



2010, 16(2-3), 259-269

LUZ Y RITMOS CIRCADIANOS: EFECTOS EN LA SALUD Y EN EL DESEMPEÑO

Julio Lillo Jover*, Leticia Álvaro Llorente*, Humberto Moreira Villegas** y M^a del Carmen Durán Pulido*

*Universidad Complutense de Madrid

**Escuela Universitaria Cardenal Cisneros

Resumen: Se proporciona una visión global sobre la estructura y funcionamiento del sistema circadiano. Tal visión ayuda a entender mejor los problemas derivados de su mal funcionamiento y cómo compensarlos mediante la terapia lumínica. También se muestra que lo más relevante para la sincronización del sistema circadiano es la exposición a los ciclos de luz-oscuridad. Se explica por qué los trabajadores nocturnos tienen más problemas de salud. Se explican las diferencias entre la estimulación circadiana y la estimulación visual y a continuación se analiza por qué la fotometría estándar no proporciona mediciones adecuadas para determinar la estimulación que actúa sobre el sistema circadiano. Para terminar, se describen la filosofía de la terapia lumínica y su eficacia para evitar-eliminar problemas asociados al funcionamiento inadecuado del sistema circadiano en lo que tiene que ver con (1) su activación transitoria, (2) el desajuste entre los relojes circadiano y biológico y (3) la depresión estacional.

Palabras clave: sistema circadiano, reloj biológico, terapia lumínica, depresión estacional.

Abstract: A general view on circadian system structure and performance is provided for a better understanding of the problems derived from its malfunction and the ways to compensate for the negative effects using light therapy. The relevance of exposure to light-darkness cycles, in order to synchronise the circadian system, is highlighted and the reasons behind night-shift workers' ill health are explained. Differences between circadian and visual stimulation are given which relates to the reasons why standard photometry does not provide accurate measurements for the optimum stimulation of the circadian system. Finally, the philosophy of light therapy and its efficacy in avoiding/eliminating problems associated with inaccurate circadian system functioning in reference to (1) its transitory activation, (2) biological and chronological clocks mismatches and (3) seasonal depression, are described.

Key words: circadian system, biological clock, light therapy, seasonal depression.

Title: *Circadian rhythms and light: effects on health and performance*

Los seres humanos somos animales circadianos. Nuestras actividades cotidianas se desarrollan en base a ciclos de 24 horas en los que se repiten ciertos estados fisiológicos (dormir-despertar, tener apetito, etc.), cognitivos (sentirse ágil o cansado mentalmente, recordar bien, etc.) y emocionales (ser más proclive a la irritación, sentirse lleno de energía, etc.). En cualquier caso, una abrumadora documentación

científica (véase Boyce, 2003; Vandewalle, Maquet & Dijk, 2009) confirma la existencia de un sistema, el circadiano, que normalmente permite adaptar el nivel de activación a los requisitos de los distintos momentos del día. Cuando las circunstancias no permiten una adaptación adecuada, cuando el nivel de activación no se ajusta a los requisitos del medio, pueden aparecer problemas en el desempeño de las actividades (Folkard & Monk, 1979), y/o en la salud (Popkin, Howarth & Tepas, 2006; Tepas & Mahan, 1989).

*Dirigir la correspondencia a:

Julio Lillo Jover

Facultad de Psicología, Campus de Somosaguas, buzón 198.

28223 - POZUELO DE ALARCÓN (MADRID). ESPAÑA.

Teléfono: 913943198

julillo@psi.ucm.es

© Copyright 2010: de los Editores de *Ansiedad y Estrés*

1. Componentes del sistema circadiano

1.1. Reloj biológico y reloj cronológico

En 1999 Cajochen, Khalsa, Wyatt, Czeisler y Dijk midieron una serie de variables relacionadas con el ciclo día-noche. Algunas tenían que ver con la noche fisiológica (bajas temperaturas corporales, altas concentraciones de melatonina en sangre, bajas tasas de parpadeo, movimientos oculares lentos, patrones de actividad específicos en el EEG), otras con sus efectos cognitivos (puntuaciones altas en una escala de somnolencia, tiempos de reacción lentos y variables, bajos niveles de desempeño en pruebas dependientes del funcionamiento de la memoria de trabajo). Los resultados obtenidos permitieron definir a la noche fisiológica como un periodo de activación reducida.

Se habla de “noche fisiológica” para no confundirla con la “cronológica”. Esta última es la que se relaciona con el ciclo de luz-oscuridad y con el funcionamiento de nuestros relojes. Normalmente existe una sincronía entre la noche fisiológica (la fase de baja actividad fisiológica-cognitiva) y la cronológica (periodo temporal de iluminación reducida), pero no siempre sucede así. Entre otras razones porque el ciclo fisiológico día-noche se puede dar en ausencia de variaciones lumínicas y ritmos sociales (Czeisler & Dijk, 2001; Dijk, & von Schantz, 2005).

Boyce (2003) describe un experimento de 25 días en el que sólo se usó iluminación artificial y en el que la persona participante no tuvo información externa relativa al momento en el que se encontraba (relojes, medios de comunicación, etc.). Librementemente decidió cuándo dormía o estaba despierta. Los cinco primeros días la iluminación artificial imitó al ciclo cronológico natural (duración 24 horas con 8 de oscuridad). Los 20 siguientes fue de intensidad constante y moderada (nivel medio-bajo, permitía ver pero también dormir). Durante

los 5 primeros días el ciclo sueño-vigilia se adaptó a las variaciones luz-oscuridad y tuvo, por ello, una duración de 24 horas. Durante los 20 días siguientes, con iluminación constante, el ciclo sueño-vigilia tuvo una duración superior (25.5 horas) a la del día cronológico. La diferencia en las duraciones del día cronológico y el fisiológico hizo que variase la hora de inicio del sueño (inicialmente a las 11 de la noche), de forma que tras diez días de exposición a la iluminación continua ésta se situó en las 14 horas (2 de la tarde).

Dos son las principales conclusiones del experimento que se acaba de describir. La primera es la de que los seres humanos poseemos un “reloj biológico” que indica a nuestro cuerpo (cerebro incluido) cuándo debe estar más o menos activo. Tal reloj se ubica en el núcleo supraquiasmático (Hattar, S. et al., 2006; Klein, T., Moore & Reppert, 1991; Saper, Lu, Chou & Gooley, 2005; Vanderwalle et al., 2009). La segunda conclusión es que el reloj biológico tiende a producir días más largos que los cronológicos (de unas 25 horas, Wever, 1979; Czeisler et al., 1999). Por tanto, su habitual sincronía con los relojes cronológicos debe ser el resultado de algún proceso de sincronización. En cualquier caso, la mayor duración del día fisiológico explica por qué algunas sincronizaciones son más fáciles que otras (por ejemplo, es más fácil vencer el jet lag producido al viajar hacia occidente que cuando se viaja al oriente. En el primer caso se trata de “alargar” el día, lo que coincide con la tendencia del reloj biológico a crear días más largos que los cronológicos).

1.2. Activación hormonal y factores de sincronización

Este artículo no pretende proporcionar información exhaustiva sobre los componentes y la funcionalidad del sistema circadiano (consúltese al respecto Klein T. et al., 1991; Vanderwalle et al., 2009), aunque sí

ofrecer una visión global sobre él. En base a ella consideramos que el sistema circadiano tiene tres componentes principales:

- El reloj biológico. Centro cerebral que crea el día y la noche fisiológica. Se ubica en el núcleo supraquiasmático.

- La hormona mensajera (melatonina). Sustancia implicada en la transmisión de las órdenes de activación generadas por el núcleo supraquiasmático.

- Los mecanismos de sincronización. Responden a algún tipo de información ambiental modificando la fase del día fisiológico (su inicio y/o final) para hacerla coincidir con alguna fase del día cronológico y lograr que la activación fisiológica se de cuando sea útil.

La melatonina es una hormona segregada por la glándula pineal. Esta sustancia “les dice” a las distintas partes del cuerpo cuándo deben entrar en noche fisiológica (es decir, inicia en ellas los cambios asociados a la noche fisiológica, véase Menaker, 1997). Por ello, los máximos niveles de melatonina en sangre (normalmente en las proximidades de las 5 de la madrugada), coinciden con las mínimas temperaturas corporales, los tiempos de reacción más lentos y variables, etc. (Cajochen et al., 1999).

Los mecanismos de sincronización son el tercer componente esencial del sistema circadiano e incluyen las vías nerviosas que modifican la actividad del núcleo supraquiasmático (en otras palabras, modifican la “hora” del reloj biológico). Tales mecanismos responden a algún tipo de información ambiental y posibilitan sincronizar el reloj cronológico (el nivel de activación) a las necesidades de los usuarios. Tres tipos de información parecen capaces de producir este resultado:

- Las variaciones en el nivel de iluminación (Czeisler, Richardson, Zimmerman, Moore-Ede & Weitzman, 1981; Dijk et al., 1995).

- Los ritmos sociales (Aschoff et al., 1971; Wever, 1979).

- El nivel de actividad física (Van Reth et al., 1994; Van Someren, Lijzenga, Mirmiran & Swaab, 1997).

Debido a que en la vida cotidiana los cambios en lo visible, lo social y lo físico están muy sincronizados, debido a que los momentos del día asociados a ciertos niveles lumínicos lo están también a ciertos niveles de actividad física y social, es difícil calibrar la importancia relativa de estos tres tipos de variables. Tal vez por ello en los años 70 algunos análisis mal diseñados (véase Boyce, 2003) llevaron a considerar a los factores sociales como el principal determinante de la sincronización del sistema circadiano y que, por tanto, la sensibilidad a las variaciones lumínicas sólo podía tener un papel secundario a este respecto. Para entender mejor por qué es un error contraponer los factores sociales a los lumínicos, compararemos lo que sucede en dos situaciones que, superficialmente, parecen semejantes.

La primera implicaría a una persona que realiza un viaje transatlántico en el que se atraviesan varias divisiones horarias, varios meridianos (ocho). Supongamos que viaja de España a América. Si no cambia la hora de su reloj y llega a las 12 de la noche, tanto la hora española como su reloj biológico le dirían que es el momento de irse a la cama. Por el contrario, el nivel lumínico, la actividad social y los relojes americanos le dirán que son las cuatro de la tarde y que, por tanto, queda día extra por delante. Las actividades durante tal “extra” podrían resultar difíciles, no sólo por la fatiga del viaje, sino también porque deberían efectuarse en noche fisiológica y, por tanto, con un nivel de activación bajo. Peor aún, la primera somnolienta tarde en América iría seguida de dificultades para dormir en la primera noche. ¿La causa? Que cuando en los relojes locales fuesen las 12 de la ma-

drugada, para el reloj biológico serían las 8 de la mañana y, por tanto, el momento de despertar y desayunar. Durante algún tiempo perdurarían las consecuencias del desajuste existente entre el reloj biológico y cronológico. El viajante tendría un jet lag (Klein, K. E. & Wegmann, 1974) que, afortunadamente, desaparecería pasados unos días.

Describamos ahora la segunda situación. Implica a un trabajador con turno de tarde (de 4 de la tarde a 12 de la noche) que pasaría a tenerlo de noche (de 12 de la noche a 8 de la mañana). El día del cambio se enfrentaría a una situación similar a la del viajero, ya que llegaría a su trabajo al inicio de la noche biológica y, por tanto, tendría que trabajar durante una porción extra de día. Por ello podría pensarse que la adaptación continuada al turno de noche (por ejemplo, durante varios años) debería permitir una adaptación tan rápida y completa como la del viajero transcontinental. Contra estas expectativas, muchas investigaciones (resumidas en Popkin et al., 2006) muestran que muchos trabajadores tienen problemas para adaptarse al turno de noche, o a un ciclo de turnos en el que se le incluya. Entre los problemas detectados se incluirían los relacionados con la salud (alteraciones del ritmo cardíaco, la presión sanguínea y la temperatura corporal, Martín, Díaz & Rubio, 1995; problemas gastrointestinales, cardíacos y relacionados con el embarazo, Knutson, 2003), la mayor facilidad para tener accidentes laborales (Folkard & Tucker, 2003), padecer problemas de sueño (sensación de somnolencia, Tepas et al., 1985; reducción en el número de horas semanales, Tepas & Carvalhais, 1990; sesteo durante la jornada laboral, Rosa, 1993), problemas relacionados con la forma física ("mal fitness", Ishizaki et al., 2004) y con el entorno psicosocial (menos amigos en el trabajo, Tepas et al., 1985), y más separaciones matrimoniales (Presser, 2003).

En base a que es más difícil adaptarse a un turno nocturno que a un viaje transmeridiano, puede fácilmente caerse en el error de pensar que la regulación del funcionamiento circadiano depende esencialmente de factores psicosociales y que, por ello, queda poco juego para la sensibilidad a las variaciones lumínicas. Desde esta perspectiva se consideraría que lo único que tiene que hacer el viajero es sincronizar su reloj biológico al de la mayoría de la sociedad. Esto es, dormir, comer, divertirse, etc., al tiempo que lo hacen todas o casi todas las personas que le rodean. También se consideraría, y este es el error, que el reloj circadiano efectuaría tal sincronización sin tener en cuenta la información proporcionada por las variaciones en el nivel de iluminación.

Pasemos ahora a analizar la situación en la que se encuentra el trabajador nocturno. Esta es muy distinta a la anterior tanto si se considera en términos de variables psicosociales, como si se hace en términos de variaciones lumínicas. Su horario laboral y de tiempo libre es difícil de compatibilizar con el de otras personas (familiares, amigos, etc.) importantes para él. Por ello, al igual que hacen muchos trabajadores nocturnos (Tepas & Carvalhais, 1990), durante el fin de semana tratará de ajustar su ciclo de actividad-descanso al de la mayor parte de la sociedad, para poder compartir actividades con otras personas. Hacerlo así, sin embargo, reducirá el ajuste existente entre su ciclo circadiano y el nivel de activación requerido por su horario laboral.

Como ya se ha indicado, reconocer la importancia de los factores sociales no implica negársela a las variaciones lumínicas (más específicamente, a la capacidad para detectarlas). Más concretamente, es perfectamente posible que el principal efecto de las variables sociales sea el de influir en el patrón de luz-oscuridad al que está expuesta una persona y que, por otra parte, sea tal patrón el que actúa directamente sobre el sistema circadiano. Veamos cómo puede

ser así partiendo de los resultados proporcionados por un trabajo de Eastman, Stewart, Mahoney, Liu y Fogg (1994) y de una idea muy sencilla: considerar que el día circadiano (la máxima activación fisiopsicológica) se ajusta en base a la detección de las horas en las que la retina recibe las mayores estimulaciones luminosas.

En el estudio de Eastman et al. (1994) participaron cuatro grupos de trabajadores nocturnos, que fueron similares en términos de variables psicosociales, pero distintos en términos lumínicos. El conjunto de los cuatro grupos se definió en base a utilizar dos niveles en dos variables lumínicas: (1) Iluminación en el trabajo (Alta: 5000 luxes, y Media: 500 luxes), (2) Iluminación en los desplazamientos (sin o con gafas oscuras). Los resultados mostraron que las dos variables influyeron (sumaron sus efectos) en relación con la adaptación de los trabajadores al turno nocturno. Esta fue más rápida y completa en el grupo expuesto a la iluminación más alta (5000 lx) que, además, utilizó gafas oscuras durante sus desplazamientos. La peor se dio en el grupo al que podríamos llamar convencional (actividad con iluminación de 500 lx, no usó gafas oscuras en los desplazamientos) por su mayor parecido a las condiciones laborales más habituales. En síntesis, la adaptación fue mayor en la medida en que el nivel de iluminación durante el periodo de actividad laboral destacó respecto a otros momentos del día y fue peor cuando, como en el grupo convencional, sucedía lo contrario.

Las importantes variaciones en el nivel de adaptación al turno nocturno encontradas en el estudio de Eastman et al. (1994), apoyan la idea de que lo que realmente actúa sobre el sistema circadiano no son los factores sociales per se sino las variaciones lumínicas (aunque los factores sociales puedan, a su vez, influir en las variaciones lumínicas). En apoyo a esta idea se pueden citar también los estudios realizados con personas ciegas (Miles, Raynal, & Wilson,

1977; Klein, T. et al., 1993, Zaidi et al., 2007) que han detectado en ellas dificultades serias para sincronizar el reloj biológico a pesar de vivir en entornos sociales normales y de tener ritmos sociales convencionales.

1.3. Estimulación circadiana y estimulación visible

En la actualidad se conoce detalladamente la vía anatómica (la “retino-hipotalámica-pineal”, RHP) que permite que la estimulación retiniana (obsérvese que no se habla de “estimulación visual”) influya en el funcionamiento del sistema circadiano (Boyce, 2003; Hattar et al., 2006). Concretamente, se sabe que algunas fibras nerviosas, distintas a las del nervio óptico, abandonan la retina y llegan hasta el núcleo supraquiasmático (donde se ubica el reloj biológico). Que posteriormente existen fibras nerviosas que se dirigen, a través del núcleo paraventricular, al ganglio cervical superior para, desde éste, dirigirse a la glándula pineal. Ésta, como ya indicamos, genera la hormona transmisora del sistema circadiano (la melatonina).

A diferencia de lo que sucede en el sistema visual, la señal retiniana circadiana no se genera en los fotorreceptores (conos y bastones), sino en un tipo de receptor distinto (algunas células ganglionares responden directamente a la energía electromagnética, Brainard et al., 2001; Thapan, Arendt, & Skene, 2001; Dacey, et al., 2005). Debido a la independencia existente entre las vías nerviosas del sistema visual y del circadiano, es lógico predecir la existencia de personas con problemas en sólo uno de ellos (“ciegos corticales”). Esto es personas ciegas por los problemas existentes en las áreas visuales de su corteza cerebral. Tal predicción se ha confirmado (Czeisler et al., 1995; Zaidi et al., 2007). En efecto, en ellas la estimulación retiniana puede suprimir la producción de melatonina aunque no sea capaz de generar expe-

riencias visuales. Complementando este descubrimiento, un experimento con ratones a los que se les destruyeron los fotorreceptores y en los que, por tanto, desaparecieron las respuestas electrofisiológicas y conductuales a la "luz" (Foster et al., 1991), también encontró la habitual respuesta circadiana a la estimulación retiniana: la reducción en la producción de melatonina.

En el párrafo anterior se ha entrecomillado la palabra "luz" para indicar que se está hablando de un tipo de energía que normalmente produce experiencias visuales, aunque éstas no tengan nada que ver con el funcionamiento del sistema circadiano. Por ejemplo, una persona común ve azul cuando su retina recibe energía de 450 nm. Tal energía, por otra parte, influye en el funcionamiento del sistema circadiano y, por ello, reduce la producción de melatonina (Brainard et al., 2001; Thapan et al., 2001). Sin embargo, no debe caerse en cualquiera de los dos siguientes errores. Primero, pensar que las longitudes de onda eficaces para el sistema visual han de serlo siempre para el circadiano. Segundo, pensar que estos dos sistemas deben dar respuestas de magnitud similar. Veamos por qué.

Una estimulación de 600 nm es un estímulo visual muy llamativo, una luz roja. Sin embargo no produce ninguna respuesta en el sistema circadiano (Boyce, 2003). En forma complementaria, una estimulación ultravioleta, aunque no sea visible, puede producir una respuesta en el sistema circadiano. Por tanto, aunque la mayor parte de las longitudes que actúan sobre el sistema visual también lo hagan en el circadiano (y viceversa), existen claros ejemplos de estimulaciones que sólo actúan sobre uno de estos sistemas.

Las estimulaciones de 555 nm (verde-amarillento), son las más eficaces para el sistema visual (muy poca cantidad basta

para producir una experiencia visual). Sin embargo son poco eficaces para el sistema circadiano (este sólo responde ante cantidades altas). En forma inversa, una estimulación de 450 nm (luz azul) tiene máxima eficacia para el sistema circadiano y poca para el visual. En conclusión, conocer la eficacia relativa para el sistema visual (e.g., saber que una luz brilla mucho o poco) no nos permite saber su eficacia relativa para el circadiano (e.g., saber si suprime mucho o poco la generación de melatonina).

Ahora que ya sabemos por qué no debemos hablar de "luz" al referirnos a la estimulación que actúa sobre el sistema circadiano (aunque sea frecuente hacerlo), llega el momento de hacer explícito un problema con el que se enfrentan las investigaciones relacionadas con su estudio: la carencia de parámetros homologados para especificar la cantidad de energía en un momento dado.

Cada día se efectúan millones de mediciones fotométricas. Cada día se utilizan aparatos fotométricos para determinar la cantidad de luz que ilumina una superficie, la generada por una lámpara, etc. (véase Lillo, 2000, cap. 2 y 5, para una introducción a la fotometría). Tales mediciones son adecuadas para cuantificar la respuesta del sistema visual, pero pueden llevar a errores si se utilizan para estimar su equivalente circadiano. Por ejemplo, una recomendación de usar 300 o más luxes (el lux es una unidad fotométrica) es adecuada si interesa especificar la cantidad de luz precisa para leer adecuadamente libros impresos con letra de tamaño común, pero no lo es si se quiere determinar el grado de activación circadiana producida por una estimulación electromagnética. Más concretamente, 300 luxes siempre permiten leer adecuadamente un determinado tamaño de letra, con independencia de que el tipo de lámpara que permite obtenerlos dé luz blanco amarillento o blanco azulada. Sin embargo, esta última es mucho más eficaz para el sistema

circadiano (Mills, Tomkins & Schlangen, 2007). Por tanto, puesto que estimulaciones equivalentes en términos fotométricos pueden producir efectos muy distintos en el sistema circadiano, puede concluirse que las mediciones estandarizadas por la fotometría (las relacionadas con la cantidad de luz), no son plenamente adecuadas para estimar la estimulación que actúa en el sistema circadiano. Es de esperar que esta limitación se resuelva en un futuro próximo.

2. Terapia lumínica: Los tres efectos circadianos de la “luz”

Para algunos autores (véase, Terman, 2007) la expresión “terapia lumínica” es casi sinónima de “uso de la iluminación para luchar contra la depresión”. En este artículo, por el contrario, consideraremos terapia lumínica a cualquier tipo de intervención en el que la luz produce efectos positivos en quienes la reciben. Además, limitaremos nuestros comentarios a lo directamente relacionado con el funcionamiento del sistema circadiano. Concretamente, hablaremos de que la luz permite producir uno de los tres siguientes efectos:

- Un incremento transitorio de la activación.
- Una mejora en la sincronización circadiana.
- La reducción-eliminación de la depresión estacional.

2.1. “Luz” y activación circadiana transitoria

La “luz” puede producir una activación transitoria (durante el tiempo que se presenta) en personas que se encuentran en la noche circadiana. En este contexto la exposición a la “luz” reduce la producción de melatonina (McIntyre, 1989) e incrementa la temperatura corporal (Badia, Myers, Culpepper & Harsh, 1991). Por tanto, puede concluirse que la exposición “lumínica”

influye en el nivel de activación fisiológica incluso durante la noche circadiana.

El segundo aspecto considerado en relación con la activación transitoria producida por la luz es su positivo efecto en el desempeño de ciertas tareas. Sin embargo, los comentarios que efectuaremos no deben hacer olvidar que, en general, y en una gama muy variada de tareas, el rendimiento durante la noche circadiana es peor que durante el resto del día (Folkard & Monk, 1979; Minors & Waterhouse, 1981). Es en este contexto donde debe indicarse que algunos trabajos (French, Hannon & Brainard 1990; Badia et al., 1991) han encontrado que las iluminancias elevadas (entre 2800 y 5000 lx) producen mejores desempeños en tareas cognitivas que las iluminancias bajas (entre 50 y 200 lx). Por ejemplo, French et al., encontraron mejoras en seis de diez tareas, destacando al respecto lo observado en suma y sustracción serial.

Los estudios comentados en el párrafo anterior han mostrado que el desempeño de algunas tareas mejora con la utilización de iluminancias elevadas y, también, que otras no lo hacen en forma significativa. Por ello, el diseño de las actividades que deban/puedan realizarse durante la noche circadiana no sólo debe contemplar el uso de iluminancias altas sino, también, la propia forma de realizar las actividades. A continuación se explican los motivos.

Al inicio de este artículo se indicó que, junto a otros cambios fisiológicos y conductuales, la investigación de Cajochen et al. (1999), encontró tiempos de reacción más lentos y variables durante la noche fisiológica. Esto es, aunque en general los tiempos de respuesta fueron más lentos durante la noche circadiana (media significativamente inferior), algunos tiempos no se vieron influidos por la variación día-noche. Más concretamente, no existieron diferencias día-noche cuando sólo se com-

pararon las respuestas más rápidas (el 10% del total). Por el contrario, las diferencias fueron máximas al comparar las respuestas más lentas (de nuevo un 10% del total) que, además, se producían en momentos en los que los participantes en noche fisiológica tuvieron “lapsos” atencionales.

¿Qué aplicaciones se derivan de que el deterioro circadiano no afecte a las respuestas más rápidas y concentre sus peores efectos en los periodos de “lapsus” atencional? Esencialmente que, como indica Boyce (2003, pp. 115-116), “las tareas de larga duración (esto es, de más de 30 minutos), monótonas y cuyo ritmo escapa al control del trabajador sean las más proclives a mostrar lapsos debidos a la privación de sueño” y, por tanto, a que no se responda cuando y con la rapidez requerida por la tarea. Tales tareas deben evitarse en el diseño de situaciones de trabajo en noche circadiana.

2.2. “Luz” y sincronización circadiana

En el segundo apartado de este artículo se consideraron dos situaciones con desajustes entre el reloj cronológico y el circadiano. Una implicaba a un viajero transcontinental. Otra a un trabajador de turno de noche. En ambos casos el problema era la falta de sincronización entre las fases (las “horas”) de los dos relojes. Como veremos, la exposición lumínica en los momentos adecuados acelera el proceso de sincronización (haciendo que el día fisiológico empiece antes o después).

La clave para adelantar o retrasar subsiguientes días circadianos es cuándo se aplican las altas iluminancias (Jewett et al., 1997). Tal “cuándo” se define en relación a la máxima desactivación circadiana (momento de máximo nivel de melatonina y mínima temperatura corporal, normalmente unas dos horas antes de despertar). Las exposiciones antes de tal momento retrasan el siguiente día circadiano. Las posteriores lo adelantan. Por ejemplo, si se pretendiese

utilizar exposición lumínica intensa para acelerar la adaptación al cambio de horario en un viajero que se desplaza hacia el Oeste (e. g. viaje de España a América), éste debería recibir la estimulación lumínica en las horas iniciales de la noche del viaje (e. g. entre la 1 y las 4 de la madrugada, hora origen). Así se alargaría el día circadiano en el que se efectúa la exposición y se retrasaría el inicio del siguiente (pueden verse ejemplos de este tipo de intervención en <http://www.bodyclock.com/>).

2.3. “Luz” y depresión estacional

Se denomina, “trastorno depresivo estacional” (TDE) al que aparece en momentos específicos del año y cuyos síntomas no pueden explicarse prescindiendo de la temporalidad. De acuerdo con la American Psychological Association (2000), el diagnóstico de TDE exige: (1) Especificar su inicio y finalización en momentos concretos del año. (2) La ausencia de otros tipos de depresión en los últimos dos años y (3) que episodios de TDE hayan sido más frecuentes que los relacionables con otros tipos de depresión a lo largo de la vida del individuo.

En función de su momento de aparición se distingue entre dos tipos de TDE. El tipo invernal y el veraniego. Ambos tienen en común que quienes los sufren tienen sentimientos depresivos y pierden interés por las actividades cotidianas. Por otra parte, los dos tipos de TDE se diferencian en síntomas que parecen fáciles relacionar con el funcionamiento del sistema circadiano. Veamos por qué.

Como ya sabemos, el funcionamiento del sistema circadiano depende esencialmente de la estimulación “luminosa”. Ésta, a través de la vía retino-hipotalámica-pineal, influye en la secreción de melatonina y de otras hormonas importantes (como la serotonina) para nuestro funcionamiento fisiológico. Consiguientemente, en los meses de invierno, especialmente en las altas

latitudes del planeta, la reducción en las horas de luz tiende a producir niveles altos de melatonina (la “hormona del sueño”). Este hecho es claramente compatible con que el TDE invernal se asocie a somnolencia, irritabilidad, incremento del apetito (sobre todo de hidratos de carbono) y aumento de peso (Terman, 2007). También es compatible con que para muchas personas la terapia lumínica (la exposición a iluminaciones relativamente intensas en momentos determinados) se haya mostrado muy efectiva (Rosenthal et al., 1985; Tam & Lam, 1995; Golden et al., 2005). Debe indicarse, sin embargo, que la terapia lumínica no está exenta de problemas (véase Terman, 2007; Soria y Urretavizcaya, 2009) y que, además de poder producir algunos efectos secundarios (problemas visuales menores, dolores de cabeza) puede ser contraindicada para algunas personas (las que tienen piel fotosensible o son proclives a padecer daños retinianos).

Terminaremos este artículo recomendando precaución a la hora de usar la tera-

pia lumínica para influir en el funcionamiento del sistema circadiano. No debemos nunca olvidar que nuestro conocimiento es todavía parcial e incompleto. Puesto que se pretende influir en el funcionamiento de un sistema que actúa a un nivel muy básico del funcionamiento fisiológico, existe siempre la posibilidad de que usar la “luz” para forzar cambios circadianos cree cambios colaterales no deseados. Por ejemplo, algunas investigaciones indican que la terapia lumínica puede incrementar los niveles de estrógeno y, debido a ello, el riesgo de cáncer de mama (Stevens, Wilson & Anderson, 1997; Swerdlow, 2003). Estamos seguros de que en los próximos años aumentará nuestro conocimiento, tanto sobre los riesgos que ahora nos preocupan, como sobre la mejor forma de evitarlos al actuar sobre el funcionamiento del sistema circadiano.

Artículo recibido: 27-03-2010
aceptado: 09-07-2010

Referencias

- American Psychiatric Association (APA) (2000). *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders. DSM-IV-TR*. Washington, DC: APA.
- Aschoff, J., Fatranska, M., Heidke, H., Doerr, P., Stamm, D., & Wisser, H. (1971). Human circadian rhythms in continuous darkness: Entrainment by social cues. *Science*, *171*, 213-215.
- Badia, P., Myers, B., Culpepper, J. & Harsh, J.R. (1991). Bright light effects on body temperature, alertness, EEG and behavior. *Physiology and Behavior*, *50*, 583-588.
- Boyce, P. R. (2003). *Human factors in lighting (2nd ed.)*. Chapter 3: The Circadian System (pp. 115-116). London: Taylor & Francis.
- Brainard, G. C., Hanifin, J. P., Greeson, J. M., Byrne, B., Glickman, G., Gerner, E. et al. (2001). Action spectrum for melatonin regulation in humans: Evidence for a novel circadian photoreceptor. *The Journal of Neuroscience*, *21*, 6405-6412.
- Cajochen, C., Khalsa, S.B.S., Wyatt, J.K., Czeisler, C.A., & Dijk, D.J. (1999). EEG and ocular correlates of circadian melatonin phase and human performance decrements during sleep loss. *American Journal of Physiology Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, *277*, 640-649.
- Czeisler, C.A. & Dijk, D.-J. (2001). Human Circadian Physiology and Sleep-Wake Regulation. En J.S. Takahashi, F.W. Turek & R.Y. Moore (Eds.), *Handbook of Behavioral Neurobiology: Circadian Clocks* (pp. 531-569). New York: Kluwer Academic/Plenum Publishing.
- Czeisler, C.A., Duffy, J.F., Sanan, T.L., Brown, E.N., Mitchell, J.F., Rimmer, D.W., et al. (1999). Stability, precision, and near-24-hour period of the human circadian pacemaker. *Science*, *284*, 2177-2181.
- Czeisler, C. A., Richardson, G. S., Zimmerman, J. C., Moore-Ede, M. C. & Weitzman, E. D. (1981). Entrainment of human circadian rhythms by light-dark

- cycles: A reassessment. *Photochemistry and Photobiology*, 34, 239-247.
- Czeisler, C.A., Shanahan, T.L., Klerman, E.B., Martens, H., Brotman, D.J., Emens, J.S. et al. (1995). Suppression of melatonin secretion in some blind patients by exposure to bright light. *The New England Journal of Medicine*, 332, 6-11.
- Dacey, D. M., Liao, H.-W., Peterson, B. B., Robinson, F. R., Smith, V. C., Pokorny, J. et al. (2005). Melanopsin-expressing ganglion cells in primate retina signal colour and irradiance and project to the LGN. *Nature*, 433, 749-754.
- Dijk, D. J., Boulos, Z., Eastman, C. I., Lewy, A. J., Campbell, S. S. & Terman, M. (1995). Light treatment for sleep disorders: consensus report: II. Basic properties of circadian physiology and sleep regulation. *Journal of Biological Rhythms*, 10, 113-125.
- Dijk, D.J. & von Schantz, M. (2005). Timing and consolidation of human sleep, wakefulness, and performance by a symphony of oscillators. *Journal of Biological Rhythms*, 20, 279-290.
- Eastman, C. I., Stewart, K. T., Mahoney, M. P., Liu, L. & Fogg, L. F. (1994). Dark goggles and bright light improve circadian rhythm adaptation to night-shift work. *Sleep*, 17, 535-43.
- Folkard, S. & Monk, T. H. (1979). Shiftwork and performance. *Human Factors*, 21, 483-492.
- Folkard, S. & Tucker, P. (2003). Shiftwork, safety and productivity. *Occupational Medicine*, 53, 95-101.
- Foster, R.G., Provencio, I., Hudson, D., Fiske, S., De Grip, W., & Menaker, M. (1991). Circadian photoreception in the retinally degenerate mouse (*rd/rd*). *Journal of Comparative Physiology A*, 169, 39-50.
- French, J., Hannon, J.P. & Brainard, G.C. (1990). Effects of bright illuminance on human performance and body temperature. *Annual Review of Chronopharmacology*, 7, 37-40.
- Hattar, S., Kumar, M., Park, A., Tong, P., Tung, J., Yau, K. W. et al. (2006). Central projections of melanopsin-expressing retinal ganglion cells in the mouse. *The Journal of Comparative Neurology*, 497, 326-349.
- Ishizaki, M., Morikawa, Y., Nakagawa, H., Honda, R., Kawakami, N., Haratani, T. et al. (2004). The influence of work characteristics on body mass index and waist to hip ratio in Japanese employees. *Industrial Health*, 42, 41-49.
- Klein, K. E., & Wegmann, H. M. (1974). The resynchronization of human circadian rhythms after transmeridian flights as a result of flight direction and mode of activity. En L.E. Scheving, F. Halberg, & J. E. Pauly (Eds.), *Chronobiology*, (pp.564-570). Tokio, Japón: Igaku Shoin.
- Klein, T., Martens, H., Dijk, D.J., Kronauer, R., Seely, E. W. & Czeisler, C. A. (1993). Circadian sleep regulation in the absence of light perception: Chronic non-24-hour circadian rhythm sleep disorder in a blind man with a regular 24-hour sleep-wake schedule. *Sleep*, 16, 333-343.
- Klein, T., Moore, R. Y. & Reppert, S. M. (1991). *Suprachiasmatic Nucleus: The Mind's Clock*. Oxford: Oxford University Press.
- Knuttsen, A. (2003). *Health Disorders and Shift Workers*. *Occupational Medicine*, 53, 103-108.
- Golden, R.N., Gaynes, B.N., Ekstrom, R.D., Hamer, R.M., Jacobsen, F.M., Suppes, T. et al. (2005). The efficacy of light therapy in the treatment of mood disorders: A review and meta-analysis of the evidence. *American Journal of Psychiatry*, 162, 656-662.
- Jewett, M.E., Rimmer, D.W., Duffy, J.F., Klerman, E.B., Kronauer, R.E. & Czeisler, C.A. (1997). Human circadian pacemaker is sensitive to light throughout subjective day without evidence of transients. *American Journal of Physiology*, 273, 1800-1809.
- Lillo, J. (2000). *Ergonomía. Evaluación y diseño del entorno visual*. Madrid: Alianza.
- Martín, J., Díaz, E. & Rubio, S. (1995). Hacia un modelo de selección específico para trabajadores de turnos rotativos. *Ansiedad y Estrés*, 1, 173-187.
- McIntyre, I.M., Norman, T.R., Burrows, G.D. & Armstrong, S.M. (1989). Quantal melatonin suppression by exposure to low intensity light in man. *Life Science*, 45, 327-332.
- Menaker, M. (1997). Commentary: What does melatonin do and how does it do it? *Journal of Biological Rhythms*, 12, 532-534.
- Miles, L.E., Raynal, D.M. & Wilson, M.A. (1977). Blind man living in normal society has circadian rhythms of 24.9 hours. *Science*, 198, 421-423.
- Mills, P. R., Tomkins, S. C. & Schlangen, L. J. M. (2007). The effect of high correlated colour temperature office lighting on employee wellbeing and work performance. *Journal of Circadian Rhythms*, 5, 1-9.
- Minors, D. S. & Waterhouse, J. M. (1981). *Circadian Rhythms and the Human*. Bristol, UK: Wright.
- Popkin, S. M., Howarth, H. D. & Tepas, D. I. (2006). Ergonomics of work systems. En G. Salvendy (Ed.), *Handbook of Human Factors and Ergonomics* (pp. 761-800). Hoboken, EE. UU.: John Wiley and Sons.
- Presser, H. B. (2003). *Working in a 24/7 economy: Challenges for American families*. New York: Russell Sage Foundation.

- Rosa, R.R. (1993). Napping at home and alertness on the job in rotating shift workers. *Sleep*, 16, 727-735.
- Rosenthal, N. E., Sack, D. A., James, S. P., Parry, B. L., Mendelson, W. B., Tamarin, L. et al. (1985). Seasonal Affective disorder and phototherapy. En R. J. Wurtman, M. J. Baum & J. T. Potts, Jr. (Eds.), *The Medical and Biological Effects of Light*. New York, EE. UU.: New York Academy of Sciences.
- Saper, C.B., Lu, J. , Chou, T. C. & Gooley, J. (2005). The hypothalamic integrator for circadian rhythms. *Trends in Neurosciences*, 28, 152-157.
- Soria, V. & Urretavizcaya, M. (2009). Ritmos circadianos y depresión. *Actas Españolas de Psiquiatría*, 37, 222-232.
- Stevens R. G., Wilson B. W., Anderson L.E. (1997). *The Melatonin Hypothesis - Breast Cancer and Use of Electric Power*. Columbus, EE. UU.: Battelle Press.
- Swerdlow, A. (2003). *Shiftwork and breast cancer: A critical review of the epidemiological evidence*. Norwich: Health and Safety Executive.
- Tam, E.M. & Lam, R.W. (1995). Treatment of seasonal affective disorder: A review. *Canadian Journal of Psychiatry*, 40, 457-466.
- Tepas, D. I., Armstrong, D. R., Carlson, M.L., Duchon, J. C., Gersten, A. H. & Lezotte, D. V. (1985). Changing industry to continuous operations: Different strokes for different plants. *Behavior Research Methods, Instruments, and Computers*, 17, 670-676.
- Tepas, D.I. & Carvalhais, A.B. (1990). Sleep patterns of shiftworkers. En A. J. Scott (Ed.), *Shiftwork. Occupational medicine: State of the art reviews*, (Vol. 5, No. 2). Philadelphia: Hanley & Belfus.
- Tepas, D.I. & Mahan, R.P. (1989). The many meanings of sleep. *Work and Stress*, 3, 93-102.
- Terman, M. (2007). Evolving applications of light therapy. *Sleep Medicine Reviews*, 11, 497-507.
- Thapan, K., Arendt, J. & Skene D. J. (2001). An action spectrum for melatonin suppression: Evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans. *The Journal of Physiology*, 535, 261-267.
- Vandewalle, G., Maquet, P. & Dijk, D. J. (2009). Light as a modulator of cognitive brain function. *Trends in Cognitive Sciences*, 13, 429-438.
- Van Reeth, O., Sturis, J., Byrne, M. M., Blackman, J. D., L'Hermite-Balériaux, M., Leproult, R. et al. (1994). Nocturnal exercise phase delays circadian rhythms of melatonin and thyrotropin secretion in normal men. *The American Journal of Physiology*, 266, 964-974.
- Van Someren, E. J., Lijzenga, C., Mirmiran, M. & Swaab, D. F. (1997). Long-term fitness training improves the circadian rest-activity rhythm in healthy elderly males. *Journal of Biological Rhythms*, 12, 146-156.
- Wever, R. A. (1979). *The Circadian System of Man*. Berlin: Springer-Verlag.
- Zaidi, F.H., Hull, J. T., Peirson, S. N., Wulff, K., Aeschbach, D., Gooley, J. J. et al. (2007). Short-wavelength light sensitivity of circadian, pupillary, and visual awareness in humans lacking an outer retina. *Current Biology*, 17, 2122-2128.