとは、情報を整理・表現するため、当人が好んで用いる習慣的手法 (Riding & Rayner, 1998)
 - 浅薄 / 深遠 (Biggs, 1978), 同調 / 探求 (Goldsmith, 1986), 発散 / 収束 (Hudson, 1966), 熟考 / 衝動 (Kagan, 1966), 適応 / 革新 (Kirton, 1976), 視覚的 / 言語的 (Richardson, 1977), 状況依存 / 状況独立 (Witkin et al., 1977), 感覚志向 / 感覚回避 (Zuckerman, 1979)

3.2.1. *Holism and serialism*

- 本研究では、全体 (Holism) / 継起 (Serialism) (Pask, 1976) の認知スタイルでオペレータを分類
 - 全体方略 課題の様々な部分に同時に着手する全体的手法
 - 継起方略 一度に課題の一側面ずつ着手する局所的手法

3.2.2. *Field dependence/independence and task/resource commitment*

- 診断では、認知的費用の量と結果のバランスを常に取らなければならない

- リスク管理の一種である認知的譲歩 (Cognitive compromise) (Amalberti, 1996; Hoc, 2005)
 - > 費用がかさむと、認知資源の飽和から、高難度感 (Feeling of difficulty) を招く
 - > 全体的な費用不足になると、知識不足になり、理解不能感 (Feeling of incomprehension) を招く
- 本研究では、認知的譲歩のスタイルによってオペレータを分類
 - 課題重視傾向 (Task-committed) 課題に対して認知資源を独占的に使用する傾向
 - > 複雑さが増したとき、認知的負荷増加をそのまま受け入れる
 - 資源重視傾向 (Resource-committed) 認知資源を守るため、負荷を軽減する傾向
 - > 複雑さが増したとき、より抽象的な表象を用いて認知的負荷を軽減する
- 本研究では、専門知識レベルと認知スタイル (全体 / 継起, 課題重視 / 資源重視) の観点から、ケーススタディを通して診断方略の特徴を検証する

4. A case study: troubleshooting diagnosis

- 専門知識と認知スタイルに関する仮説を検証するため, Jouglet et al. (2003) のデータを再検討する
 - 電話会社オペレータ向けの故障診断支援ツール (Jouglet, 2000; Jouglet et al., 2003)
 - > 500 以上の故障 (症状) と 49 の主要な障害 (症候群) を, 表象ごとに階層的に提示
 - ツール使用の結果, 平均診断成績は 69.1%であった
 - > しかしオペレータ間では 20%から 93.33%にばらつき, 均一ではなかった

5. Method

5.1. Participants and scenarios

- 15 シナリオのうち, 診断失敗数から, 単純 3 シナリオと複雑 3 シナリオを選択
- 10 名から, 低成績群 3 名 (正答率 47% ± 23%) と高成績群 3 名 (86% ± 6.5%) を抽出
 - 最も成功率の低いオペレータ (正答率 20%) は支援ツールを信用していなかった

5.2. Data analysis

- 認知的活動を推測する Predicate-argument structure を使用 (Hoc & Amalberti, 2004)
 - オペレータ-仮想顧客間の対話と, コンピュータ上の操作からコーディング
 - 行動を術部 (Predicates) にコーディングし, その内容から根拠 (Argument) をコーディング (Fig. 1)
- コーディングサンプル (Table 1)
 - オペレータ発話「この電話番号に何台の電話機が繋がっていますか?」は, 仮説生成 (HYPGEN predicate) と, 電話台数に関する情報統合目標 (IGG predicate) にコーディング
 - > 物理的物体である電話に関する発話 表象タイプ: 地理的

- > 複数の症状を持つ症候群に関する発話 表象の複雑性: 構造的
- > ひとつの仮説のみに言及した発話 検査: 連続検査

- 認知的負荷は、保持された症候群の数により算出
 - 症候群数の増加は短期記憶容量を圧迫

5.3. Hypotheses summary

- 熟達者の成績に個人差が生じた理由について、以下の仮説を検証
 - 専門知識レベルに起因するなら…
 - > 高成績群は、より抽象的な機能的・構造的表象を使用し、認知的負荷を軽減しているだろう
 - > 課題の複雑性には依存しないだろう
 - 全体 / 継起の認知スタイルに起因するなら…
 - > 高成績群は、より複雑な仮説検証である連続検査を多く使用しているだろう
 - > 課題の複雑性には依存しないだろう
 - 課題 / 資源の重視傾向に起因するなら…
 - > 資源重視の低成績群は、課題の複雑性が上昇すると認知的負荷を軽減するため、抽象的な機能的・構造的表象を用いるだろう
 - > 課題重視の高成績群は、課題の複雑性上昇による認知的負荷の増加を受け入れるだろう

6. Results

- 帰無仮説検定 (t 検定) と、補助的にベイジアン法を用いて分析

6.1. General analysis of the dimensions

6.1.1. Representation type is mainly functional

- 事例の 67% で機能的表象を、22% で地理的表象を形成
 - 観察可能な出来事に限定すると、機能的表象が事例の 76% を ($\phi(4) = 75.8 \pm 12.8$, $\gamma = .95$), 地理的表象が 24% を占めた ($\phi(4) = 24.1 \pm 12.8$, $\gamma = .95$)

6.1.2. Representation complexity is mainly structural

- 事例の 87% で構造的表象を、12% で事象的表象を形成
 - 観察可能な出来事に限定すると、構造的表象が事例の 88% を ($\phi(4) = 87.9 \pm 5.6$, $\gamma = .95$), 地理的表象が 12% を占めた ($\phi(4) = 12.8 \pm 5.6$, $\gamma = .95$)

6.1.3. Hypothesis testing is mainly done using successive scanning

- 仮説検証において、事例の 86% で連続検査が ($\phi(4) = 86.2 \pm 8.2$, $\gamma = .95$), 14% で同時検査が用いられ

た ($\phi(4) = 13.7 \pm 8.2$, $\gamma = .95$)

- 今回の診断では基本的に、連続検査を行いながら、機能的表象・構造的表象を用いていた

6.2. Analysis of representation and processing

6.2.1. Type of representation and representation complexity

- 機能的表象の形成 (Fig. 2)
 - 単純シナリオ
 - > 成績群間で機能的表象の形成に差はなかったが、ベイジアン法の結果からその効果は無視できない ($t(4) = 1.33$; NS; $p > .20$; $\delta > 4.6\%$, $\gamma = .80$)
 - > よって、高成績群は低成績群に比べ、より多くの機能的表象を形成していた
 - 複雑シナリオ
 - > 機能的表象と成績の関連は見られず ($t(4) = 0.42$; NS; $p > .60$)
 - 低成績群
 - > 複雑性間で機能的表象の形成に差はなかったが、ベイジアン法の結果からその効果は無視できない ($t(2) = 1.34$; NS; $p > .30$; $\delta > 3.7\%$, $\gamma = .80$)
 - > よって、状況が複雑になるにつれ、より多くの機能的表象を形成していた
 - 高成績群
 - > 機能的表象と複雑性の関連は見られず ($t(2) = 0.68$; NS; $p > .50$)
- 構造的表象の形成 (Fig. 3)
 - 単純シナリオ
 - > 成績群間で構造的表象の形成に差はなかったが、ベイジアン法の結果からその効果は無視できない ($t(4) = 2.35$; NS; $p > .05$; $\delta > 7.4\%$, $\gamma = .80$)
 - > よって、高成績群は低成績群に比べ、より多くの構造的表象を形成していた
 - 複雑シナリオ
 - > 構造的表象と成績の関連は見られず ($t(4) = 0.51$; NS; $p > .60$)
 - 低成績群
 - > 複雑性間で構造的表象の形成に差はなかったが、ベイジアン法の結果からその効果は無視できない ($t(2) = 3.14$; NS; $p > .05$; $\delta > 8.5\%$, $\gamma = .80$)
 - > よって、状況が複雑になるにつれ、より多くの構造的表象を形成していた
 - 高成績群
 - > 構造的表象と複雑性の関連は見られず ($t(2) = 0.66$; NS; $p > .50$)
- 単純シナリオを複雑性が“多少”高いと捉えると、専門知識レベル仮説と一致

- 単純シナリオで高成績群は、抽象的な機能的表象・構造的表象をより多く用いていた
- 一方、複雑性が“極めて”高い複雑シナリオでは、表象から成績群を分けることはできない
 - グラフ上で交差している以上、専門知識レベルだけでは十分に説明できない

6.2.2. Hypothesis scanning

- 連続検査の実施 (Fig. 4)
 - 単純シナリオ
 - > 成績群間で連続検査の実施に差があった ($t(4) = 4.09$; S ; $p < .02$; $d > 11\%$, $\gamma = .80$)
 - > よって、高成績群は低成績群に比べ、より多くの連続検査を実施していた
 - 複雑シナリオ
 - > 連続検査と成績の関連は見られず ($t(4) = 0.18$; NS ; $p > .80$)
- 全体 / 継起の認知スタイルで捉えると、単純シナリオでは高成績群が連続検査を多く実施していた
 - ただし、複雑シナリオでは両群を分けることはできない

6.2.3. Cognitive workload

- 認知的負荷の量 (Fig. 5)
 - 単純シナリオ
 - > 成績群間で認知的負荷の量に差はなかったが、ベイジアン法の結果からその効果は無視できない ($t(4) = 1.88$; NS ; $p > .10$; $d > 4.49$, $\gamma = .80$)
 - > よって、高成績群は低成績群に比べ、認知的負荷がより小さかった
 - 複雑シナリオ
 - > 成績群間で認知的負荷の量に差があった ($t(4) = 2.77$; S ; $p < .05$; $d > 3.72$, $\gamma = .80$)
 - > よって、高成績群は低成績群に比べ、認知的負荷がより大きかった
 - 低成績群
 - > 複雑さ間で認知的負荷の量に差はなかったが、ベイジアン法の結果からその効果は無視できない ($t(2) = 1.63$; NS ; $p > .20$; $d > 4$, $\gamma = .80$)
 - > よって、状況が複雑になるにつれ、認知的負荷がより減少した (i.e., 認知資源を守った)
 - 高成績群
 - > 複雑さ間で認知的負荷の量に差はなかったが、ベイジアン法の結果からその効果は無視できない ($t(2) = 2.55$; NS ; $p > .10$; $d > 2.83$, $\gamma = .80$)
 - > よって、状況が複雑になるにつれ、認知的負荷がより増加した (i.e., 認知資源を投入した)
- 課題 / 資源の重視傾向スタイル仮説を支持する結果が得られた

7. Discussion

7.1. Relevance of task/resource commitment to explaining results

- 本研究では、診断成績の個人差について検証した
 - 専門知識に起因するなら、高成績群は抽象的表象が多く、認知的負荷が小さいだろう
 - > 複雑性 低 この仮説を支持
 - > 複雑性 高 低成績群のほうがむしろ負荷は低く、両表象を多く形成していた
 - 全体 / 継起スタイルに起因するなら、高成績群は複雑な連続検査が多いだろう
 - > 複雑性 低 この仮説を支持
 - > 複雑性 高 成績の違いを分けることができず、表象の違いも説明できなかった
 - 課題 / 資源重視傾向に起因するなら、低成績群は負荷軽減のため、抽象的表象を用いるだろう
 - > 低成績群 複雑性上昇に伴い、負荷を軽減するために多くの構造的・機能的表象を形成
 - > 高成績群 複雑性上昇に伴う負荷増加を受け入れた
- 課題 / 資源重視傾向の区別によって、熟達者間の個人差を説明することができた
 - ただし、成績が専門知識の定義として常に良いとは限らない点は留意
- コンピュータとのインタラクションでは、成績は認知スタイルによって決まる (e.g., Van der Veer, 1989)
 - 課題 / 資源重視傾向に合わせた支援ツールが提供できれば、全員が良い成績を取れるだろう

7.2. Cognitive styles and cognitive ergonomics

- 実験室の課題に比べ、実環境の課題は個人差を生じさせやすい (Baron & Treiman, 1980)
 - 生態的妥当性を主張するには、人工的な状況においてもオペレータの専門知識における個人差を再現しなければならない (Hoc, 2001)
- 認知スタイルには多くの側面があるため、どれを分析するかを決めるのは困難
 - スタイルの発現 (Manifestation) ではなく、真相 (Genuine) はどれか
 - > 今回の結果では、課題 / 資源重視傾向が多くの結果を説明できた
 - 他のスタイルとは異なり、独立したスタイルはどれか
 - > 衝動的 / 熟慮的と全体 / 継起はともに仮説検証タイプを説明しており、独立ではない
 - その領域において重要なスタイルはどれか
 - > インタフェースデザインではユーザの選好予測のための視覚化 / 言語化が重要

8. Conclusion

- 認知スタイル研究が認知的人間工学へ統合されると、応用研究のみならず基礎研究にも貢献できる
 - 生態学的妥当性や個人差発生観点から、実験環境においても認知スタイルは重要

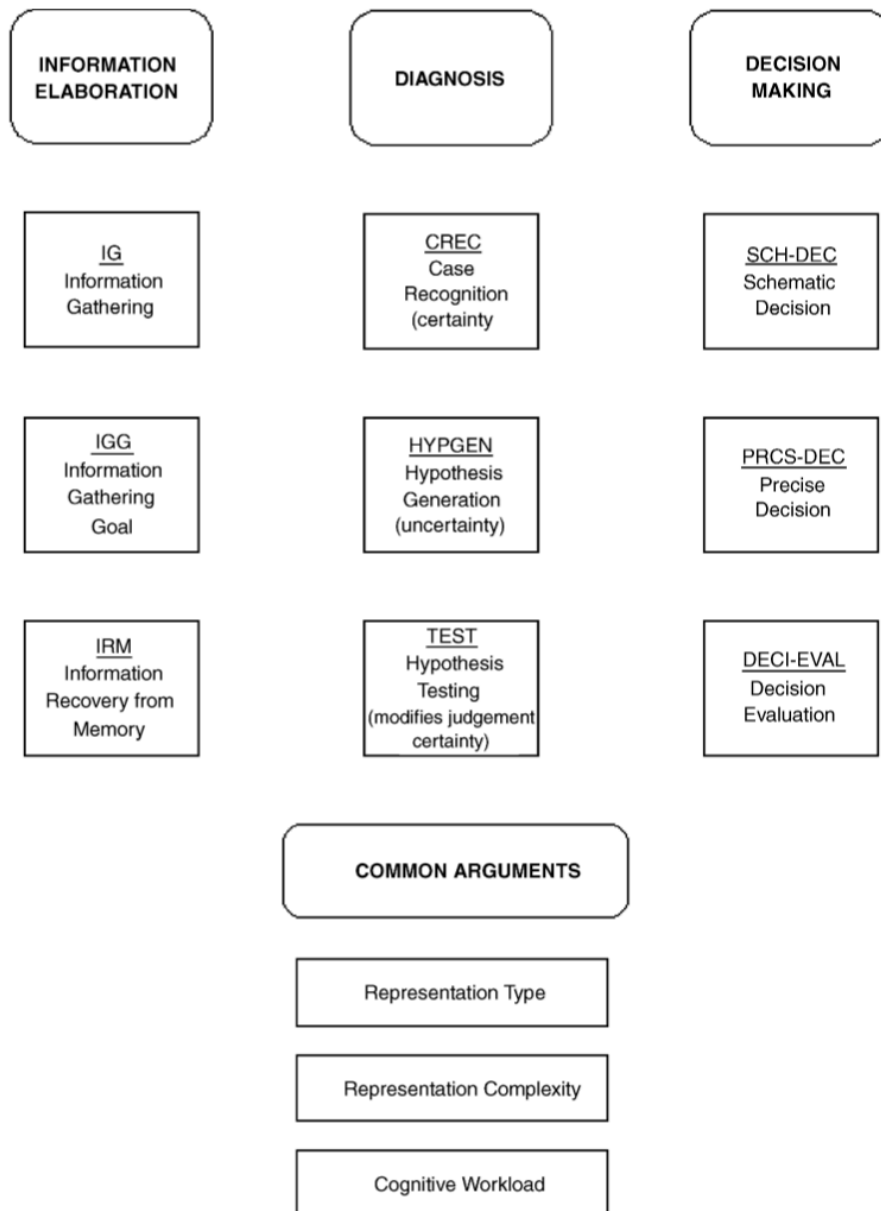


Fig. 1. Coding scheme (adapted from Hoc and Carlier, 2000). The predicates are presented in the upper three columns, the common arguments in the lower column. Other arguments which are specific to certain predicates are not presented here, but can be found within the text of this paper.

Table 1
Sample of a coded protocol

Raw protocol	Coded protocol
Operator: How many telephones are connected to this phone number?	<p><i>HYPGEN(hypothesis number, time concerned by this hypothesis, representation type, representation complexity, cognitive workload, object, variable, value, condition, goal)</i> <i>HYPGEN(1, present, topographic, structural, 49, apparatus, number, several, computer check, enrichment)</i> <i>IGG(means, time concerned, representation type, representation complexity, cognitive workload, object, variable, value, condition, goal)</i> <i>IGG(client, present, topographic, structural, apparatus, 49, number, ?, hypothesis, test)</i></p>
Client: On this number, there is only one.	<p><i>IG(means, time concerned, representation type, representation complexity, cognitive workload, object, variable, value, level of interpretation of the value, condition, goal)</i> <i>IG(client, present, topographic, structural, 48, apparatus, number, one, basic, hypothesis, test)</i> <i>TEST(hypothesis number, means, time concerned, representation type, representation complexity, cognitive workload, object, variable, value, issue)</i> <i>TEST(1, client, present, topographic, structural, 48, apparatus, number, several, invalidation, rejection)</i></p>

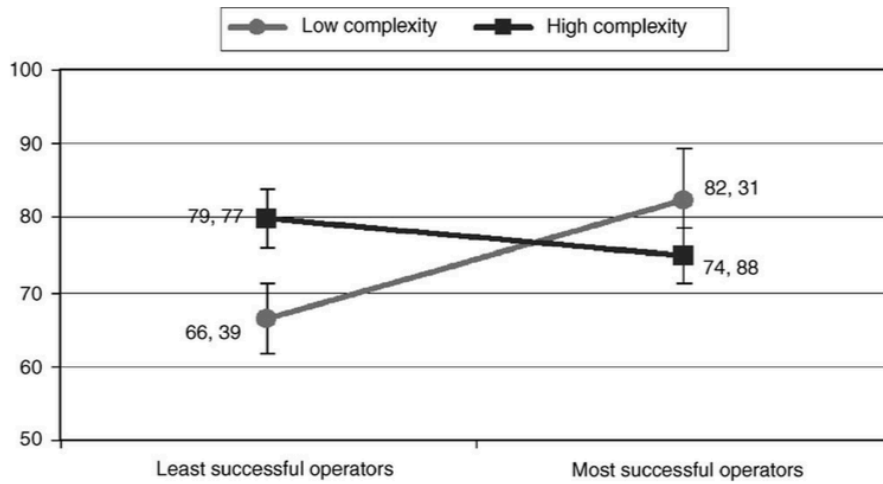


Fig. 2. Effect of operator performance on the percentage of functional representations according to the level of complexity of the situation. Error bars represent SEM.

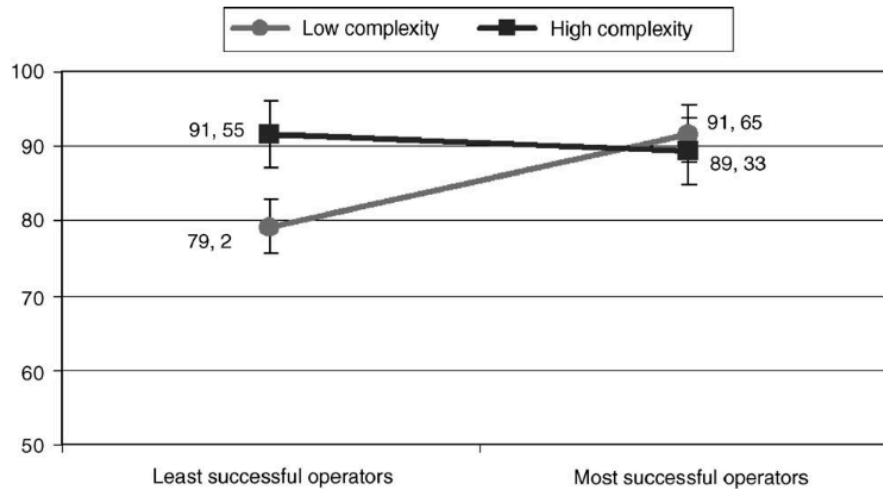


Fig. 3. Effect of operator performance on the percentage of structural representations according to the level of complexity of the situation. Error bars represent SEM.

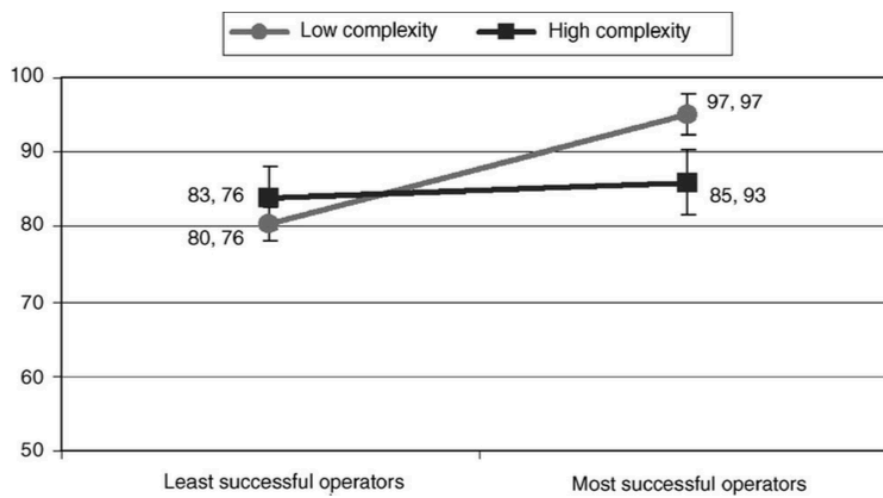


Fig. 4. Effect of operator performance on the percentage of successive scanning hypothesis processing according to the level of complexity of the situation. Error bars represent SEM.

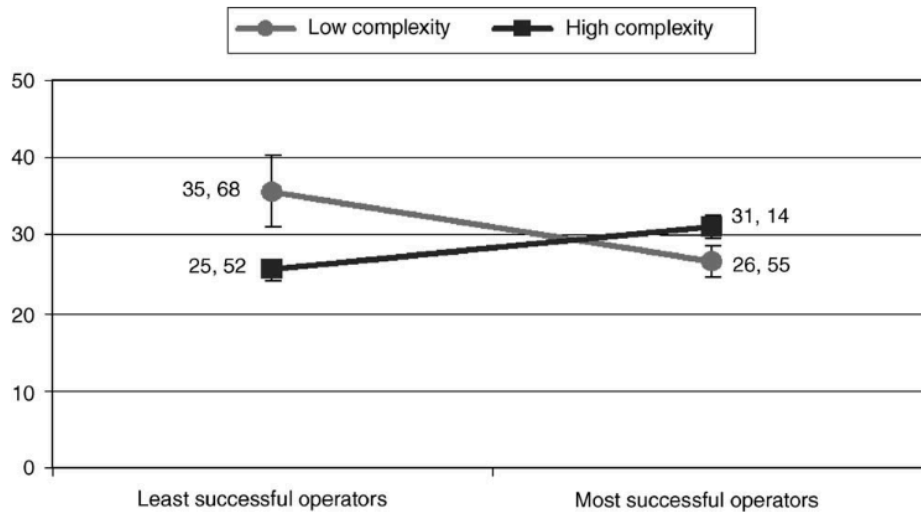


Fig. 5. Effect of operator performance on the cognitive workload according to the level of complexity of the situation. Error bars represent SEM.

Table 2
Summary of results

Mean (s.d.)	Least successful operators	Most successful operators	Bayesian judgement ($\gamma = .80$)	t value sig. level (df)	Mean (s.d.)	Least successful operators	Most successful operators	Bayesian judgement ($\gamma = .80$)	t value sig. level (df)
<i>Functional representation</i>					<i>Structural representation</i>				
Low complexity	0.6639 (0.117)	0.823 (0.153)	$\delta > 4.6$	1.331 n.s. $p > .20$ (4)	Low complexity	0.792 (0.063)	0.9165 (0.079)	$\delta > 7.4$	2.355 n.s. $p > .05$ (4)
High complexity	0.7977 (0.171)	0.7488 (0.115)		0.42 n.s. $p > .60$ (4)	High complexity	0.9155 (0.066)	0.8933 (0.035)		0.521 n.s. $p > .60$ (4)
Bayesian judgement ($\gamma = .80$)	$\delta > 3.7$				Bayesian judgement ($\gamma = .80$)	$\delta > 8.5$			
t value	1.342 n.s.	0.687 n.s.			t value	3.147 n.s.	0.668 n.s.		
Sig. level (df)	$p > .30$ (2)	$p > .50$ (2)			Sig. level (df)	$p > .05$ (2)	$p > .50$ (2)		
<i>Hypothesis scanning</i>					<i>Cognitive workload</i>				
Low complexity	0.8036 (0.039)	0.9497 (0.108)	$\delta > 11$	4.092 $p < .02$ (4)	Low complexity	35.68 (7.940)	26.55 (3.169)	$\delta > 4.49$	1.888 n.s. $p > .10$ (4)
High complexity	0.8376 (0.047)	0.8593 (0.122)		0.186 n.s. $p > .80$ (4)	High complexity	25.52 (2.859)	31.14 (1.629)	$\delta > 3.72$	2.778 $p < .05$ (4)
Bayesian judgement ($\gamma = .80$)					Bayesian judgement ($\gamma = .80$)	$\delta > 4$ $\delta > 2.837$			
t value	0.343 n.s.	1.189 n.s.			t value	1.631 n.s.	2.557 n.s.		
Sig. level (df)	$p > .70$ (2)	$p > .30$ (2)			Sig. level (df)	$p > .20$ (2)	$p > .10$ (2)		

Note: There is no interaction effect of complexity and operators' performance in these analyses. In line: effects due to operators differences. In column: effects due to complexity levels.