

Cierniak, G., Scheiter, K., & Gerjets, P. (2009). Explaining the split-attention effect: Is the reduction of extraneous cognitive load accompanied by an increase in germane cognitive load?. *Computers in Human Behavior*, 25(2), 315-324.

## 1. Introduction

- 認知負荷の基本原則は、教材設計が学習者の限られたワーキングメモリに負荷を与え、学習結果に影響を及ぼすということだ
- 認知負荷理論は、3つに負荷を区別している
  - 課題内在性負荷：複雑さ(関連する要素の相互作用)と学習者の先行知識で決定。学習内容によって規定される
  - 課題外在性負荷：不要な情報処理。教材の設計によって決定
  - 学習関連負荷：教材の設計によって決定
- 注意分断効果(split-attention effect)
  - 認知負荷研究によって提案された教材設計の考え方
  - 相互に関連する複数の情報源(文章とイラストなど)は、複雑なことを理解するためには必須
  - テキストとイラストが統合された形式(統合形式)のほうが、別々に配置されている分割形式よりも優れている(Ginns 2006)
  - 認知負荷理論で注意分断効果をどう説明するかには、実証研究が少なく、その結果も矛盾している(後に説明)
  - それゆえ、本研究では、注意分断効果を認知負荷理論がどう説明するかを分析し、検証する

### 1.1 注意分断効果のメカニズム

- 注意分断効果には2つの説明がされていて、それぞれ異なる仮定を行っている
- 課題外在性負荷説明
  - 古くからある一般的な説明
  - 分割形式よりも統合形式のほうが、課題外在性負荷が低いので、優れている
  - 分割形式では、心的に情報を統合しなければならず、その処理は本来なら不要であるので、課題外在性負荷である
- 学習関連負荷説明
  - 分割形式よりも統合形式のほうが、学習関連負荷が高まるので、優れている
  - 分割形式では情報の統合にリソースが割かれるが、統合形式ではワーキングメモリはより学習に関連した処理に割かれる
  - それゆえ、課題外在性負荷の減少だけでなく、学習に関連した処理が増加するので、統合形式が優れているという説明

## 1.2 注意分断効果と認知負荷測定指標

- 注意分断効果が課題外在性負荷の減少のみで説明できるのかどうかを検証するには、各認知負荷を測定できなければならない
- 第二課題と主観評定で計測する
- 第二課題
  - 課題外在性負荷説明によって予測されている、学習者の認知負荷総量の違いを検証するのに有効な指標
  - 主課題のパフォーマンス(学習)に影響せず、知覚レベルでなく認知的レベルで学習者の認知容量を反映する課題である必要がある
- 主観評定
  - 認知負荷を個別に測定するのに有効な指標
  - 学習者は正確に自分の心的努力を報告できないという批判もある (Schnotz & Kürschner, 2007)が、主観評定が各認知負荷を他の生理学的指標よりも正確に測定できることは示されている (Paas, Van Merriënboer, & Adam, 1994)
  - 課題内在性負荷と課題外在性負荷に関する質問は、多くの研究がされてきているが、学習関連負荷に関する質問はまだ多くない。
  - Salomon(1984)の研究では、認知負荷理論の学習関連負荷に相当する心的努力を計測するために、どれだけ集中していたかを聞いていた

## 1.3 リサーチクエスチョンと仮説

- 学習効果：注意分断効果によって、統合形式で学習したほうが、分断形式で学習するよりもテストで高い成績を獲得する
- 第二課題の成績：
  - 課題外在性負荷説明が正しい場合：分断形式での学習のほうが、課題外在性負荷が高まるので、その分認知負荷総量が高い
  - 学習関連負荷説明が正しい場合：統合形式では、課題外在性負荷が減少する分、学習関連負荷が高まるので、どちらでも認知負荷総量に違いはない
- 主観評定の成績：
  - 課題外在性負荷説明が正しい場合：分断形式での学習のほうが、課題外在性負荷が高い。課題内在性負荷と学習関連負荷は、どちらも同じ
  - 学習関連負荷説明が正しい場合：統合形式では、課題外在性負荷が低く、学習関連負荷が高い。課題内在性負荷は、どちらも同じ

## 2 実験

### 2.1 実験計画

- 103人の大学生(5名除外)
- 2×3の実験計画
  - 教材要因：統合/分断

- 第二課題要因：なし/知覚課題/認知課題

## 2.2 学習内容

### ● 学習教材

- 腎臓の機能について学習
- コンピューターでの学習システムにおいて、2つの複雑な図と説明文が提示
- 腎臓の構造(3分)→腎臓での処理(10分)(Fig1)
- 説明文の位置が統合条件と分断条件で異なる

教材要因	第二課題要因	人数
(イラストと説明が) 統合	なし(課題負担なし)	15名
	知覚(課題負担中)	17名
	認知(課題負担高)	19名
(イラストと説明が) 分断	なし	14名
	知覚	16名
	認知	17名

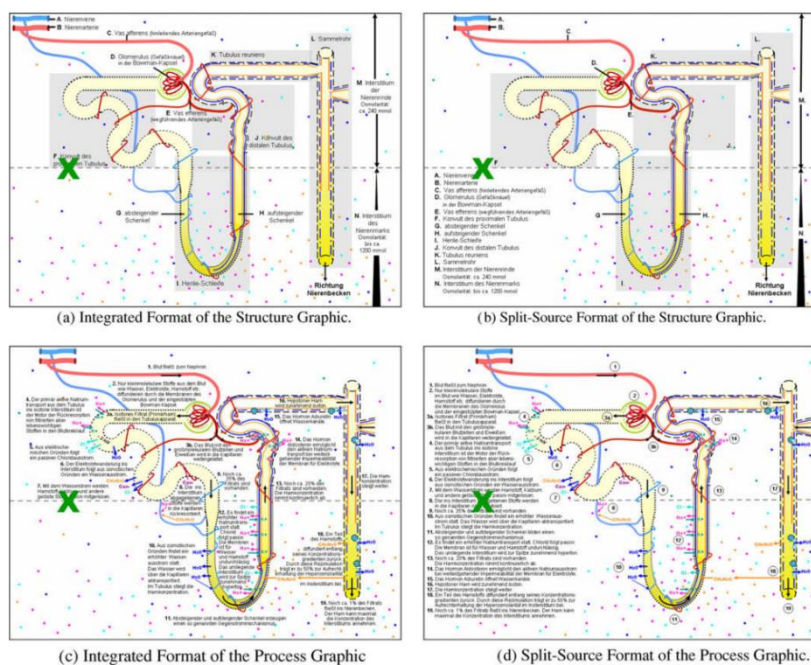


Fig. 1. Illustrations of the instructional materials about the structure and physiological processes of a nephron with the so called perceptual secondary task stimulus (letter X).

### ● 知識テスト

- コンピューターで受ける形式のテスト4つ
- 1:専門用語テスト：腎臓の構造について9つの問題。4択
- 2:ラベリングテスト：腎臓のイラストで指定された場所の構造名を答える。12選択肢、12問
- 3:複雑な事実判断テスト：学習素材のイラストと説明文の関係を理解しているかをテスト。腎臓の処理機能についての22問の正誤判断
- 4:推論テスト：腎臓での現象についての因果関係の推論(もしタンパク質が検出された場合、腎循環に問題があると考えられる などの)文章の正誤判断。20問

### ● 認知負荷測定指標

- 認知負荷総量を測るための第二課題と、各認知負荷を計測するための主観評定
- 2種類の第二課題
  - ◇ 知覚課題：赤 or 緑の「X」が現れると、反応する
  - ◇ 認知課題：教材の背景が赤 or 緑に変化すると、反応する
- 主観評定
  - ◇ 6件法
  - ◇ 課題内在性負荷の主観評定「学習内容はあなたにとってどれくらい難しかったか」
  - ◇ 課題外在性負荷の主観評定「その学習教材で勉強するのはどれくらい難しかったか」
  - ◇ 学習関連負荷の主観評定「学習中にどれくらい集中したか」
- 認知容量
  - 学習者によってワーキングメモリ容量は異なると想定される
  - ワーキングメモリ容量を測定するテスト「BIS-4-S」を実施

## 2.3 手続き

- 認知容量測定(BIS-4-S)
- 知識テスト(4つ)：プレテスト
- 第二課題実施群のみベースラインの測定
  - 緑になるべく早く反応し、赤には反応しない
- 学習フェーズ
  - 第二課題実施群では、知覚課題 or 認知課題の第二課題を並行して実施。反応時間を測定
  - 知覚課題：緑の X が現れたらなるべく早く反応する
  - 認知課題：背景が緑になったらなるべく早く反応する
- 主観評定
- 知識テスト(4つ)：ポストテスト
  - 各問題について解答の自信度を 5 件法で評定

## 2.4 データ分析方法(知識テスト)

- 正解→1点、不正解→0点で集計。自信度で重み付け
- 自信度を用いる 2 つの利点
  - 推測の解答を無視でき、信頼性が上がる
  - 組み合わせられた知識を考慮に入れることができる

## 3 結果

- プレテストの結果について
  - 教材要因(統合形式/分割形式)×第二課題要因(なし/知覚/認知)の分散の多変量解析(従属変数が 1 つではなく、従属変数の組み合わせを考慮できる分散分析の拡張)

- ◇ 統合形式と分割形式の参加者の間に差はなし
- ◇ 第二課題実施群と第二課題非実施群の間にも差はなし
- ランダム化のチェック
  - 参加者が認知容量の点でランダムに各実験群に割り振られていたかを確認
  - 教材要因と第二課題要因を説明変数とする分散分析
  - 分割形式群が、統合形式群よりも有意に認知容量が高かった ( $F(1,87)=4.75$ ,  $p=.032$ )
  - 以降の分析では、認知容量を共変量や予測因子にすることで、群間で認知容量を統計的にコントロールした

### 3.1 学習効果

- 統合形式の学習者が、分割形式の学習者よりも高い成績であったかを調べるため、認知容量を統制しつつ、教材要因と第二課題要因を説明変数、学習効果を被説明変数とする多変量分散分析
  - 統合形式の学習者が、分散分析の学習者よりも高い成績を記録した ( $\text{Wilk's } \lambda = .681$ ,  $F(6,81) = 6.331$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .319$ )。
  - 学習者が第二課題を行っていても行わなくても、学習効果は得られた ( $\text{Wilk's } \lambda = .916$ ,  $F(12,162) = .607$ ,  $p = .835$ ,  $\eta_p^2 = .043$ )。
- さらに注意分断効果の詳細を調べるため、認知容量を統制しつつ、教材要因と第二課題要因を説明変数、ポストテスト成績を被説明変数とする共分散分析 (Table 1)
  - 統合形式の学習者は、分割形式の学習者よりも、専門用語テスト ( $F(1,86) = 5.767$ ,  $\text{MSE} = 274.311$ ,  $p = .018$ ,  $f = 0.237$ )・ラベリングテスト ( $F(1,86) = 29.795$ ,  $\text{MSE} = 343.119$ ,  $p < .001$ ,  $f = 0.506$ )・複雑な事実判断テスト ( $F(1,86) = 19.187$ ,  $\text{MSE} = 117.739$ ,  $p < .001$ ,  $f = 0.427$ )の得点が高かった。しかし、推論テストには有意な差はなかった ( $F < 1$ )。
  - すべての種類のテストにおいて、第二課題の実施の有無は、学習効果に影響を与えなかった。
  - すべての種類のテストにおいて、教材要因と第二課題要因の間に交互作用はなかったが、専門用語テストにおいては有意傾向であった ( $F(2,86) = 2.675$ ,  $\text{MSE} = 733.827$ ,  $p = .075$ ,  $f = 0.227$ )。

**Table 1**  
Means and standard errors of the knowledge post-tests as a function of instructional format, presence of a secondary task, and processing capacity.

		$ST_{\text{perceptual}}$		$ST_{\text{cognitive}}$		$ST_{\text{without}}$	
		Integrated (n = 17)	Split (n = 15)	Integrated (n = 17)	Split (n = 17)	Integrated (n = 14)	Split (n = 13)
Terms (%)	M	66.812	50.551	71.454	59.140	65.615	68.633
	SE	(4.068)	(4.281)	(4.031)	(4.160)	(4.434)	(4.595)
Labels (%)	M	65.254	44.581	72.891	47.690	71.433	52.337
	SE	(4.550)	(4.788)	(4.508)	(4.653)	(4.959)	(5.139)
Facts (%)	M	37.603	25.389	38.997	29.612	39.531	30.588
	SE	(2.665)	(2.805)	(2.641)	(2.725)	(2.905)	(3.010)
Inferences (%)	M	23.378	24.242	25.271	20.486	23.968	26.867
	SE	(2.355)	(2.479)	(2.334)	(2.408)	(2.567)	(2.660)

Note. ST, secondary task; n, sample size; M, mean; SE, standard error.

### 3.2 認知負荷測定指標

- 注意分断効果は確認できたので、認知負荷測定指標を分析した
- 第二課題成績
  - 分割形式の学習者は認知負荷総量が高かったかどうかを調べるため、2種類の第二課題への反応時間の平均を比較した(ベースライン/学習フェーズ(説明)/学習フェーズ(図)/イラストの処理時)
  - 知覚課題・認知課題のそれぞれについて、ベースラインによって個人間の差を調整した後、反応時間を被説明変数、教材要因を説明変数とする分散の多変量解析を行った(Table2)
  - 知覚課題については、分割形式の学習者は、統合形式の学習者よりも反応時間が長くなるということは確認できなかった。これは課題外在性負荷説明を支持しない
  - 認知課題についても、分割形式の学習者は、統合形式の学習者よりも反応時間が長くなることはなかった。有意差はなかったが、分割形式の学習者のほうが統合形式の学習者よりも素早く反応していた。この結果も課題外在性負荷説明を支持しない

**Table 2**

Means and standard errors of reaction times from the structure and process graphics as a function of instructional format, baseline rates, and reaction times during the introductory.

		ST <sub>perceptual</sub>		ST <sub>cognitive</sub>	
		Integrated (n = 17)	Split (n = 16)	Integrated (n = 19)	Split (n = 17)
Structure page (ms)	M	626.626	645.056	652.747	651.671
	SE	(17.746)	(18.315)	(20.702)	(21.940)
Process page (ms)	M	600.035	590.553	619.842	575.104
	SE	(15.526)	(16.024)	(19.718)	(20.897)

Note. ST, secondary task; n, sample size; ms, milliseconds; M, mean; SE, standard error.

**Table 3**

Means and standard errors of the subjective load ratings as a function of instructional format, presence of secondary task, and processing capacity.

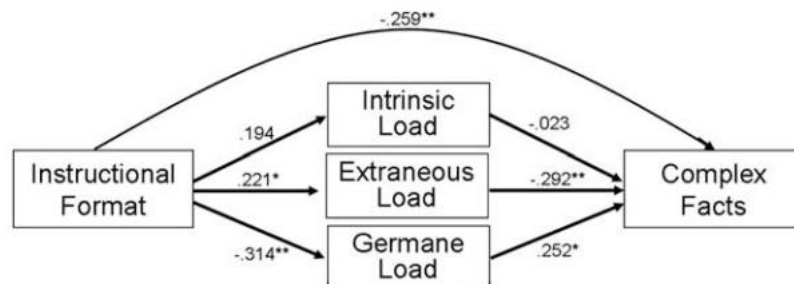
		ST <sub>perceptual</sub>		ST <sub>cognitive</sub>		ST <sub>without</sub>	
		Integrated (n = 17)	Split (n = 15)	Integrated (n = 17)	Split (n = 17)	Integrated (n = 14)	Split (n = 13)
ICL <sup>a</sup> : "How difficult was the learning content for you?"	M	3.776	4.148	3.916	4.257	3.838	4.224
	SE	(0.234)	(0.246)	(0.232)	(0.239)	(0.255)	(0.264)
ECL <sup>a</sup> : "How difficult was it to learn with the material?"	M	2.943	3.066	2.765	3.351	2.786	3.231
	SE	(0.214)	(0.226)	(0.212)	(0.219)	(0.234)	(0.242)
GCL <sup>a</sup> : "How much did you concentrate during learning?"	M	4.309	3.947	4.565	3.898	4.911	4.532
	SE	(0.164)	(0.172)	(0.162)	(0.168)	(0.179)	(0.185)

Note. ST, secondary task; n, sample size; M, mean; SE, standard error.

<sup>a</sup> Scale range: 1 to 6.

- 主観評定
  - 教材要因が、課題内在性負荷・課題外在性負荷・学習関連負荷の指標にどう影響するかを確かめるため、認知容量をコントロールしながら、それぞれの主観評定について、教材要因と第二課題要因を説明変数、主観評定を被説明変数とする共分散分析。調整後平均と標準誤差(Table3)
  - 課題内在性負荷については、統合形式よりも分割形式の学習者で高い評定
  - 課題外在性負荷については、統合形式よりも分割形式の学習者で高い評定
  - 学習関連負荷については、分割形式よりも統合形式の学習者で高い評定

- 第二課題の実施の有無は、課題内在性負荷にも課題外在性負荷にも影響しなかったが、学習関連負荷には影響した
  - ◇ 下位検定の結果、知覚課題が第二課題だった群と認知課題が第二課題だった群が、第二課題なしだった群よりも有意に低い学習関連負荷を報告した
- どの負荷についても教材要因と第二課題要因の交互作用はなかった
- さらに詳細に認知負荷測定指標との関係を検討するため、教材要因・第二課題要因・認知容量を統制して、偏相関分析を行った
  - ◇ 課題内在性負荷と課題外在性負荷に正の相関( $r(88) = .449, p < .001$ )
  - ◇ 課題内在性負荷と学習関連負荷に正の相関( $r(88) = .267, p = .011$ )
  - ◇ 課題外在性負荷と学習関連負荷は相関なし( $r(88) = -.072, p = .503$ )
- 各認知負荷が教材と学習効果(4種類のテスト)とどう関連しているかを検討するため、媒介分析を行った(Fig2)
  - ◇ 専門用語テストとラベリングテストと推論テスト：課題外在性負荷も学習関連負荷も注意分断効果を媒介せず
  - ◇ 複雑な事実判断テスト：課題外在性負荷と学習関連負荷が注意分断効果を有意に媒介した(Fig2)。



**Fig. 2.** Illustration of the empirical mediation model for complex facts including  $\beta$ -weights ( $*p < .05$ ,  $**p < .01$ ). The predictor variables secondary task and processing capacity are not depicted.

#### 4 ディスカッション

- この研究の目的は、注意分断効果を認知負荷でどう説明するかを調べること
  - 注意分断効果がこの教材で確認できるかどうか。そして、統合形式で課題外在性負荷を減少させた場合、学習関連負荷が高まるかどうかを調べる
- 注意分断効果は、3つのテストにおいて確認できたが、推論テストにおいては確認できなかった。
  - 別の研究では、注意分断効果は事実を学ぶ学習において確認できるが、推論のような学習では確認されないとの結果が出ている
- 2種類の第二課題の成績は、分割形式と統合形式の間に差はなかった。これは、分割形式と統合形式の間で認知負荷総量に差はなかったと示唆される。これらは、統合形式に

することで課題外在性負荷が減少するという課題外在性負荷説明に反する。

- 主観評定の結果からは、課題外在性負荷と学習関連負荷の両方が、部分的に教材の影響を学習効果に媒介する。この結果は、課題外在性負荷の減少に伴い、学習関連負荷が高まったという学習関連負荷説明を支持する。
- 第二課題の成績
  - 第二課題の結果からは、分割形式でも高い認知負荷に苦勞していないようだ。これは先行研究とは異なる結果だ。しかし、先行研究の第二課題は難しすぎると考えられる。それゆえ、単純に比較できるものではない
  - 異なる第二課題での注意分断効果の影響と、その課題によってワーキングメモリの機能がどう異なるかについてさらなる研究が必要
- 主観評定
  - 統合形式において確認された高い学習関連負荷は、確かに学習に繋がった
  - 課題外在性負荷と学習関連負荷の質問は、適切であったと考えられる
  - しかし、課題内在性負荷は失敗であった。課題内在性負荷と課題外在性負荷が相関したことは、両者は似たものを計測していたということだ
    - ◇ 実際に質問が似ていたのかもしれない。また実際の学習では、学習者は教材のデザインが悪いのか学習内容が難しいのか区別できないかもしれない
    - ◇ 課題外在性負荷と課題内在性負荷は、あるレベルでは似ているとも考えられる。しかし、Schnotz and Kürschner (2007)においては、課題内在性負荷と学習関連負荷が似ていると主張している。
  - 本研究の質問で、学習関連負荷と課題外在性負荷を区別できたとも考えていない。むしろ、我々の主観評定は、学習プロセスに関連する変数を計測していたようだ

## 結論

- 認知負荷測定に関する結果は、学習は複雑なプロセスで、負荷と教材設計のシンプルな対応で説明できるものではない。それゆえ、認知負荷が教材設計の有効な指針になることは別にして、ある特定の教材設計がある特定の状況で有効な理由をより正確に知る必要がある。
- Schnotz and Kürschner (2007)は認知負荷の個別測定に懐疑的だが、我々は、認知負荷を測定する挑戦を好む。その理由は、学習中に起こるさまざまなプロセスの理解に役立つからだ。さらに、分割形式の教材や統合形式の教材がどのように学習に影響するかを理解することは、より実践的な指針を作りやすくなるということだからだ。