



ORIGINAL

Carga cognitiva y retención de información mediante 2 técnicas de video en un aula invertida: estudio aleatorizado controlado

Rodolfo Barrios^a, Daniel Morales^b y Luis Carlos Domínguez^{b,*}

^a Facultad de Medicina, Departamento de Cirugía, Universidad del Bosque, Bogotá, Colombia

^b Facultad de Medicina, Departamento de Cirugía, Universidad de La Sabana, Chía, Colombia

Recibido el 7 de marzo de 2023; aceptado el 12 de mayo de 2023

Disponible en Internet el 23 de junio de 2023

PALABRAS CLAVE

Aula invertida;
Carga cognitiva;
Memoria;
Video;
Colombia

Resumen

Introducción: la retención de información a largo plazo, en función de la carga cognitiva derivada del diseño instruccional para la entrega de información es poco conocida. El objetivo de este estudio es comparar la magnitud de 3 tipos de carga cognitiva (intrínseca, extraña y relacional) y la retención de información generada por 2 formatos de video utilizados en el componente virtual de un aula invertida: convencional (diapositivas en Power Point, Microsoft Corp) y no convencional (Lightboard).

Métodos: en este estudio experimental, 320 estudiantes de Medicina fueron asignados aleatoriamente a uno de los 2 formatos. La carga cognitiva fue evaluada al finalizar la intervención mediante cuestionarios validados. La retención de información inmediata, y a los 3 y 6 meses fue evaluada mediante exámenes de selección múltiple.

Resultados: la carga relacional generada por el formato no convencional fue significativamente superior ($p < 0,05$). No se identificaron diferencias en la carga global, intrínseca y extraña. La retención de información fue superior al tercer mes con el formato convencional, pero no demostró diferencias significativas al sexto mes de seguimiento.

Conclusiones: la magnitud de los 3 tipos de carga cognitiva y la retención de información al interactuar con información en formato de video convencional y no convencional es similar.

© 2023 The Authors. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: carlosdot@unisabana.edu.co (L.C. Domínguez).

KEYWORDS

Inverted classroom;
Cognitive load;
Memory;
Video;
Colombia

Cognitive load and information retrieval with two formats of video in an inverted classroom: a randomized controlled trial**Abstract**

Introduction: Long-term information retrieval, based on the cognitive load derived from the instructional design for the delivery of information, is poorly understood. This study aims to compare the magnitude of three types of cognitive load (intrinsic, extraneous, and germane) and the retention of information generated by two video formats used in the virtual component of an inverted classroom: conventional (PowerPoint slides, Microsoft Corp) and non-conventional (Lightboard).

Methods: In this experimental study, 320 medical students were randomly assigned to one of the two formats. Cognitive load was evaluated at the end of the intervention using validated questionnaires. Immediate retention of information and retention at three and six months was assessed through multiple choice questions.

Results: The germane load generated by the non-conventional format was significantly higher ($p < 0.05$). No differences were identified in overall, intrinsic, and extraneous load. Information retrieval was higher in the third month with the conventional format, but not differences were identified at the sixth month of follow-up.

Conclusions: The magnitude of the three types of cognitive load and the retention of information is similar when students interact with conventional and non-conventional formats for presenting information.

© 2023 The Authors. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introducción

Uno de los mayores desafíos en la educación médica es disminuir el olvido de la información. Se estima que 2 terceras partes de la información puede ser evocada por el estudiante después de un año, 50% después de 2 años y entre el 15 y 20% a los 5 años¹⁻³. Cuando la retención de información es precaria, se afecta negativamente la toma de decisiones y la resolución de problemas en el contexto clínico^{1,4,5}.

La teoría de la carga cognitiva ofrece explicaciones para entender este problema, pues informa sobre cómo se almacena la información en la memoria de largo plazo (MLP) mediante esquemas de trabajo. Este proceso inicia con la percepción de los estímulos sensitivos (auditivos y visuales) que permiten el almacenamiento limitado de información, por un período corto de tiempo, en la memoria de trabajo (MT)⁶. Solo una cantidad de información en la MT sigue una ruta hacia la MLP para ser evocada en el futuro⁷. Por lo tanto, para optimizar el procesamiento de la información en la MT, y facilitar su almacenamiento en la MLP, es necesario que la carga cognitiva de los estímulos captados por los sentidos sea adecuadamente balanceada⁷. Existen 3 tipos de carga cognitiva: intrínseca, extraña y relacional. La primera tiene que ver con la relevancia de la información que se presenta a los sentidos. La segunda con la información no esencial. La relacional se refiere a la carga impuesta deliberadamente por el individuo usando estrategias cognitivas para reorganizar la información y hacerla óptima para el almacenamiento en la MLP⁶.

Los principios de la teoría de la carga cognitiva son relevantes para la instrucción. Por ejemplo, la forma en la

que un profesor presenta la nueva información a un estudiante puede impactar positiva o negativamente en la saturación de la MT y posteriormente en su almacenamiento en la MLP. Este fenómeno ocurre cuando se presenta información con alta carga extraña y baja carga relevante, que impone esfuerzos adicionales al estudiante para procesarla (carga relacional). Adicionalmente, este fenómeno puede variar cuando la información se presenta de forma visual o auditiva.

El uso del aula invertida como estrategia de instrucción es creciente en la educación médica. No obstante, teniendo en cuenta que la forma usual de presentación de la información en el entorno virtual es el video, aun es controversial cuál es el formato óptimo que permite entregar información con alta carga relevante y baja carga extraña para facilitar su almacenamiento en la MLP. Usualmente, el formato de video convencional (FC) consiste en la explicación magistral mediante el uso de diapositivas (Power Point, Microsoft Corp). Alternativamente existen formatos no convencionales (FNC), como la pizarra transparente (Lightboard) que ofrece efectos luminosos visualmente llamativos. Mediante este formato, el profesor explica la información, escribiendo o dibujando piezas relevantes de la información. El presente estudio pretende comparar la carga cognitiva resultante de la presentación de información en el FC y FNC en el componente virtual de un aula invertida, así como sus efectos en la retención de la información a largo plazo (6 meses).

Materiales y métodos

Este estudio aleatorizado controlado se realizó entre marzo y septiembre de 2020, en 2 instituciones privadas en Bogotá

(Colombia), previa aprobación de los comités de ética institucionales de la Universidad de La Sabana (Acta 490-2020) y la Universidad del Bosque (Acta 475-2020). La intervención fue realizada durante la asignatura de Cirugía. Ambas instituciones cuentan con un currículo tradicional, en el cual los 2 primeros años corresponden a las ciencias básicas. La asignatura teórico-práctica de cirugía se sitúa en el cuarto año de la carrera y se lleva a cabo en el entorno universitario y en los departamentos quirúrgicos de instituciones afiliadas a las facultades de medicina.

Participantes

Estudiantes de Medicina de segundo, tercer y cuarto año, mayores de 18 años. Esta población de estudiantes no tuvo contacto clínico directo con los temas expuestos en los 2 formatos de video antes de la intervención. Aunque anticipamos que el interés y las características cognitivas pueden variar entre los estudiantes, escogimos temas de baja prevalencia y presentación inusual (ver adelante) para disminuir el sesgo de exposición entre los participantes. Fueron excluidos los estudiantes que estuviesen repitiendo la asignatura, así como aquellos que rechazaran voluntariamente su participación. El cálculo de la muestra fue 320 participantes, con una razón 1:1 entre los grupos de FC y FNC, el cual garantiza un poder de 84% para detectar una diferencia de medias de 0,05 en la medición de la carga cognitiva y retención de la información, con un nivel de confianza del 95%.

Material multimedia

El diseño, grabación y edición del material multimedia en FC y FNC fue realizado por los 3 autores del estudio de acuerdo con recomendaciones estandarizadas^{8,9}. La información fue igual en ambos formatos y presentada por un experto mediante 4 videos sobre los siguientes temas: 1) tórax inestable, 2) perforación esofágica, 3) masas mediastinales y 4) estenosis traqueal. La duración de cada video fue de 7 minutos en promedio. Los videos fueron alojados en una plataforma virtual (Moodle).

Videos en formato convencional

Se diseñaron en letra arial, tamaño # 24, colores neutros, de máximo 6 líneas de texto. Se utilizó el principio de diseño de doble canal, haciendo uso de la narración y la información escrita en la diapositiva. El expositor fue grabado con plano de imagen medio corto, en un recuadro de video dispuesto en la esquina inferior derecha de la diapositiva.

Videos en formato no convencional

Se realizaron en una pizarra transparente de 180 cm de ancho por 120 cm de alto, con retroiluminación LED. Cuando en esta pizarra se escribe con marcadores fluorescentes, la interacción de la tinta con la luz produce un brillo intenso, que da como resultado un aumento en la carga sensorial^{10,11}. El video fue grabado en formato MPEG-4 con resolución 1080i. La cámara se ubicó a 6 metros de la pizarra. El fondo

fue de color negro, así como las prendas de vestir del expositor.

Instrumentos de medición

La carga cognitiva percibida por los estudiantes fue evaluada mediante el cuestionario desarrollado por Lepping et al. El cuestionario fue validado en los Países Bajos, demostrando adecuada estructura factorial, ajuste a los datos empíricos y confiabilidad en el campo de la educación para los profesiones de la salud. El instrumento cuenta con 14 preguntas que evalúan los 3 tipos de carga, mediante una escala de Likert (0: completamente en desacuerdo y 10: completamente de acuerdo)¹².

La retención de información fue evaluada mediante 4 exámenes de selección múltiple (ESM) con única respuesta, cada uno compuesto por 20 preguntas. El rango de calificación varió de 0 a 5. Cada ESM se construyó de acuerdo con las recomendaciones del *National Board of Medical Examiners*⁸.

Ejecución de la intervención

La asignación de la secuencia de aleatorización de los participantes a cada grupo se realizó mediante una lista de números aleatorizados. Ninguno de los participantes había cursado la asignatura de Cirugía General al momento de la intervención. El estudio se realizó en 3 fases:

Primera fase: al ingresar a la plataforma Moodle, los estudiantes fueron informados sobre los propósitos del estudio. Asimismo, diligenciaron un consentimiento informado. A continuación, resolvieron un primer ESM (pre-test). Posteriormente, fueron expuestos a los 4 videos en el formato correspondiente. Por último, al finalizar la intervención, auto diligenciaron el cuestionario de carga cognitiva y resolvieron un segundo ESM (test 1).

Segunda y tercera fase (3 y 6 meses, respectivamente): bajo la misma estructura de la primera fase en la misma plataforma, los estudiantes resolvieron el tercer y cuarto ESM (test 2 -3) sin exposición al contenido multimedia, únicamente se pretendía evaluar la retención del conocimiento.

Análisis estadístico

Inicialmente se calcularon las estadísticas demográficas de la población. Posteriormente, se calculó la media y desviación estándar de la carga cognitiva global, carga intrínseca, extraña y relacional por cada tipo de formato, así como de cada uno de los ESM. La diferencia de medias entre ambos grupos fue establecida mediante la prueba de t-student en cada una de las fases del estudio (significativo si $p < 0,05$).

Resultados

Características demográficas de la población

Se incluyeron 320 participantes (FC= 160 FNC= 160). El 70,8% fueron mujeres. La distribución de los participantes

por año de carrera fue la siguiente: segundo (40,5%), tercero (48,3%) y cuarto año (11,2%). El 60% de los participantes provinieron de la universidad 1. El flujograma del estudio se presenta en la [fig. 1](#).

Carga cognitiva

La evaluación de la carga cognitiva fue realizada sobre un total de 296 observaciones (145 FC; 151 FNC), correspondientes al 92,5% de la población. No se encontraron diferencias en la carga cognitiva global, intrínseca y extraña. Únicamente se identificaron diferencias en la carga relacional global a favor del FNC ([tabla 1](#)).

Retención de información

El ESM pre-test fue realizado por el 100% de los participantes. No se identificaron diferencias significativas (FC = 1,97 [IC 95%, 1,85 – 2,08] versus FNC = 1,89 [IC 95%, 1,78 – 2,0], $p = 0,34$).

El test uno fue completado por el 92,5% de la población. No se identificaron diferencias significativas (FC = 3,30 [IC 95%, 3,12 – 3,48] versus FNC = 3,25 [IC 95%, 3,08 – 3,41], $p = 0,67$).

El test 2 (3 meses) fue completado por el 58,4% de la población ($n = 187$). Se identificaron diferencias significativas a favor del FC (FC = 2,64 [IC 95%, 2,45 – 2,84] versus FNC = 2,31 [IC 95%, 2,15 – 2,48], $p < 0,01$).

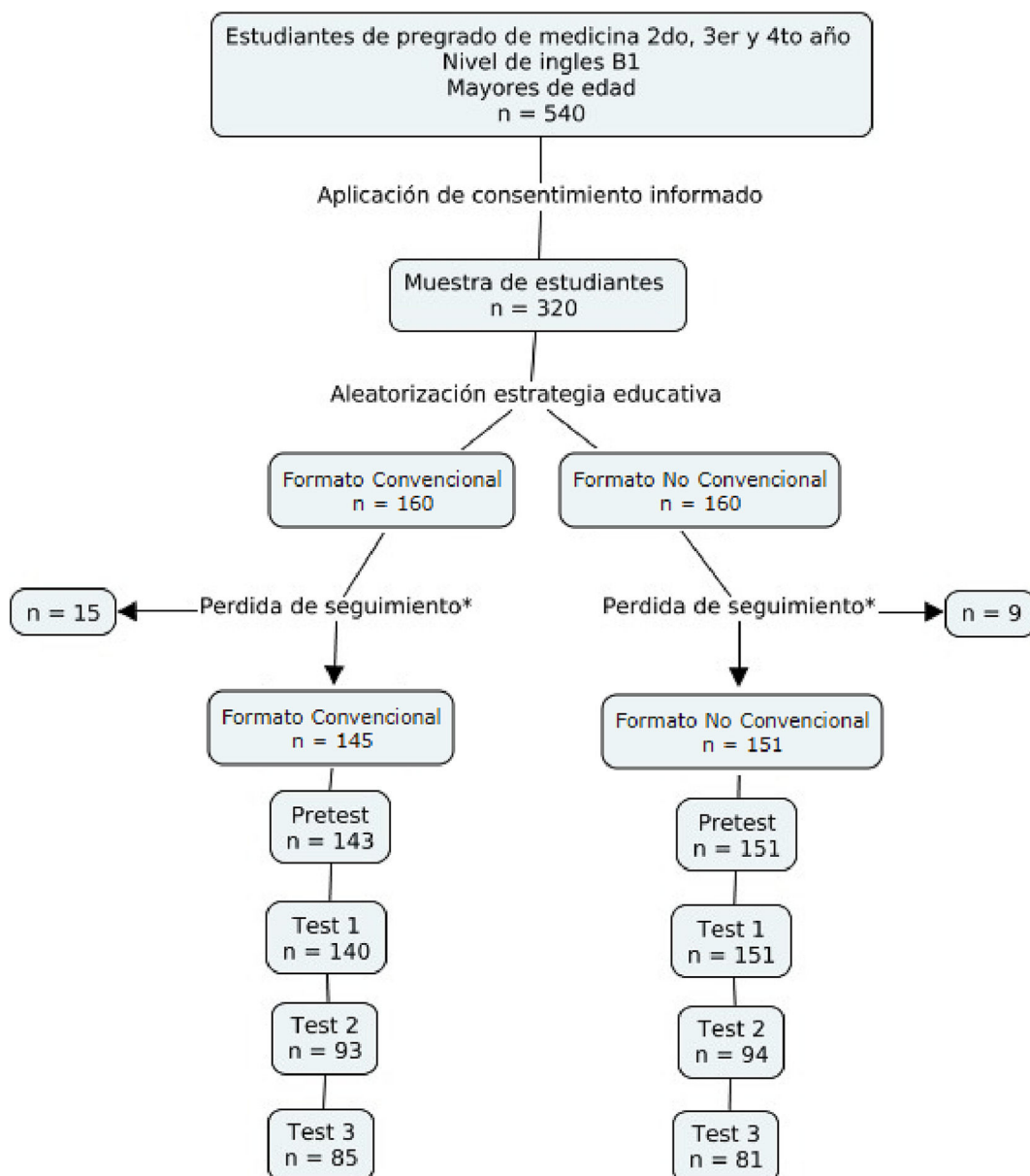


Figura 1 Flujograma del estudio.

* Interrupción en la conexión, rechazaron participar o pérdida de seguimiento.

Tabla 1 Diferencia de medias en los niveles de carga cognitiva entre los grupos de estudio

	n		Media	Desviación estándar	Intervalo de confianza 95%		p*
					Límite inferior	Límite superior	
<i>Carga cognitiva global</i>	FNC	151	5,42	1,67	5,15	5,69	0,69
	FC	145	5,34	1,43	5,11	5,58	
<i>Carga intrínseca</i>	FNC	151	4,47	1,31	4,26	4,68	0,27
	FC	145	4,63	1,26	4,43	4,84	
<i>Carga extraña</i>	FNC	151	3,75	1,51	3,51	4,00	0,29
	FC	145	3,95	1,69	3,67	4,23	
<i>Carga relacional</i>	FNC	151	6,69	1,67	6,42	6,96	< 0,001
	FC	145	6,03	1,79	5,73	6,32	

FNC: formato no convencional (lightboard).

FC: formato convencional (diapositivas).

* prueba t para diferencia de medias.

El test 3 (6 meses) fue completado por el 51,8 de la población ($n = 166$). No se identificaron diferencias significativas (FC = 1,96 [IC 95%, 1,96 – 2,14] versus FNC = 2,1 [IC 95%, 1,94 – 2,17], $p = 0,25$). En la [figura 2](#) se encuentra representada la retención de información en función de los diferentes tiempos de evaluación.

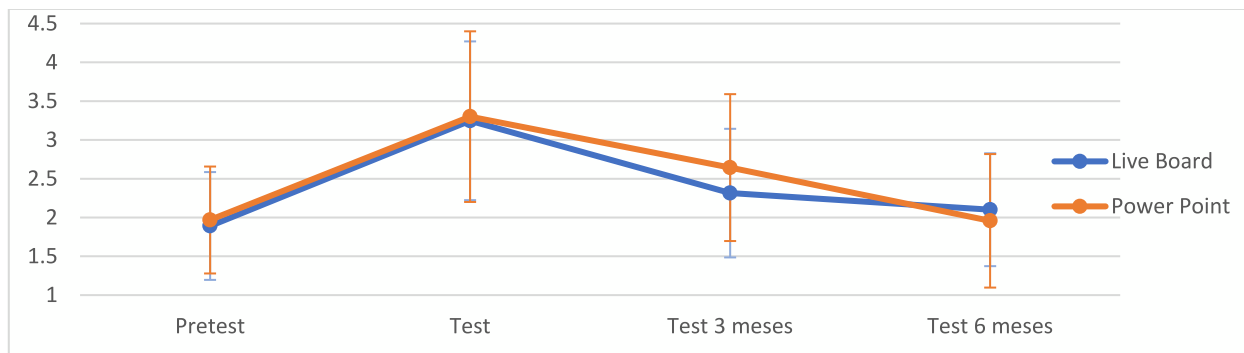
Discusión

En el presente estudio evidenciamos diferencias significativas en la carga relacional global que impone el FNC para la presentación de información, sin diferencias significativas en la carga intrínseca, extraña o cognitiva global. Únicamente identificamos mayores niveles de retención de información, que fueron estadísticamente significativos a los 3 meses de medición con el FC.

Nuestros hallazgos deben ser discutidos a la luz de evidencia que evalúa los efectos instruccionales sobre la carga cognitiva. En general, los estudios disponibles indican que los efectos de las piezas de información en la carga cognitiva dependen del contenido, la población objeto, el grado de interacción, así como la motivación de los estudiantes^{9,13,14}. La fortaleza de este estudio aleatorizado controlado radica en el control del formato de presentación de la información y en el análisis en la carga cognitiva y retención de conocimiento resultantes de la intervención. Por lo tanto, aporta información sobre el impacto del diseño instruccional en la arquitectura cognitiva, especialmente en

la MLP, comparable con otro estudio realizado en ciencia básicas¹⁵. No obstante, estos hallazgos pioneros deben ser analizados con precaución, pues no permiten inferir que la magnitud de la carga se correlacione en mayor o menor medida con la retención de la información. En particular, estos hallazgos obligan a interpretar prudentemente el efecto de la intervención pues la influencia de otras variables relacionadas con el contexto, el desempeño individual, la motivación y el clima de aprendizaje, entre otros. Aunque el vacío de conocimiento sobre este último aspecto aun es profundo, algunos reportes de la literatura indican que, a pesar de la variabilidad de los efectos instructivos, los resultados en las evaluaciones parecen depender de la carga cognitiva¹⁶.

Una limitación importante del estudio radica en la falta de control de otras variables como la motivación estudiantil, reflejada en la carga relacional de cada individuo. Adicionalmente, el estudio puede contar con un sesgo de exposición, relacionado con el conocimiento previo de los temas por parte de los estudiantes. Basándose en los criterios de inclusión, la selección de los temas con base en su prevalencia y presentación, y el diseño de estudio, creemos que este sesgo pudo minimizarse. No obstante, declaramos que la ausencia de sesgo de exposición no fue absoluta. Así mismo, representa un reto para el ejercicio docente. Vale la pena anotar que esta limitación es una de las grandes posibilidades de intervención futura^{13,14}. Otra limitación del estudio fue la pérdida de seguimiento, especialmente a los 3 y 6 meses. Sin embargo, la proporción

**Figura 2** Retención de la información según formato de presentación en función del tiempo de evaluación.

de participantes en esos momentos de medición fue superior al 60%, lo cual permite inferir conclusiones al respecto.

La implementación de nuevos recursos en la presentación de la información es equivalente a los formatos actuales en el contexto de aula invertida. Aunque los efectos son discretos a favor de la carga relacional, para los autores representa una herramienta a considerar en tiempos donde la educación virtual es cada vez más necesaria en el ámbito global; este estudio fue realizado en periodos de aislamiento obligatorio por la pandemia por SARS-CoV-2 en la que cada día se percibió la disminución del aprendizaje e incluso la deserción en los programas de medicina, aspectos críticos en la educación médica.

En conclusión, los resultados del estudio revelan que existe diferencia en la carga relacional, a favor del FNC, sin diferencias en el resto de los aspectos contemplados en la carga cognitiva y sin evidenciar la correlación con la retención de la información. Es el primer estudio clínico controlado que evalúa el formato de presentación de la información por lo que consideramos que más estudios deben ser replicados en este campo que evalúen la consistencia de nuestros resultados e incluyan mediciones cualitativas que contemplen el interés o la motivación personal.

Responsabilidades éticas

Los comités de ética institucionales de la Universidad la Sabana y la Universidad del Bosque han aprobado la realización de este estudio (Acta 490-2020 y Acta 475-2020); acordando de igual forma la realización del consentimiento informado para cada uno de los participantes. Los investigadores fueron responsables de mantener la confidencialidad de la información registrada y se resguardó el debido nombre profesional e institucional.

Financiación

Ninguna.

Conflicto de intereses

Se han recibido ayudas por parte de las Facultades de Medicina de la Universidad de La Sabana y la Universidad del Bosque, Colombia.

Bibliografía

1. Doornik DE, van Goor H, Kooloos JGM, ten Broek RP. Longitudinal retention of anatomical knowledge in second-year medical students. *Anat Sci Educ*. 2017;10(3):242–8.
2. Custers EJFM. Long-term retention of basic science knowledge: a review study. *Adv Health Sci Educ Theory Pract*. 2010;15(1):109–28.
3. Nørby S. Why forget? On the adaptive value of memory loss. *Perspect Psychol Sci*. 2015;10(5):178–551.
4. Augustin M. How to learn effectively in medical school: test yourself, learn actively, and repeat in intervals. *Yale J Biol Med*. 2014;87(2):207–12.
5. Vohra PD, Johnson JK, Daugherty CK, Wen M, Barach P. Housestaff and medical student attitudes toward medical errors and adverse events. *Jt Comm J Qual Patient Saf*. 2007;33(8):493–501.
6. Young JQ, Van Merriënboer J, Durning S, Ten Cate O. Cognitive load theory: implications for medical education: AMEE Guide No. 86. *Med Teach*. 2014 May;36(5):371–84.
7. Sweller J, van Merriënboer JJG, Paas F. Cognitive architecture and instructional design: 20 years later. *Educational Psychology Review*. Springer New York LLC; 2019. p. 261–92.
8. Paniagua M, Swygert KA, editores. Constructing written test questions for the basic and clinical sciences. Fourth. Philadelphia: National Board of Medical; 2016.
9. Likourezos V, Kalyuga S, Sweller J. The variability effect: when instructional variability is advantageous. *Educ Psychol Rev*. 2019;31(2):479–97.
10. Skibinski ES, Debenedetti WJ, Ortol-Bloch AG, Hines MA. A Blackboard for the 21st century: an inexpensive light board projection system for classroom use. *J Chem Educ*. 2015;92(10):1754–6.
11. VanderMolen J, Vu K, Melick J. Use of lightboard video technology to address medical dosimetry concepts: field notes. *Curr Issues Emerg Elearn*. 2018;4(1):109–17.
12. Leppink J, Paas F, Van der Vleuten CPM, Van Gog T, Van Merriënboer JJG. Development of an instrument for measuring different types of cognitive load. *Behav Res Methods*. 2013;45(4):1058–72.
13. Plass JL, Kalyuga S. Four ways of considering emotion in cognitive load theory. *Educ Psychol Rev*. 2019;31(2):339–59.
14. Feldon DF, Callan G, Juth S, Jeong S. Cognitive load as motivational cost. *Educ Psychol Rev*. 2019;31(2):319–37.
15. Fung FM. Adopting lightboard for a chemistry flipped classroom to improve technology-enhanced videos for better learner engagement. *J Chem Educ*. 2017;94(7):956–9.
16. Likourezos V, Kalyuga S, Sweller J. The variability effect: when instructional variability is advantageous. *Educ Psychol Rev*. 2019;31(2):479–97.